

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Новосибирский государственный технический университет»

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник ОПКВК

В.П. Драгунов

февраль 2022 г.



ПРОГРАММА - МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин

(технические науки)

Новосибирск

2022

Программа обсуждена на заседании ученого совета факультета летательных аппаратов
протокол № 1 от 27 января 2022 г.

Программу разработал

д.т.н., профессор



К.А. Матвеев

Декан ФЛА,

д.т.н., профессор



С.Д. Саленко

Ответственный за основную

образовательную программу

д.т.н., профессор



В.Е. Левин

Введение

В основу настоящей программы положены следующие курсы: аналитическая механика и теория колебаний, динамика и устойчивость упругих систем, теория упругости, теория пластичности и ползучести, механика разрушения, статистические методы и теория надежности, экспериментальные методы в механике. Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по машиностроению при участии Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Московского государственного авиационного института, Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева и МАТИ – Российского государственного авиационно-технологического университета им. К.Э. Циолковского.

1. Теоретическая механика

Динамика свободной материальной точки. Динамика несвободной материальной точки. Динамика относительного движения материальной точки. Система материальных точек. Твердое тело. Работа. Теорема об изменении кинетической энергии. Потенциальное силовое поле. Принцип возможных перемещений. Уравнения Лагранжа II рода. Случай сил, имеющих потенциал. Закон сохранения энергии.

Малые колебания с одной степенью свободы. Математический маятник, колебания с затуханием, резонанс. Осциллятор с малой нелинейностью. Асимптотический метод Крылова – Боголюбова – Митропольского.

Колебания систем с конечным числом степеней свободы. Свободные колебания: собственные частоты и формы колебаний. Главные координаты. Свойства ортогональности собственных векторов (форм колебаний). Вынужденные колебания, матрица гармонических коэффициентов влияния.

Принцип Гамильтона – Остроградского для упругого тела. Продольные и крутильные колебания прямого стержня. Задача о собственных колебаниях. Изгибные колебания балки.

Вынужденные колебания систем с распределенными параметрами. Разложение по формам собственных колебаний.

Поперечные колебания пластин. Собственные колебания прямоугольной и круглой пластин. Вариационные методы Ритца и Бубнова – Галеркина в задачах о колебаниях пластин.

2. Теория колебаний и устойчивости движения

Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Диссипативная функция Рэлея. Функция Гамильтона. Принцип Гамильтона-Остроградского.

Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные колебания консервативных систем. Формула Рэлея. Свойства собственных частот и форм колебаний. Главные (нормальные) координаты. Вынужденные колебания линейных систем.

Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта. Устойчивость по первому приближению. Критерии устойчивости линейных систем. Устойчивость периодических решений. Определение областей неустойчивости. Параметрически возбуждаемые колебания.

Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова—Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы. Предельные циклы и их устойчивость. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.

Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонансов.

3. Теория упругости

Тензоры напряжений и деформаций. Уравнения равновесия. Определение перемещений по деформациям. Уравнения совместности деформаций. Потенциальная энергия деформации. Закон Гука для изотропного и анизотропного тел.

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами—Митчела. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Теоремы о существовании и единственности. Прямой, обратный и полуобратный методы решения задач теории упругости. Принцип Сен-Венана. Вариационные принципы теории упругости. Принцип Лагранжа. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Принцип Кастильяно. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова—Галеркина, Треффца).

Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Методы решения задач (тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов, граничных разностей). Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова—Мусхелишвили. Кручение цилиндрических стержней.

Методы решения задач о концентрации напряжений (диски и пластина с отверстием, стержни с надрезом).

4. Теория пластин и оболочек

Допущения классической теории пластин и оболочек и связанная с ними погрешность. Основное уравнение изгиба пластин. Граничные условия. Точные решения задачи изгиба пластин. Применение вариационных и численных методов. Оптимальное армирование композиционных пластин, находящихся в условиях однородного напряженного состояния.

