


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта»
Инженерно-технический институт

«Утверждаю»
Директор инженерно-технического
института
профессор, д.т.н., Корягин С.И.


«07» августа 2021 г.

«Согласовано»
Заведующий кафедрой машиноведения и
технических систем
профессор, д.т.н., Великанов Н.Л.


«07» августа 2021 г.

Программа кандидатского экзамена по дисциплине:

Механика деформируемого твердого тела

Направление 01.06.01 Математика и механика

Направленность программы: Механика деформируемого твердого тела

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Калининград
2021

Составитель:

профессор кафедры машиноведения и технических систем Лейцин В.Н.

профессор кафедры машиноведения и технических систем Корягин С.И..

профессор кафедры машиноведения и технических систем Великанов Н.Л.

Рабочая программа обсуждена и утверждена на заседании
кафедры машиноведения и технических систем
(протокол № 06 от «05» апреля 2021 г.).

1. Пояснительная записка

Программа кандидатского экзамена по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» направленности программы «Механика деформируемого твердого тела» направления подготовки 01.06.01 «Математика и механика» предназначена для аспирантов, проходящих промежуточную аттестацию при освоении программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

В основу настоящей программы положена программа, утвержденная приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 г. № 274.

Целью кандидатского экзамена является закрепление аспирантами знаний, полученных за время освоения основной профессиональной образовательной программы, оценка уровня приобретенных аспирантом знаний, а также уровня подготовленности к дальнейшей самостоятельной научно-исследовательской деятельности.

2. Примерный перечень тем для кандидатского экзамена

Раздел 1. Основы механики деформируемого твердого тела (МДТТ)

1. Краткий исторический обзор развития. Основные проблемы и практические приложения МДТТ в машиностроении, строительстве, судо- и авиастроении и других отраслях. Различные свойства твердых, жидких и газообразных сред. Описание структуры реальных тел на макро, мезо и микроуровнях. Феноменологическое описание модели сплошной среды. Понятие о напряжениях, деформациях, перемещениях и их полях.

2. Напряженное и деформированное состояние частицы тела. Лагранжев и Эйлеров способы описания движения и деформирование сплошной среды. Индивидуальная (полная) и местная производные по времени скалярных и векторных функций.

3. Элементы тензорного и векторного анализа. Индексные (тензорные) обозначения. Ранг тензора. Скаляры, векторы, диадики. Преобразование координат. Контравариантные векторы и тензоры. Метрический или фундаментальный тензор. Декартовы тензоры. Законы преобразования компонент декартовых тензоров. Сложение и умножение тензоров. Матрицы и действия над ними. Матричное представление вектора в трехмерном пространстве. Скалярное произведение вектора на тензор второго ранга и тензора на вектор. Симметрия матриц и тензоров.

4. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга. Характеристическое кубическое уравнение тензора и его инварианты.

Тензорные поля и дифференцирование тензоров по скалярному аргументу. Дивергенция тензора. Теорема Остроградского для векторного и тензорного полей.

5. Многомерные евклидовы векторные пространства в линейной алгебре. Геометрическое представление в них тензоров второго ранга. Основы дифференциальной геометрии кривых линий и поверхностей в трехмерном декартовом пространстве. Формулы Френе и их обобщение для многомерных евклидовых пространств. Естественные уравнения кривых линий. Элементы дифференциальной геометрии поверхностей. Криволинейные координатные линии на поверхности, трехгранник Дарбу. Первая и вторая квадратичные формы поверхности, свойства ее кривизны.

6. Основные физико-механические свойства реальных сред (упругость, вязкость, пластичность), их влияние на сопротивление материалов деформированию и разрушению. Диаграммы деформирования и их аппроксимация при простых нагружениях. Влияние различных факторов (температуры, скорости деформирования либо нагружения, ползучести и релаксации, радиоактивного облучения, давления, цикличности и других физических воздействий) на параметры диаграмм деформирования.

Раздел 2. Теория напряженного состояния

1. Вектор напряжений на произвольной площадке. Его связь с тремя векторами напряжений на трех взаимно ортогональных площадках (формула Коши). Тензор напряжений как тривектор.

2. Закон парности касательных напряжений и симметрия тензора напряжений. Вычисление компонент тензора напряжений при ортогональном преобразовании координат, общее определение тензора напряжений и его инвариантность.

3. Главные оси и главные нормальные напряжения тензора. Характеристическое уравнение для определения главных напряжений.

