

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»




Директор института  
авиамашиностроения и транспорта

  
А.Е. Пашков

«10» октября 2023 г.



УТВЕРЖДАЮ

  
Проректор по учебной работе  
В.В. Смирнов

«12» октября 2023 г.

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания**  
**для поступающих на обучение по образовательным программам высшего**  
**образования – программам подготовки**  
**научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИРНИТУ**

**Научная специальность:**

1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

Иркутск 2023

## Тема № 1. Основы теоретической механики

Раздел 1. Аксиомы динамики. Дифференциальные уравнения движения материальной точки. Две основные задачи динамики для материальной точки. Решение прямой задачи динамики. Решение обратной задачи динамики, постоянные интегрирования и их определение по начальным условиям.

Раздел 2. Динамика относительного движения материальной точки. Основное уравнение относительного движения точки, дифференциальные уравнения относительного движения точки; переносная и кориолисова силы инерции. Принцип относительности классической механики. Инерциальные системы отсчета. Случай относительного покоя материальной точки на земной поверхности. Падение материальной точки на земную поверхность.

Раздел 3. Общие теоремы динамики для материальной точки. Теорема об изменении количества движения - понятия количества движения точки и импульса сил, вывод теоремы. Теорема об изменении момента количества движения - понятия момента количества движения точки, вывод теоремы. Теорема об изменении кинетической энергии - вычисление работы различных сил, вывод теоремы.

Раздел 4. Основы динамики механической системы. Масса системы. Центр масс системы и его координаты. Силы внешние и внутренние, активные силы и реакции связей. Свойства внутренних сил. Моменты инерции системы и твердого тела относительно плоскости, оси и полюса. Радиус инерции. Теорема о моментах инерции относительно параллельных осей. Осевые моменты инерции некоторых тел. Главные и главные центральные оси инерции. Дифференциальные уравнения движения точек механической системы.

Раздел 5. Общие теоремы динамики для механической системы. Теорема о движении центра масс системы. Закон сохранения движения центра масс. Количество движения, механической системы. Теорема об изменении количества движения системы в дифференциальной и конечной форме. Закон сохранения количества движения. Главный момент количества движения или кинетический момент механической системы относительно центра и оси. Кинетический момент вращающегося твердого тела относительно оси вращения. Теорема об изменении кинетического момента системы. Закон сохранения кинетического момента.

Раздел 6. Дифференциальные уравнения поступательного движения твердого тела. Дифференциальное уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси. Физический маятник. Дифференциальные уравнения плоского движения твердого тела.

Раздел 7. Кинетическая энергия механической системы. Вычисление кинетической энергии твердого тела в различных случаях его движения. Работа и мощность сил, приложенных к твердому телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси. Равенство нулю суммы работ внутренних сил, действующих в твердом теле или в неизменяемой механической системе. Теорема об изменении кинетической энергии механической системы в дифференциальной и конечной форме.

Раздел 8. Понятие о силовом поле. Потенциальное силовое поле и силовая функция. Выражение проекций силы через силовую функцию. Поверхности равного потенциала. Работа силы на конечном перемещении точки в потенциальном силовом поле. Потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии.

Раздел 9. Движение твердого тела вокруг неподвижной точки. Работа и мощность сил, приложенных к твердому телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси. Кинематические

и динамические уравнения Эйлера. Движение уравновешенного симметричного гироскопа. Элементарная теория гироскопа. Кинетический момент быстро вращающегося гироскопа. Теорема Резаля. Основное свойство гироскопа. Закон прецессии. Гироскопический момент. Определение гироскопических реакций. Примеры применения гироскопа в технике.

#### Основная литература

1. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики [у] : в 2 т.: учебное пособие для вузов по техническим специальностям. - (Учебники для вузов. Специальная литература). Т. 1 : Статика и кинематика. Т. 2. Динамика, 2008. - 729 с.
2. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов: в 3 т. Т. 2 : Динамика, 2013. - 638 с.
3. Королев Ю. В. Теоретическая механика : учеб. пособие / Ю. В. Королев, 2006. - 207 с.