Криволинейные координаты на срединной поверхности оболочки. Уравнения классической теории тонких упругих оболочек. Внутренние усилия и моменты. Соотношения упругости. Потенциальная энергия деформации. Граничные условия.

Безмоментная теория оболочек. Область применения. Осесимметричный изгиб оболочек вращения. Асимптотическое интегрирование уравнений. Теория цилиндрических

оболочек. Интегрирование уравнений в одинарных и двойных рядах. Уравнения теории пологих оболочек и область их применения. Оптимальные схемы армирования безмоментных цилиндрических композиционных оболочек. Оптимальные конструктивные формы композитных оболочек вращения.

5. Теория пластичности, ползучести и вязкоупругости

Модели упругопластического тела. Критерии текучести. Поверхность текучести. Ассоциированный закон течения. Теория течения в случае изотропного и анизотропного упрочнения. Деформационная теория. Сравнение различных теорий пластичности.

Постановка задач в теории упругопластического и жесткопластического материала без упрочнения. Остаточные напряжения. Предельное состояние и предельная нагрузка. Определение верхней и нижней границ для предельной нагрузки. Приспособляемость. Простейшие задачи теории пластичности.

Гипотезы старения, упрочнения и наследственности в теории ползучести. Деформационная теория и теория пластического течения. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся и неуставившаяся ползучесть.

Теория линейной вязкоупругости. Математическое описание вязкоупругих свойств полимеров. Дифференциальная и интегральная формы соотношений между напряжениями и деформациями. Вязкоупругие функции, связь между ними. Постановка и методы решения задач теории вязкоупругости. Вязкоупругая аналогия. Вязкоупругие свойства композиционных материалов.

Краевые задачи теорий пластичности и ползучести. Концентрация напряжений и деформаций.

6. Конструкционная прочность

Физические основы прочности материалов. Вязкий и хрупкий типы разрушения. Прочность при сложном напряженном состоянии. Усталостное разрушение, его физическая природа. Малоцикловая усталость. Длительная прочность. Статистические аспекты разрушения и масштабный эффект. Влияние концентрации напряжений на прочность.

Механика разрушения. Основные гипотезы механики разрушения. Напряжения и деформации вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы к механике разрушения. Устойчивая и неустойчивая трещины. Вязкость разрушения и критический коэффициент интенсивности напряжений. Учет пластических деформаций в конце трещины. Диаграммы статического и циклического роста трещин. Расчеты на трещиностойкость.

Особенности деформирования и характер разрушения композиционных материалов при различных схемах армирования слоев и условиях нагружения.

7. Динамика упругих систем

Принцип Гамильтона—Остроградского для упругих систем. Уравнения продольных, крутильных и изгибных колебаний упругих стержней. Уравнения колебаний упругих пластин и оболочек.

Свойства собственных частот и форм упругих систем. Вариационные принципы в теории свободных колебаний. Методы определения собственных частот и форм упругих систем (вариационные, численные, конечных элементов). Вынужденные и затухающие колебания упругих систем.

Упругие волны в неограниченной упругой среде. Волны расширения и волны сдвига. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея. Основы решения задач аэрогидроупругости – постановка задач и методы анализа.

8. Динамика машин, приборов и аппаратуры

Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические эффекты, сила тяжести, различные виды трения) на критические скорости. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки.

Динамические процессы в гидравлических и пневмогидравлических машинах. Методы расчета аэрогидродинамических колебательных процессов.

Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Активная и пассивная виброзащиты. Каскадная виброизоляция. Виброакустика машин. Источники и траектории виброакустических волн. Методы виброакустической защиты машин.

Ударные нагрузки. Определение коэффициентов динамичности при ударе. Защита от ударных воздействий.

Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

9. Статистическая динамика и теория надежности машин, приборов и аппаратуры

Задачи статистической динамики. Линейные системы и методы их анализа. Прохождение стационарного случайного процесса через стационарную линейную систему. Понятие о нелинейных задачах статистической динамики. Случайные колебания в линейных и нелинейных системах.