4. Инварианты тензора напряжений. Главные касательные напряжения. Геометрическая интерпретация тензора напряжений (эллипсоид напряжений Ламе, круги напряжений Мора, поверхность напряжений Коши). Параметр вида напряженного состояния Надаи—Лоде. Тензор—девиатор напряжений и шаровой тензор. Их инварианты и модули. Модуль тензора напряжений. Интенсивность напряжений. Решение характеристического уравнения для определения главных

напряжений в тригонометрической форме Кардана. Направляющие тензора. Простое и сложное нагружения.

5. Напряжения на октаэдрических площадках. Угол вида напряженного состояния и его связь с параметром Надаи—Лоде. Векторное пространство напряжений Прагера и представление в нем тензора напряжений.

6. Векторное шестимерное и пятимерное пространства напряжений Ильюшина и представление в них процессов нагружения частицы тела. Поле напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия и движения частицы тела. Граничные и начальные условия Представления уравнений в криволинейных координатах (цилиндрических, сферических). Модель Коссера, понятие о моментных напряжениях. Тензоры напряжения Коши, Пиолы, Кирхгофа и Кессера.

Раздел 3. Теория деформированного состояния

1. Вектор перемещения. Относительное удлинение материального волокна и угловая деформация сдвига между ортогональными волокнами. Матрица больших конечных деформаций частицы Среды.

2. Фундаментальное уравнение теории деформаций. Тензоры Лагранжа и Эйлера для малых и нелинейных конечных деформаций. Главные оси и главные деформации. Характеристическое уравнение для определения главных деформаций. Главные сдвиги. Модули тензоров.

3. Круги деформаций Мора. Параметр вида деформированного состояния Надаи—Лоде. Процессы сложного и простого деформирования, тензор—девиатор и шаровой тензор малых нелинейных конечных деформаций. Направляющий тензор деформаций.

4. Решение характеристического уравнения для определения главных деформаций в тригонометрической форме Кардана. Октаэдрические сдвиг и удлинение. Угол вида деформированного состояния и его связь с параметром Надаи—Лоде. Тензор малых линейных конечных деформаций Коши. Уравнения совместности линейных деформаций Сен-Венана. Тензор линейного поворота. Варианты теории малых нелинейных деформаций.

5. Тензор скоростей деформаций. Векторное пространство деформаций Прагера и представление в нем тензора деформаций. Векторные шестимерное и пятимерное евклидовы пространства Ильюшина и представления в них процессов деформирования. Представление компонент тензоров деформаций в криволинейных

координатах. Тензоры деформаций Грина и Альманси. Тензор дисторсии, понятие о тензоре изгиба-кручения.

Раздел 4. Физические законы и постановки задач МДТТ

1. Векторное уравнение движения сплошной Среды. Дивергенция тензора напряжений в декартовых координатах. Динамические уравнения Эйлера—Коши. Законы сохранения массы и механической энергии. Уравнения движения жидкости.

2. Процессы деформирования и нагружения в частице тела и их представление в шестимерном и пятимерном векторных пространствах. Основной постулат МДТТ-постулат макроскопической определенности. Законы термодинамики. Замкнутые системы уравнений МДТТ.

3. Постановка задач МДТТ при конечных и дифференциальных связях между напряжениями и деформациями. Постановка задач для некоторых сред со сложными свойствами.

Раздел 5. Теория упругости

1. Термодинамика упругого деформирования. Упругий потенциал и дополнительная работа.

2. Формулы Грина. Законы Коши—Гука. Связи между напряжениями и деформациями для изотропной и анизотропной сред. Симметрия матрицы упругих постоянных. Частные виды упругой анизотропии. Формула Бетти. Удельные потенциальная энергия деформации и удельная дополнительная работа линейно-упругого тела.

3. Соотношение между напряжениями и деформациями при изменении температуры для изотропного тела. Основные уравнения теории упругости. Общая постановка задачи. Постановка задачи в напряжениях. Постановка задачи теории упругости в перемещениях. Дифференциальные уравнения равновесия и движения Ламе.

4. Принцип смягчения граничных условий Сен-Венана. Общие решения дифференциальных уравнений Коши, Максвелла и Морера. Пространственные задачи теории упругости. Задача Буссинеска о действии сосредоточенной силы на полупространство.

5. Задача Герца о сжатии упругих тел. Задача о вдавливании осесимметричного штампа. Распространение волн в неограниченной упругой среде. Кручение стержней. Полуобратный метод Сен-Венана. Гармоническое уравнение и краевое условие для функции кручения. Решение задачи о кручении в напряжениях.