#### Дополнительная литература

1. Молотников В. Я. Механика конструкций. Теоретическая механика. Соппротивление материалов : учебное пособие / В. Я. Молотников, 2012. - 539 с.
2. Геронимус Я. Л. Теоретическая механика. Очерки об основных положениях : монография / Я. Л. Геронимус, 1973. - 511.
3. Королев Ю.В. Теоретическая механика. Учимся решать задачи : учебное пособие для самостоятельной работы. Ч. 3 : Динамика материальной точки, 2016. - 134 с.
4. Королев Ю.В. Теоретическая механика. Учимся решать задачи : учебное пособие для самостоятельной работы. Ч. 4 : Динамика механической системы. Общие теоремы динамики, 2017. - 166.
5. Машиностроение : энциклопедия: В 40т. Разд. I. Инженерные методы расчетов. Т. I-2: Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен/К. С. Колесников и др.; Ред.-сост. К. С. Колесников, А. И. Леонтьев; Отв. ред. К. С. Колесников / Ред. совет: Фролов К. В. (пред.) и др., 1999. - 600.

#### Тема № 2. Элементы аналитической механики

Раздел 1. Связи и их уравнения. Классификация связей; голономные и неголономные, стационарные и нестационарные, удерживавшие и неудерживающие связи. Возможные или виртуальные перемещения точек системы. Число степеней свободы системы. Идеальные связи. Обобщенные координаты системы. Обобщенные силы и их вычисление. Условия равновесия системы в обобщенных координатах. Принцип возможных перемещений. Условия равновесия системы в обобщенных координатах.

Раздел 2. Принцип Даламбера. Принцип Даламбера для материальной точки; сила инерции. Принцип Даламбера для механической системы. Главной вектор и главный момент сил инерции. Приведение сил инерции твердого тела к заданному центру. Применение при решении задач. Принцип Даламбера – Лагранжа; общее уравнение динамики.

Раздел 3. Дифференциальные уравнения движения механической системы в обобщенных координатах или уравнения Лагранжа второго рода. Кинетический потенциал. Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Диссипативная функция Релея.

#### Основная литература

1. Аппель. Теоретическая механика. Т. 2 : Динамика системы. Аналитическая механика / пер. с 6-го фр. изд. И. Г. Малкина, 1960. - 487.

2. Вильке Владимир Георгиевич. Теоретическая механика : [Учеб. по направлениям "Математика", "Механика", "Механика, прикладная математика", специальностям "Математика", "Механика"] / В. Г. Вильке, 2003. - 300.
3. Королев Ю. В. Теоретическая механика : учеб. пособие / Ю. В. Королев, 2006. - 207 с.

#### Дополнительная литература

1. Геронимус Я. Л. Теоретическая механика. Очерки об основных положениях : монография / Я. Л. Геронимус, 1973. - 511.
2. Королев Ю.В. Теоретическая механика. Учимся решать задачи : учебное пособие для самостоятельной работы. Ч. 4 : Динамика механической системы. Общие теоремы динамики, 2017. - 166 с.
3. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Статика. Кинематика. Динамика : учеб. пособие для вузов.– М.: КНОРУС, 2010. – 603 с.

### Тема № 3. Теория колебаний и устойчивости движения

Раздел 1. Введение в теорию колебаний. Теорема Лагранжа – Дирихле об устойчивости равновесия консервативной системы. Кинетическая и потенциальная энергии механической системы при ее малых отклонениях от положения устойчивого равновесия. Выражения кинетической и потенциальной энергий механической системы с одной степенью свободы.

Раздел 2. Малые свободные колебания механической системы с одной степенью свободы без учета сил сопротивления движению. Свободные гармонические колебания. Амплитуда колебаний. Частота и период колебаний. Фаза и начальная фаза. Начальные условия. Сложение гармонических колебаний. Биения. Частота биений.

Раздел 3. Учет сил сопротивления движению пропорциональных скорости в механической системе с одной степенью свободы. Затухающие колебания. Декремент колебаний. Исследование движения механической системы с одной степенью свободы при учете сил сопротивления пропорциональных скорости. Дифференциальное уравнение движения и его решение.

Раздел 4. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний механической системы с одной степенью свободы и его решение. Резонансный режим работы системы. Коэффициент динамичности и угол сдвига фаз вынужденных колебаний.

