

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
НАУКИ  
**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ**  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИМАН УрО РАН)



Утверждаю

Директор ИМАН УрО РАН

Э.С. Горкунов

« 24 »

2013 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности

**01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»**

по физико-математическим наукам

Программа-минимум  
содержит 6 стр.

## **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие разделы: аналитическая механика и теория колебаний, динамика и устойчивость деформируемых систем, теория упругости, теория пластичности и ползучести, волны в сплошных средах, аэрогидроупругость, механика разрушения, статистические методы и теория надежности, численные методы в механике, экспериментальные методы в механике.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по математике и механике при участии МГУ им. М.В.Ломоносова.

### **1. Теория колебаний и устойчивости движения**

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

Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Малые собственные колебания консервативных систем. Формула Релея. 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. Критерий устойчивости 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.

### **2. Теория упругости**

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

Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами-Митчела. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. 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 теории

упругости (с помощью тригонометрических рядов, интегральных преобразований, конечных разностей, конечных и граничных элементов). Применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова-Мухелишвили. Кручение цилиндрических стержней.

Постановка пространственных и осесимметричных задач термоупругости.

### **3. Теория пластин и оболочек**

Допущения классической теории пластин и оболочек и связанная с ними погрешность. Основное уравнение изгиба пластин. Граничные условия. Изгиб пластин, имеющих в плане форму прямоугольника, круга, кругового кольца.

Криволинейные координаты на срединной поверхности оболочки. Уравнения теории 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. Слоистые пластины и оболочки.

### **4. 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 теорий пластичности.

Постановка задач в теории упругопластического 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. Постановка и методы решения задач теории ползучести. Установившаяся ползучесть при изгибе. Ползучесть вращающихся дисков.

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. Краевые задачи теорий пластичности и ползучести.

### **5. Конструкционная прочность и элементы механики разрушения**

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.

Теория квазихрупкого разрушения. Напряжения вблизи трещины в упругом теле. Энергетический и силовой подходы в механике разрушения. Условия разрушения тел с трещинами. Условия устойчивости трещин. Критический коэффициент интенсивности напряжений. Учет пластических деформаций в конце трещины. Влияние температуры на сопротивление хрупкому разрушению. Закономерности роста усталостных трещин. Разрушения в условиях ползучести. Понятие о коррозионной усталости и коррозионном растрескивании.

## **6. 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 форм и частот колебаний упругих систем. Вариационные принципы в теории свободных колебаний. Методы определения собственных частот и форм колебаний упругих систем. Вынужденные колебания упругих систем. Колебания диссипативных систем.

Упругие волны в неограниченной упругой среде. Продольные и поперечные волны. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Упругопластические волны.

Классификация, постановка задач аэрогидроупругости и методы их решения. Устойчивость упругих тел в потоке жидкости или газа.

## **7. 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 и др.) на критические скорости. Методы снижения виброактивности. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки роторов.

Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Активные и пассивные системы виброзащиты. Каскадная виброизоляция. Виброакустика машин. Методы виброакустической защиты машин.

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

## **8. 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 вибрационной 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 показателей надежности и ресурса. Применение теории случайных функций к расчету показателей надежности и долговечности машин, приборов и аппаратуры.

## **9. Вычислительная техника и программирование**

Этапы развития вычислительной техники. Поколения ЭВМ. Общие представления об архитектуре ЭВМ. Классификация ЭВМ. Персональные компьютеры.

Программное обеспечение ЭВМ. Операционные системы (Windows 95, Windows 98, Windows 2000). Пакеты прикладных программ для задач символьной математики (Mathcad, Matlab, Maple).

Понятие об алгоритмах и их программная реализация. Освоение одного конкретного алгоритмического языка (Фортран, Си, Паскаль, Бейсик и др.) в зависимости от имеющихся вычислительных средств и программного обеспечения.

Пакеты прикладных программ для задач динамики деформируемых тел (Nastran, Cosmos, Ansis).

## **10. Численные методы в динамике и прочности машин и конструкций**

Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности. Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования. Численные методы решения задач динамики и прочности. Разностные методы. Численная реализация вариационных методов. Метод конечных элементов. Метод граничных элементов. Интегрирование уравнений динамики на ЭВМ. Вычислительный эксперимент в задачах динамики и прочности. Статистическое моделирование на ЭВМ как средство оценки показателей надежности и ресурса. Применение компьютеров для решения оптимизационных задач.

## **11. Экспериментальные методы исследований динамики и прочности**

Определение механических свойств материалов. Назначение и основные типы механических испытаний. 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 измерительных устройств и датчиков 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.

### **Основная литература**

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

### **Дополнительная литература**

1. В.П. Дьяконов, И.В. Абрамова. Mathcad 8.0 в математике, физике и в Internetе. М.: Нолидж, 1999 г.
2. В.П. Дьяконов. Matlab 5.0 – 5.3 – система символьной математики. - М.: Нолидж, 1999 г.
3. В.П. Дьяконов. Математическая система Maple V – R3/4/5. М.: Солон, 1998 г.
4. О. Зенкевич. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975 г.
5. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. М.: Изд. МГТУ, 1999 г.