Основные понятия теории надежности. Функции распределения. Связь между надежностью и долговечностью. Надежность составных систем. Резервирование. Оценки для вероятности редких выбросов и для функции надежности. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надежности. Применение теории случайных функций к расчету надежности машин, приборов и аппаратуры.

10. Численные методы расчетов динамики и прочности

Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования.

Основные способы дискретизации для решения задач динамики и прочности. Метод конечных разностей. Алгоритмизация вариационных методов. Метод конечных элементов и его реализация. Метод граничных элементов. Алгоритмы и программы, языки, операционные системы и вычислительная техника для численного решения задач.

11. Экспериментальные методы исследования динамики и прочности

Определение механических свойств материалов. Назначение и основные типы механических испытаний материалов. Испытательные машины, установки и стенды.

Методы анализа напряженно-деформированных состояний. Метод тензометрии. Поляризационно-оптический метод. Применение фотоупругих и лаковых тензочувствительных покрытий. Оптическая и голографическая интерферометрия.

Виброметрические измерения. Типы приборов и датчики для измерения динамических процессов. Обработка результатов вибрационных и динамических испытаний. Спектральный анализ виброграмм.

Термометрия. Электрические, оптические и тепловизионные измерения тепловых полей.

Диагностика и дефектоскопия материалов и деталей. Оптические, ультразвуковые, рентгеновские и тепловые методы технической диагностики и дефектоскопии.

Рекомендуемая основная литература

1. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высш. школа, 1972.
2. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. М.: Физматлит, 1961.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. М.: Машиностроение, 1999.
5. Горшков А.Г., Рабинский Л.Н., Тарлаковский Д.В. Основы тензорного анализа и механика сплошной среды. М.: Наука, 2000.
6. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985.
7. Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л.: Судостроение, 1962.
8. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. М.: Наука. Физматлит, 1981.
9. Пестриков В.Н., Морозов Е.Н. Механика разрушения твердых тел: Курс лекций. СПб.: Профессия, 2001.
10. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979.

Дополнительная программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин

I. ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ

1. Основные законы пластичности. Основные понятия и различные подходы к постановке задач теории пластичности. Упругая и пластическая деформации. Типичные кривые деформирования. Простое и сложное нагружение. Разгрузка. Эффект Баушингера. Условия возникновения пластических деформаций для изотропного тела. Критерии текучести. Условия начала пластичности для анизотропных тел. Поверхность нагружения. Условие упрочнения. Постулат Друкера. Ассоциированный закон течения. Теория

течения. Основные гипотезы и соотношения. Уравнения Прандтля-Рейса и Сен-Венана-Леви-Мизеса. Теория малых упруго – пластических деформаций. Теорема А.А. Ильюшина о простом нагружении. Связь между теорией течения и теорией малых упруго – пластических деформаций. Остаточные деформации и напряжения при разгрузке. Схематизация диаграмм деформирования.

Упруго – пластическое состояние равновесия. Система уравнений и условий пластического равновесия. Методы решения задач теории пластичности: метод упругих решений и метод переменных параметров упругости. Вариационные принципы в деформационной теории пластичности.

2. Теория предельного состояния. Основные допущения. Кинематическая и статическая теоремы. Применение этих теорем для определения предельных нагрузок жестко – пластических тел.

3. Ползучесть при одноосном и сложном напряженном состоянии. Ползучесть и релаксация. Кривые ползучести. Влияние температуры, понятие предела ползучести. Длительная прочность, коэффициенты запаса по времени и напряжениям.

II. МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Закон Гука в тензорной форме. Определение коэффициентов податливости при переходе к новой системе координат при плоском напряженном состоянии. Ограничения на упругие постоянные. Изгиб многослойных пластин. Способы проектирования многослойных пластин. Тензорно – полиномиальный критерий прочности.