Раздел 5. Малые свободные колебания механической системы с двумя степенями свободы. Выражения кинетической и потенциальной энергий и диссипативной функции механической системы с двумя степенями свободы. Движение механической системы с двумя степенями свободы. Малые свободные колебания механической системы с двумя степенями свободы.

Раздел 6. 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.

Раздел 7. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Устойчивость по первому приближению. Критерии устойчивости линейных систем.

Раздел 8. Теория нелинейных колебаний. Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Методы малого параметра, Крылова-Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы.

#### Основная литература

1. Ильин М.М., Колесников К.С., Саратов Ю.С. Теория колебаний: учеб. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 271с.

2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Комкнига, 2006. – 439 с.
3. Королев Ю. В. Теоретическая механика : учеб. пособие / Ю. В. Королев, 2006. - 207 с.

#### Дополнительная литература

1. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Физматгиз, 1968. – 560с.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. – М.: Б.и., 1972. – 416 с.
3. Вибрации в технике: справочник в 6 т. / Ред. совет: В. Н. Челомей [и др.]. – Т. 1: Колебания линейных систем/ под ред. В.В. Болотина. – М.: Машиностроение, 1978. – 352 с.
4. Вибрации в технике: справочник в 6 т. / Ред. совет: В. Н. Челомей [и др.]. – Т. 2: Колебания нелинейных механических систем/ под ред. И.И. Блехмана. – М.: Машиностроение, 1979. – 351с.

#### Тема 4. Основы динамики машин

Раздел 1. Задачи и методы силового анализа. Кинетостатический расчет исполнительных механизмов машин. Характеристика сил, действующих на звенья механизмов и машин. Определение сил инерции при различных движениях звеньев. Способы задания сил. Индикаторные диаграммы. Условия статической определимости кинематической цепи. Порядок кинетостатического анализа машин. Силовой расчет групп Ассура первого, второго и третьего видов. Силовой расчет начального звена. Теорема Жуковского. «Рычаг» Жуковского. Определение уравнивающей силы с помощью рычага Жуковского.

Раздел 2. Учет сил трения. Виды трения. Законы Кулона-Амонтона. Трение в поступательной кинематической паре. Угол трения. Трение во вращательной кинематической паре. Круг трения. Трение качения в высшей кинематической паре. Условие отсутствия скольжения. Трение в винтовой паре. Явление самоторможения механизмов. Теоретические основы вибрационного перемещения.

Раздел 3. Механический коэффициент полезного действия (КПД) машин. Определение механического КПД при последовательном и параллельном соединениях исполнительных механизмов машин.

Раздел 4. Основные задачи и методы динамики машин. Основное уравнение динамики. Выбор динамической модели машинного агрегата. Условие приведения сил и моментов сил, действующих на машинный агрегат. Приведенная сила и приведенный момент сил. Условие приведения масс и моментов инерции. Приведенная масса и приведенный момент инерции. Одномассовая динамическая модель.

Раздел 5. Учет упругости звеньев машин. Многомассовые динамические модели. Учет динамики приводов движения. Электропривод исполнительных механизмов машин. Гидропривод исполнительных механизмов машин. Пневмопривод исполнительных механизмов машин.

Раздел 6. Режимы движения машинных агрегатов и их энергетические характеристики. Исследование переходных режимов движения. Отстройка от резонансных режимов работы. Неравномерность хода машинных агрегатов. Способы ограничения неравномерности хода машинных агрегатов.

Раздел 7. Уравнения движения механизмов в энергетической и дифференциальной формах. Графо-аналитический метод динамического синтеза. Диаграмма энерго масс (Виттенбауэра). Порядок построения диаграммы энерго масс для установившегося движения машинного агрегата. Определение закона движения начального звена. Подбор маховика по заданному коэффициенту неравномерности хода.

#### Основная литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин : учебник для вузов. – 6-е изд., стер. – М. : Альянс, 2011. – 640 с.

2. Вульфсон И.И. Динамика цикловых машин : монография. – СПб.: Политехника, 2013. – 425 с.
3. Кузнецов Н.К. Теория механизмов и машин: учеб. пособие. – Иркутск : Изд-во ИргТУ, 2014. – 104 с.

