

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



Утверждаю

Директор ИМАШ УрО РАН

Э.С. Горкунов

«24» июля 2013 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по специальности

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

по техническим наукам

Программа-минимум  
содержит 6 стр.

## **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 Минобрнауки России по машиностроению при участии Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Московского государственного технического университета им. Баумана, Московского государственного авиационного института, Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева и «МАТИ» - Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского.

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

Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных 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. 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.

### **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. 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).

### **3. 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.

### **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 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 неустановившаяся 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.

## **5. 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 трещин. Диаграммы статического и циклического роста трещин. Расчеты на трещиностойкость.

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

## **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 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.

## **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) на критические скорости. Уравновешивание роторных машин. Методы статистической 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.

## **8. Статистическая динамика и теория надёжности 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 надёжности. Функции распределения. Связь между надёжностью и долговечностью. Надёжность составных систем. Резервирование. Оценки для вероятности редких выбросов и для функции надёжности. Правило суммирования повреждений и его применение для оценки надёжности. Применение теории случайных функций к расчету надёжности машин, приборов и аппаратуры.

## **9. Численные методы в динамике 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.

## **10. 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.

### **Основная литература**

1. Конструирование машин. – М.: Машиностроение, 1994. Том 1 – 529 с. Том 2 – 624 с.
2. Испытательная техника.- М.: Машиностроение, 1982. Том 1 – 528 с. Том 2 – 560 с.
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. 224 с.
4. Энциклопедия «Машиностроение». Т I - IV.
5. Колебания в технике. Т 1 – 6.
6. Надежность в технике. Т 1 – 6.
7. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: "Высшая школа", 1972.
8. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчетах сооружений. - М.: Стройиздат, 1971.
9. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: "Машиностроение", 1975.
10. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. - М.: Физматгиз, 1966.
11. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. - М.: Машиностроение, 1988, 270 с.
12. Гимадиев А.Г., Крючков А.Н., Леньпин В.В. и др. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах / Под ред Шорина В.П., Шахматова Е.В. - Самара: СГАУ, 1998. - 270 с.

### **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. Соппротивление материалов. М.: Изд. МГТУ, 1999.
4. Горшков А.Г., Морозов В.И., Пономарев А.Т. Шклярчук Ф.Н. Аэрогидроупругость конструкций. - М.: Физмат, 2000.
5. Пестриков В.Н., Морозов Е.Н. Механика разрушения твердых тел. Курс лекций. – С. - \_Петербург: Профессия 2001.