6. Уравнение Пуассона и краевое условие для функции напряжений Прандтля. Мембранная аналогия Прандтля. Задачи о кручении стержней эллиптического, треугольного и прямоугольного поперечных сечений: вариационные принципы теории упругости. Функционалы.

7. Возможные перемещения и изменения напряженного состояния. Вариационные принципы Лагранжа минимума потенциальной и дополнительной энергии, обобщенный принцип минимума потенциальной энергии Васидзу, принцип Рейснера. Вариационные методы решения задач теории упругости Рэлея—Ритца, Лагранжа, Бубнова—Галеркина и др. Плоская задача теории упругости.

8. Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Основные уравнения в декартовых и полярных координатах. Метод решения плоских задач в напряжениях. Бигармоническое уравнение и граничные условия для функции напряжений. Частные решения плоских задач в декартовых и полярных координатах. Комплексное представление функций напряжений и компонент тензоров напряжений и деформации. Граничные условия. Решение частных задач.

9. Численные методы решения задач теории упругости: метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод граничных интегральных уравнений. Упругие пластины. Основные гипотезы. Перемещение, деформации и напряжения в прямоугольных пластинах. Усилия и моменты. Дифференциальные уравнения равновесия прямоугольных пластин. Дифференциальное уравнение изогнутой поверхности пластины при действии поперечных и продольных сил. Граничные условия. Частный случай поперечного изгиба.

10. Осесимметричный изгиб круглых пластин. Решение задач изгиба прямоугольных пластин Навье, Леви, Тимошенко.

11. Гибкие упругие пластины. Применение вариационных и численных методов к расчету задач изгиба стержней и пластины. Потенциальная энергия.

12. Вариационные уравнения и методы их решения. Упругие оболочки. Основные понятия и гипотезы. Элементы дифференциальной геометрии срединной поверхности оболочки. Деформации, напряжения, усилия и моменты в оболочках. Дифференциальные уравнения равновесия Безмоментная теория оболочки вращения.

13. Основы теории пологих оболочек. Гибкие оболочки. Применение вариационных и численных методов к расчету оболочек.

Раздел 6. Теория пластичности

1. Условия пластичности Сен-Венана и Мизеса и их экспериментальная проверка в опытах Тейлора, Квини, А.М Жукова и других исследователей. Опыты Бриджмена по сжимаемости тел в области высоких давлений.

2. Идеализация диаграмм деформирования и нагружения. Установления закона упрочнения материалов при простом (пропорциональном) нагружении Рошем и Эйхингером.

3. Гипотеза квазиизотропии пластического материала. Опыты Ходкинсона, Вертгейна, Герстнера, Баушингера, Надаи—Лоде, Шмидта, Девиса, Ленского, Зубчанинова, Дегтярева, Васина и других по установлению закономерностей пластического деформирования материалов при простом и сложном нагружении.

4. Физические законы сред, обладающих свойством пластического течения. Теории пластического течения Сен-Венана, Мизеса, Прандтля—Рейсса, Прагера, Прагера—Драккера. Ассоциированный закон пластического течения Мизеса.

5. Физические законы пластически упрочняющихся сред. Законы пластического упрочнения, теория малых упругопластических деформации Ильюшина. Теоремы теории малых упругопластических деформаций (о простом нагружении, о разгрузке, о единственности решения). Метод упругих решений и его разновидности (метод переменных параметров упругости, метод дополнительных деформации). Обобщение Ильюшиным теории пластического течения Сен-Венана—Мизеса на упрочняющиеся среды. Теория пластического упрочнения Прагера. Обобщение Хиллом теории пластического течения Прандтля—Рейсса на упрочняющиеся среды.

6. Физические законы общей математической теории пластического течения. Изображение начальных и мгновенных предельных поверхностей деформирования и нагружения в векторных пространствах. Соотношение общей теории пластического течения Мелана—Прагера. Теория течения с трансляционно-изотропным упрочнением Ишлинского—Кадашевича—

7. Новожилова. Постулаты пластичности Драккера и Ильюшина. Принцип градиентальности.

8. Физические законы математической теории процессов упругопластического деформирования и нагружения Ильюшина. Векторные пространства тензоров и девиаторов напряжений и деформаций. Образы процессов деформирования и нагружения. Постулат макроскопической определенности. Постулат изотропии и принцип запаздывания векторных свойств материалов.