#### Дополнительная литература

1. Кузнецов Н. К. Динамика управляемых машин с дополнительными связями : монография / Н. К. Кузнецов, 2009. - 288.
2. Вейц В.Л., Коловский М.З., Кочура А. Е. Динамика управляемых машинных агрегатов. – М. : Наука, 1984. – 352 с.
3. Машиностроение : энциклопедия : В 40 т. : Т. 1–3: В 2 кн. / Ред. совет: К. В. Фролов [и др.]. – Кн. 1 : Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин / К. С. Колесников [и др.]; под ред. К. С. Колесникова. – М. : Машиностроение, 1994. –
4. Динамика машин и управление машинами: справочник / В. К. Асташев, В. И. Бабицкий, И. И. Вульфсон [и др.] / под ред. Г. В. Крейна. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
5. Коловский Михаил Захарович. Динамика машин / Михаил Захарович Коловский, 1989. - 262.
6. Елисеев А. В., Кузнецов Н.К., Московских А.О. Динамика машин, системные представления, структурные схемы и связи элементов: монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 381 с.
7. Степанов А. Г. Динамика машин : монография / А. Г. Степанов, М. В. Корняков, 2014. - 412.
8. Вульфсон И. И. Динамика машин. Колебания [Электронный ресурс] : учебное пособие / И. И. Вульфсон, 2018. - 275 с.

#### Тема 5. Уравновешивание и виброзащита машин

Раздел 1. 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.

Раздел 2. Виды неуравновешенности исполнительных механизмов машин. Неуравновешенность вращающихся масс (роторов). Статическая, моментная и динамическая неуравновешенность роторов. Главный вектор и главный момент дисбаланса ротора. Статическая и динамическая балансировка роторов.

Раздел 3. Уравновешивание исполнительных механизмов машин. Статическое и полное уравновешивание исполнительных механизмов машин. Способы статического уравновешивания исполнительных механизмов машин. Метод замещающих масс. Полное статическое уравновешивание кривошипно-ползунного механизма.

Раздел 4. Вибрации в технике. Виброактивность машин. Особенности воздействия вибраций и ударов на долговечность машин, их безопасность и качество работы. Причины возникновения вибраций и ударов.

Раздел 5. Общие сведения о виброзащитных системах. Основные способы снижения виброактивности машин. Пассивные и активные виброзащитные системы. Виброизоляция с помощью упругих амортизаторов. Коэффициент виброизоляции. Условие эффективности виброзащитной системы.

Раздел 6. Динамическое гашение колебаний. Явление антирезонанса. Инерционные динамические гасители колебаний, динамические гасители с трением. Динамические поглотители колебаний. Активные динамические гасители колебаний.

Раздел 7. Пневматические и гидравлические демпферы. Определение параметров демпферов. Самонастраивающиеся гидравлические демпферы.

Раздел 8. Особенности динамических моделей управляемых машин с учетом упругости звеньев. Активные и пассивные способы снижения динамических ошибок управляемых машин в переходных режимах работы. Ограничение упругих колебаний и снижение динамических ошибок управляемых машин на основе концепции обратных задач динамики.

#### Основная литература

1. Кузнецов Н. К. Динамический синтез управляемых машин [Электронный ресурс] : монография / Николай Кузнецов, 2013. - 357 с.
2. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин : учебник для вузов / И. И. Артоболевский, 2011. – 640 с.
3. Вибрации в технике: справочник в 6 т. / Ред. совет: В. Н. Челомей [и др.]. – Т. 6: Защита от вибраций и ударов / под ред. К. В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1995.

#### Дополнительная литература

1. Фролов К.В. Избранные труды: В 2т. / Редкол.: Е.Ф. Мищенко [и др.].– Т.1: Вибрация и техника.– М.: Наука, 2007.– 349 с.
2. Тимофеев Г. А. Теория механизмов и машин : учебное пособие для вузов по техническим специальностям / Г. А. Тимофеев, 2012. – 351 с.
3. Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Московских А.О. Динамика машин. Системные представления, структурные схемы и связи элементов: монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 381 с.
4. Конструирование машин : справочно–методическое пособие : В 2 т. : Т. 1/Ред совет: К.В. Фролов [и др.]; под ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение, 1994. – 528 с.

#### Составитель:

Кузнецов Н.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой конструирования и стандартизации в машиностроении

