

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.1.8. «Механика деформируемого твердого тела»

по техническим наукам

Программа-минимум
содержит 13 стр.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика деформируемого твердого тела; механика сплошной среды; теория упругости, пластичности и ползучести. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России по машиностроению при участии Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого и Тверского государственного технического университета.

1. Основы механики деформируемого твердого тела (МДТТ)

Краткий исторический обзор развития. Основные проблемы и практические приложения МДТТ в машиностроении, строительстве, судо и авиастроении и др. отраслях. Различные свойства твердых, жидких и газообразных сред. Описание структуры реальных тел на макро, мезо и микро уровнях. Феноменологическое описание модели сплошной среды. Понятие о напряжениях, деформациях, перемещениях и их полях. Напряженное и деформированное состояние частицы тела. Лагранжев и Эйлеров способы описания движения и деформирования сплошной Среды. Индивидуальная (полная) и местная производные по времени скалярных и векторных функций.

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. 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.

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.

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 др. физических воздействий) на параметры диаграмм деформирования.

2. Теория напряженного состояния

Вектор напряжений на произвольной площадке. Его связь с тремя векторами напряжений на трех взаимно ортогональных площадках (формула Коши). Тензор напряжений как тривектор. Закон парности касательных напряжений и симметрия тензора напряжений. Вычисление компонент тензора напряжений при ортогональном преобразование координат, общее определение тензора напряжений и его инвариантность. Главные оси и

главные нормальные напряжения тензора . Характеристическое уравнение для определения главных напряжений. 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. 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. 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, Киргофа и Коссера.

3. Теория деформированного состояния

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

4. Физические законы и постановки задач МДТТ

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

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

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

5. Теория упругости

Термодинамика упругого деформирования. Упругий потенциал и дополнительная работа. 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. 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. 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. 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. 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. 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 Релея- Ритца, Лагранжа, Бубнова-Галеркина и д.р. Плоская задача теории упругости. 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 функции напряжений и компонент тензоров напряжений и деформации. Граничные условия. Решение частных задач. Численные методы решения задач теории упругости: метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод граничных интегральных уравнений и др.

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. Осесимметричный изгиб круглых пластин. Решение задач изгиба прямоугольных пластин Навье, Леви, Тимошенко. Гибкие упругие пластины. Применение вариационных и численных методов к расчету задач изгиба стержней и пластины. Потенциальная энергия. 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. Основы теории пологих оболочек. Гибкие оболочки. Применение вариационных и численных методов к расчету оболочек.

6. Теория пластичности

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

Идеализация диаграмм деформирования и нагружения. Установления закона упрочнения материалов при простом (пропорциональном) нагружении Рошем и Эйхингером. Гипотеза квазиизотропии пластического материалов. Опыты Ходкинсона, Вертгейна, Герстнера, Баушингера, Надаи-лоде, Шмидта, Девиса, Ленского, Зубчанинова, Дегтярева, Васина и др. по установлению закономерностей пластического деформирования материалов при простом и сложном нагружении.

Физические законы сред обладающих свойством пластического течения.

Теории пластического течения Сен-Венана, Мизеса, Прандтля-Рейсса, Прагера, Прагера-Драккера. Ассоциированный закон пластического течения Мизеса.

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.

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

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 определимости. Постулат изотропии и принцип запаздывания векторных свойств материалов. 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.

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. Определяющие функции и закономерности процессов пластического деформирования.

7. Теория вязкоупругости и ползучести

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. Ядра ползучести и релаксации. Определяющие соотношения в случае сложного напряженного состояния. Деформирование вязкоупругих материалов в температурных полях. Температурно-временная аналогия. Соотношения линейной теории термовязкоупругости. Методы решения квазистатических задач линейной

теории вязко упругости: операторный метод; метод преобразования Лапласа; метод аппроксимации Ильюшина. Динамические задачи вязкоупругости. Методы решения задач о деформировании композитов как анизотропных тел. Соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Теория длительной прочности Ильюшина.

Неограниченная ползучесть материалов. Определяющие соотношения одномерной ползучести. Теории старения, течения, упрочнения. Кривые ползучести и изохронные кривые деформирования. 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. Постановка задач теории ползучести. Плоская задача. Вариационные принципы. Численные методы решения краевых задач ползучести и вязкоупругости.

8. Механика разрушения

Вязкое и хрупкое разрушение. Феноменологическая теория прочности. Предельные поверхности разрушения изотропных и анизотропных сред. 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. Устойчивое и неустойчивое развитие трещин. Критический коэффициент интенсивности. Область применения линейной теории.

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.

Определение характеристик трещиностойкости. Микромеханика разрушения.

9. Теория устойчивости

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.

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.

10. Механика композиционных материалов. Основы мезомеханики

Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя. Микромеханика ползучести моно слоя. Микромеханика кратковременной и длительной прочности. Диссипативные свойства монослоя. Термоупругие свойства слоистых

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

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.

Литература

1. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир, 1987. 542с.
2. Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высшая школа, 1979. 432с.
3. Зубчанинов В.Г. Механика сплошных деформируемых сред. Тверь: ТГТУ, 2000. 703с.
4. Зубчанинов В.Г. Математическая теория пластичности. Тверь: ТГТУ, 2002. 300с.
5. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности. М.: Наука, 1996. 232с.
6. Ильюшин А.А. Пластичность. М.: Гостехиздат, 1998. 376с.
7. Ильюшин А.А. Пластичность. Основы общей математической теории пластичности. М.: АН СССР, 1963. 272с.
8. Ильюшин А.А. Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости . М.: Наука, 1970. 280с.
9. Ильюшин А.А. Ленский В.С. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1959.
10. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420с.
11. Керштейн И.М., Ключников В.Д, Ломакин Е. В., Шестериков С.А. Основы экспериментальной механики разрушения М.: МГУ, 1989.
12. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. М.: МГУ. 1979.

13. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. С.-П Наука, 1993. 471с.
14. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977. 416с.
15. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1986. 400с.
16. Морозов Е.М., Партон В.З. Механика упруго пластического разрушения. М.: Наука, 1985.
17. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 648с.
18. Новожилов В.В. Вопросы механики сплошной среды. Л.: Судостроение, 1989. 397с.
19. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л.: Судостроение, 1962.
20. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир. 1980.
21. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука. 1974. 416с.
22. Прагер В., Ходж Ф.Г. Теория идеально- пластических тел. М.: ИЛ, 1956.
23. Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов. Физматгиз, 1962.
24. Работнов Ю.Н. Механика деформированного твердого тела. М.: Наука, 1979. 744с.
25. Соколовский В.В. Теория пластичности. М.: Высшая школа, 1969. 608с.
26. Стренг Г., Фикс Дж. Теория конечных элементов. М.: Мир. 1977.
27. Тимошенко С.П., Гудьер Д.Ж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. 560с.
28. Толоконников Л. А. Механика деформируемого твердого тела. М.: Высшая школа, 1979. 318с.
29. Хилл Р. Математическая теория пластичности. М.: ГИТТЛ, 1956. 407с.