9. Теории пластических процессов для траекторий малой кривизны и двухзвенных ломаных. Гипотеза локальной определенности. Гипотеза компланарности Ильюшина. Соотношения теории пластических процессов для траекторий средней кривизны Малого—Кравчука. Гипотезы малого кручения, ортогональности и обобщенный принцип градиентальности Зубчанинова.

10. Физические законы общей математической теории пластичности. О физических процессах в частице тела. Общие дифференциально-нелинейные определяющие соотношения в векторном пространстве деформаций. Случай плоской задачи. Общие дифференциально нелинейные определяющие соотношения в векторном пространстве напряжений. Случай плоской задачи. Локальная размерность образа процесса. Постулат физической определенности.

11. Определяющие функции и закономерности процессов пластического деформирования.

Раздел 7. Теория вязкоупругости и ползучести

1. Линейная теория вязкоупругости. Вязко упругое поведения материалов. Простейшие механические модели вязкоупругого поведения. Свойства ползучести и релаксации и их опытное изучение. Теория наследственности Больцмана—Вольтерра. Интегральная форма связи между напряжениями и деформациями.

2. Ядра ползучести и релаксации. Определяющие соотношения в случае сложного напряженного состояния. Деформирование вязкоупругих материалов в температурных полях.

3. Температурно-временная аналогия. Соотношения линейной теории термовязкоупругости. Методы решения квазистатических задач линейной теории вязко упругости: операторный метод, метод преобразования Лапласа, метод аппроксимации Ильюшина.

4. Динамические задачи вязкоупругости. Методы решения задач о деформировании композитов как анизотропных тел. Соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Теория длительной прочности Ильюшина.

5. Неограниченная ползучесть материалов. Определяющие соотношения одномерной ползучести. Теории старения, течения, упрочнения. Кривые ползучести и изохронные кривые деформирования.

6. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения при вязкопластических деформациях для начально-изотропного тела.

Использование соотношений типа деформационной теории пластичности и теории пластического течения для определения составляющих деформаций ползучести.

7. Постановка задач теории ползучести. Плоская задача. Вариационные принципы. Численные методы решения краевых задач ползучести и вязкоупругости.

Раздел 8. Механика разрушения

1. Вязкое и хрупкое разрушение. Феноменологическая теория прочности. Предельные поверхности разрушения изотропных и анизотропных сред.

2. Механизмы вязкого и хрупкого разрушений. Линейная механика разрушения. Три независимых типа трещин. Поля и концентрация напряжений и деформаций в окрестности кончика трещины. Коэффициенты интенсивности напряжений. Концепция квазихрупкого разрушения Гриффитса, Ирвина, Орована.

3. Устойчивое и неустойчивое развитие трещин. Критический коэффициент интенсивности. Область применения линейной теории.

4. Основы нелинейной механики разрушения. Пластическая зона в вершине трещины. Модель Леонова—Панисюка—Дагдейла. Деформационный джи-интеграл и критерий разрушения материала. Применение теории разрушения к задачам усталостного разрушения. Экспериментальные методы.

5. Определение характеристик трещиностойкости. Микромеханика разрушения.

Раздел 9. Теория устойчивости

1. Концепция устойчивости упругих и вязкопластических систем. Устойчивость упругих и упругопластических сжатых стержней. Решений Эйлера, Энгессера, Кармана. Концепция устойчивости Шенли. Постановка задач об устойчивости стержней за пределом упругости в догружающихся и разгружающихся конструкциях Ильюшина, Зубчанинова. Методы временных поддерживающих систем и упругопластической тренировки для повышения устойчивости конструкций. Выпучивание стержней за пределом упругости при продольном изгибе.

2. Теория устойчивости оболочек и пластины в пределах и за пределом упругости. Теория устойчивости Ильюшина. Ее обобщение на случай использования частных теорий пластичности при сложном нагружении. Теории устойчивости оболочек и пластины за пределом упругости Зубчанинова при сложном нагружении. Бифуркации оболочек и пластин в условиях ползучести. Выпучивание и устойчивость сжатых элементов конструкций в условиях ползучести.

Раздел 10. Механика композиционных материалов.

1. Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя.

2. Микромеханика ползучести моно слоя. Микромеханика кратковременной и длительной прочности. Диссипативные свойства монослоя. Термоупругие свойства слоистых композитов.

3. Диссипативные свойства слоистых композитов. Свойства конструкционных композиционных материалов.