Типы слоистых пластин. Расчетная модель многослойной пластины, состоящей из однонаправленно армированных непрерывными волокнами слоев, находящейся в плоско – напряженном состоянии. Деформация однонаправленно армированного слоя. Определение осредненных характеристик. Построение поверхностей прочности.

III. ТЕОРИЯ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

1. Изгиб и устойчивость стержней. Уравнения и граничные условия поперечного изгиба стержней. Уравнения и граничные условия продольно - поперечного изгиба стержней. Потенциальная энергия при продольно – поперечном изгибе стержня. Принцип Лагранжа. Вариационный вывод уравнения изгиба и граничных условий. Вариационные методы решения задач продольно – поперечного изгиба (методы Ритца, Бубнова – Галеркина, обобщенный метод Бубнова–Галеркина). Выбор аппроксимирующей функции при решении задач приближенными методами.

Устойчивость стержней. Метод Эйлера. Решение задач устойчивости стержней вариационными методами (метод Ритца, Тимошенко, Бубнова-Галеркина).

2. Плоские и пространственные фермы. Топологические свойства. Понятие шарнира. Кинематические свойства ферм. Статически определимые фермы. Уравнения равновесия узлов. Статически неопределимые фермы. Уравнения совместности перемещений. Метод перемещений для фермы. Матрицы жесткости стержней. Формирование уравнений равновесия. Свойства матрицы жесткости конструкции. Выполнение граничных условий. Решение системы уравнений.

3. Расчет рам, состоящих из прямолинейных стержней. Структура конструкции. Шарниры. Нагрузки и их задание. Способы закрепления конструкции. Применение метода перемещений к рамам. Матрицы жесткости элементов конструкции в местной системе координат. Преобразование матриц жесткости при повороте системы координат. Формирование матрицы жесткости конструкции. Перемещение конструкции как абсолютно жесткого тела. Условия закрепления и решение систем уравнений.

Основная литература

1. Конструирование машин. Т. 1, 2. М.: Машиностроение, 1994.
2. Испытательная техника. Т. 1, 2. М.: Машиностроение, 1982.
3. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Основы проектирования машин. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985.
4. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высш. шк., 1972.
5. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. М.: Стройиздат, 1971.
6. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.
7. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Физматгиз, 1966.
8. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1988.
9. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах / Гимадиев А.Г., Крючков А.Н., Леньпин В.В. и др.; Под ред. В.П. Шорина, Е.В. Шахматова. Самара: СГАУ, 1998.

Дополнительная литература

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1984.
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ, 1999.
4. Аэрогидроупругость конструкций / А.Г. Горшков, В.И. Морозов, А.Т. Пономарев, Ф.Н. Шклярчук. М., 2000.
5. Пестриков В.Н., Морозов Е.Н. Механика разрушения твердых тел. Курс лекций. СПб.: Профессия, 2001.

Правила аттестации:

Оценка знаний аспиранта осуществляется в виде кандидатского экзамена по билетам. В билеты включаются вопросы из основной и дополнительной частей программы кандидатского экзамена по специальности. По результатам ответа на вопросы по билету и при необходимости на дополнительные вопросы аспирант может получить следующие оценки: **Отлично** – на все вопросы в билете даны правильные ответы, полностью раскрывающие суть вопросов, и на дополнительные вопросы, заданные комиссией, аспирант ответил правильно и полностью.

Хорошо – на вопросы даны правильные, но не полные ответы. Раскрыта суть рассматриваемого процесса, но не приведены примеры. На дополнительные вопросы, заданные комиссией, аспирант ответил правильно и полностью.

Удовлетворительно – только на часть из вопросов дан правильный ответ, но на дополнительные вопросы, заданные комиссией, поступающий в аспирантуру ответил правильно и полностью.

Неудовлетворительно – на вопросы по билету аспирант ответил неправильно.