

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ФИЦ КНЦ СО РАН



А.А. Шпедт

2025г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«Механика деформируемого твердого тела»

для поступающих на обучение по образовательной программе высшего образования – программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН

по научной специальности

1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»

Красноярск 2025

1 Общие положения

Настоящая программа сформирована на основе федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и определяет общее содержание вступительного испытания по специальной дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» при приеме на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Вступительное испытание по специальной дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» нацелено на оценку знаний лиц, поступающих на программу подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, полученных ими в ходе освоения программ специалитета и (или) магистратуры, и на отбор среди поступающих лиц, наиболее способных и подготовленных к научной и научно-исследовательской деятельности, имеющих потенциал в части генерирования новых идей при решении исследовательских задач и подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

2 Форма проведения вступительного испытания

Вступительное испытание проводится на русском языке в устной форме. Экзаменационный билет содержит три теоретических вопроса. Вопросы соответствуют содержанию вступительного испытания.

3 Содержание программы

Механика и термодинамика сплошных сред

Понятие сплошной среды. Кинематика сплошной среды в переменных Эйлера и Лагранжа. Переход от координат Эйлера к координатам Лагранжа и обратно.

Деформация сплошной среды. Тензоры деформации Коши-Грина и Альманси, геометрический смысл компонент этих тензоров. Малые деформации и малые вращения среды. Условия совместности деформаций, формулы Чезаро.

Типы сил в механике сплошной среды: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Теория напряженного состояния, тензоры напряжений Коши и Пиолы-Кирхгофа. Геометрическая интерпретация напряженного состояния: круги Мора. Простейшие виды напряженных состояний.

Интегральная и дифференциальная форма законов сохранения массы, импульса, момента импульса и энергии.

Термодинамика сплошной среды. Работа, количество тепла, внутренняя энергия, температура и энтропия термодинамической системы. Первый и второй законы термодинамики.

Теория упругости

Упругая деформация твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Закон Гука для изотропного и анизотропного твердого тела. Тензор упругих модулей. Упругие модули изотропного тела, их механический смысл.

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла в напряжениях. Постановка краевых задач математической теории упругости. Теорема существования и единственности решения. Принцип Сен-Венана.

Общие теоремы теории упругости и вариационные принципы. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Теорема о минимуме потенциальной энергии деформаций (вариационный принцип Лагранжа). Теорема о минимуме дополнительной энергии (вариационный принцип Кастильяно).

Методы решения пространственных задач эластостатики. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор фундаментальных решений Грина. Задача Буссинеска.

Двумерные задачи эластостатики. Плоская деформация. Обобщенное плоское напряженное состояние. Функции напряжений Эри, краевая задача для функции напряжений. Метод комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили. Примеры решений.

Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Деформация срединной поверхности. Внутренние усилия и моменты. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория.

Температурные задачи теории упругости. Закон Дюамеля-Неймана. Система основных уравнений термоупругости. Методы решения задач термоупругости.

Динамические задачи теории упругости. Уравнения движения в форме Ламе. Типы упругих волн в неограниченной изотропной среде. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения и прохождения. Поверхностные волны Рэлея. Волны Лява. Волны в упругом стержне. Собственные частоты упругих тел. Формула Рэлея.

Теория пластичности

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластичности. Дислокации. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса-Чернова.

Модели идеального упругопластического и жесткопластического тела. Критерий текучести и поверхность текучести в пространстве напряжений. Критерий Треска, критерий Мизеса. Геометрическая интерпретация условий текучести в пространстве главных напряжений.

Модели упрочняющегося упругопластического и жесткопластического тела. Параметр упрочнения и поверхность нагружения.

Теория пластического течения. Принцип Мизеса, постулат Друккера. Ассоциированный закон течения. Краевые задачи теории течения.

Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.

Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное состояние при кручении. Поверхность напряжений как поверхность естественного ската. Аналогия Прандтля-Надаи.

Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Характеристики. Свойства линий скольжения. Задача Прандтля о вдавливании штампа.

Деформационная теория пластичности Генки-Ильюшина. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе под действием внутреннего давления.

Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации.

Теория вязкоупругости и ползучести

Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Кельвина-Фойхта. Время релаксации.

Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации.

Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерра, применение интегрального преобразования Лапласа.

Теории старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения.

Механика разрушения

Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Критерии разрушения. Критерии длительной и усталостной прочности. Коэффициент запаса.

Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса. Силовой подход в механике разрушения. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина.

Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Коэффициенты интенсивности напряжений, методы их вычисления и оценки.

J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины.

Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Модель трещины Леонова-Панасюка-Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций.

Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела

Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости.

Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Рэлея-Ритца и Бубнова-Галеркина в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов.

Формула Сомильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов).

Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область влияния и область зависимости решения гиперболической краевой задачи.

Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

4 Критерии оценивания ответов поступающих

Результаты вступительного испытания определяются по 50-бальной шкале (от 0 до 50 баллов). Максимальное количество баллов подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 50 баллов. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 20 баллов.