4. Мезомеханика структурно-неоднородных сред. Мезомеханика разрушения. Физическая мезомеханика материалов. Мезомеханика функциональных материалов с эффектом памяти формы. Структурно-аналитическая теория прочности Лихачева—Малинина. Структурно - аналитическая теория мезомеханики материалов.

3. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. Молотников, В. Я. Теория упругости и пластичности / В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 532 с. — ISBN 978-5-8114-2603-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94741>

2. Паначев, И. А. Основы теории упругости и пластичности : учебно-методическое пособие / И. А. Паначев, И. В. Кузнецов, А. В. Покатилов. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. — 107 с. — ISBN 978-5-906888-47-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/105416>

Дополнительная литература

1. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой/ А. М. Кривцов. - М.: Физматлит, 2007. - 304 с. - Библиогр.: с. 281-301 (334 назв.). - ISBN 978-5-9221-0803-4: 40.00, 40.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

2. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела/ А. О. Ватульян. - М.: Физматлит, 2007. - 223 с. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-9221-0835-5: 70.00, 70.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

3. Прямые и обратные задачи механики упругих композитных пластин и оболочек вращения/ С. К. Голушко. - М.: Физматлит, 2008. - 430, [2] с.: ил., граф., табл.. - (Механика). - Библиогр.: с. 407-430 (346 наз.). - ISBN 978-5-9221-0948-2: 181.00, 181.00, р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

4. Динамические задачи механики деформируемых сред/ Т. М. Платова. -

Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1980. - 106 с.: ил.. - Библиогр. : с. 103-105 (45 назв.). - 0.85 р. Имеются экземпляры в отделах: НА(1)

5. Механика деформируемых сред/ А. Зоммерфельд ; пер. с нем. Е. М. Лифшица. - Москва: Гос. изд-во иностр. лит., 1954. - 486 с.: ил.. - 1.74 р. Имеются экземпляры в отделах: всего 2: НА(2)

6. Юрьев, А. Г. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие / А. Г. Юрьев ; под редакцией А. Г. Юрьева. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. — 194 с. — ISBN 978-5-361-00811-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/162042>

7. Полонский, Владимир Львович. Расчет узлов и деталей машин методом конечных элементов [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. Л. Полонский; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. — Электрон. текстовые дан. (1 файл : 5,08 МБ). — Санкт-Петербург, 2017. — Загл. с титул. экрана. — Доступ из локальной сети ФБ СПбГПУ (чтение). — Текстовый файл. — Adobe Acrobat Reader 7.0. — <URL:<http://elib.spbstu.ru/dl/2/s16-284.pdf>>. — <URL:<http://doi.org/10.18720/SPBPU/2/s16-284>>.

8. Практикум по механике деформируемого твердого тела : учебное пособие / И. В. Кузнецов, И. А. Паначев, Ю. Ф. Глазков [и др.]. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2018. — 165 с. — ISBN 978-5-906969-70-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115133>

9. Цвик, Л. Б. Модельные задачи вычислительной теории упругости : учебно-методическое пособие / Л. Б. Цвик, В. М. Агафонов. — Иркутск : ИрГУПС, 2017. — 128 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/134733>

10. Барашков, В. Н. Решение осесимметричной плоской задачи теории упругости и пластичности для тел вращения с учётом упругих и упругопластических деформаций : учебное пособие / В. Н. Барашков. — Томск : ТГАСУ, 2015. — 84 с. — ISBN 978-5-93057-692-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/139002>

4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. 1. 1. «Национальная электронная библиотека». (Договор с ФГБУ «РГБ» № 101/НЭБ/1080-п от 27 сентября 2018 г.). Срок действия: 5 лет с автоматической пролонгацией.

2. ЭБ Кантиана (<http://lib.kantiana.ru/irbis/standart/ELIB>). Срок действия: бессрочно.

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. (Договоры с ООО «РУНЭБ» № SU-09-01/2014-1 от 09 января 2014 года и № SU-14-12/2018-2042 от 21 декабря 2018 года). Срок действия: 1 год, доступ сохраняется на сервере <http://elibrary.ru> в течение 9 лет после окончания срока обслуживания по гарантии.

4. Консорциум сетевых электронных библиотек (Договор с ООО «ЭБС Лань» № 2066 от 11.12.2020 г. Срок действия: 31.12.2023 г.).

5. ЭБС «Лань» (Договоры с ООО «Издательство Лань» № 99\2020 от 13 марта 2020 г. и № 2069 от 24 декабря 2020 г. Сроки действия: 1 год)