50 – бальная шкала	Общая характеристика ответа	Критерии оценки
41–50 баллов	Ответ отличный	Ясный, достаточно точный, уверенный ответ на все вопросы экзаменационного билета, дополнительные и уточняющие вопросы. Глубокое знание материала. Свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и

		терминологией. Логически правильное и убедительное изложение ответа. Ответ на вопрос достаточно аргументирован и обоснован, приведены убедительные примеры по каждому вопросу экзаменационного билета.
31-40 баллов	Ответ хороший	Ясный и уверенный ответ на все вопросы билета. Знание ключевых проблем и основного содержания материала. Умение оперировать понятиями по своей тематике. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа. Допущены незначительные ошибки в терминологии и при использовании фактического материала. Ответ на дополнительные и уточняющие вопросы.
20-30 баллов	Ответ удовлетворительный	Ответ на все вопросы билета, требующий существенных дополнений. Недостаточно логичное и аргументированное изложение ответа. Фрагментарные, поверхностные знания материала. Затруднения с использованием понятийного аппарата и терминологии. Отсутствуют ответы на дополнительные и уточняющие вопросы.
0 – 19 баллов	Ответ неудовлетворительный	Отсутствие ответа на вопросы билета; ответ только на один из вопросов; попытка ответа на все вопросы без раскрытия основного содержания; подмена ответа на вопросы экзаменационного билета ответом на смежные вопросы. Полное незнание либо отрывочное представление о материале. Неумение оперировать понятиями по своей тематике. Неумение логически определенно и последовательно излагать ответ.

5 Список рекомендуемой литературы

1. Астафьев В. И., Радаев Ю. Н., Степанова Л. В. Нелинейная механика разрушения. Самара: Изд-во «Самарский университет», 2001. (ИВМ)
2. Быковцев Г. И., Ивлев Д. Д. Теория пластичности. Владивосток: Дальнаука, 1998.
3. Годунов С. К., Рябенский В. С. Разностные схемы. М.: Наука, 1977. (ИВМ)
4. Годунов С. К. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978. (ИВМ)
5. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976. (ИВМ)
6. Горшков А. Г., Старовойтов Э. И., Тарлаковский Д. В. Теория упругости и пластичности. М.: Физматлит, 2002. (ИВМ)
7. Ивлев Д. Д. Механика пластических сред: Т. 1. Теория идеальной пластичности. М.: Физматлит, 2001. (ИВМ)
8. Ивлев Д. Д. Механика пластических сред: Т. 2. Общие вопросы. Жесткопластическое и упругопластическое состояние тел. Упрочнение. Деформационные теории. Сложные среды. М.: Физматлит, 2002. (ИВМ)
9. Ишлинский А. Ю., Ивлев Д. Д. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит, 2001. (ИВМ)
10. Качанов Л. М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.
11. Партон В. З., Морозов Е. М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1985. (ИВМ)
12. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979. (ИВМ)
13. Работнов Ю. Н. Введение в механику разрушения. М.: Наука, 1987. (ИВМ)
14. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. М.: Наука, 1997. (ИВМ)
15. Седов Л. И. Механика сплошной среды. В 2-х томах. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004. (ИВМ)
16. Селиванов В. В. Прикладная механика сплошных сред. В 3 томах. Том 2: Механика разрушения деформируемого тела. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. (ИВМ)
17. Дополнительная литература
18. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике. М.: Мир, 1982. (ИВМ)
19. Бураго Н. Г. Вычислительная механика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.
20. Годунов С. К. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1979.

21. Горшков А. Г., Медведский А. Л., Рабинский Л. Н.,
Тарлаковский Д. В. Волны в сплошных средах. М.: Физматлит, 2004.
(ИВМ)
22. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. М.: Мир, 1989.
(ИВМ)
23. Ильющин А. А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.
(ИВМ)
24. Ключников В. Д. Математическая теория пластичности. М.: Изд-во МГУ,
1979.
25. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974.
26. Куликовский А. Г., Погорелов Н. В., Семенов А. Ю. Математические
вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.:
Физматлит, 2001. (ИВМ)
27. Лурье А. И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980. (ИВМ)
28. Мосолов П. П., Мясников В. П. Механика жесткопластических сред. М.:
Наука, 1981. ИВМ
29. Мухелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории
упругости. М.: Наука, 1966. ИВМ
30. Новацкий В. К. Волновые задачи теории пластичности. М.: Мир, 1978.
ИВМ
31. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.
32. Садовский В. М. Разрывные решения в задачах динамики
упругопластических сред. М.: Физматлит, 1997. (ИВМ)
33. Садовский В. М. Методы решения вариационных задач механики.
Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. (ИВМ)
34. Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989. (ИВМ)
35. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979.
(ИВМ)
36. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1965.
37. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975.
38. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974. (ИВМ)

Согласовано:

Заведующий кафедрой
фундаментальных дисциплин
и методологии науки



О.В. Александрова

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин