

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н. проф.  Драгунов В.К.



«» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 1.1.7. Теоретическая механика, динамика
машин. Профиль: Динамика машин

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Теоретическая механика, динамика машин» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение закономерностей и связей, динамических процессов, напряженного состояния и прочности машин, приборов и аппаратуры для последующего применения полученных знаний в процессе практической работы и теоретических исследований проблем современной механики.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с научными основами и инструментальными средствами проектирования машин, приборов, аппаратуры, технологий и материалов;
- познакомить обучающихся с методами и средствами совершенствования существующих машин, приборов, аппаратуры и технологий, обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками, меньшей материало- и энергоемкостью;
- научить производить расчеты для обеспечения эффективности, надежности и безопасности машин, приборов и аппаратуры на всех стадиях жизненного цикла, начиная с выбора конструктивного решения и заканчивая решением вопроса о снятии с эксплуатации или о продлении срока службы.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Динамика машин – область науки и техники, изучающая методами механики и вычислительной математики поведение технических объектов различного назначения, закономерности механических явлений и связанных с ними процессов иной природы (пневмогидравлических, тепловых, электрических и т.д.), имеющих место в машинах, приборах, конструкциях и их элементах, а также в материалах, как естественных, так и полученных искусственно. Динамика машин изучает закономерности и связи, динамических процессов, напряженного состояния и прочности машин, приборов и аппаратуры. Динамика машин использует теоретические методы

прикладной теории упругости и пластичности, теории линейных и нелинейных колебаний, статистической механики и надежности машин, приборов и конструкций.

Области исследований

1. Аналитическая динамика.
2. Теория линейных и нелинейных колебаний, проблемы устойчивости равновесия и движения.
3. Динамика машин, приборов, аппаратуры, систем и комплексов машин и приборов.
4. Теория колебаний механических систем.
5. Динамика хаотических явлений.
6. Механика твердого тела и систем твердых тел.
7. Динамика тонкостенных стержней пластин и оболочек.
8. Аналитические методы механики систем с бесконечным числом степеней свободы
9. Динамика систем, состоящих из абсолютно твердых и деформируемых тел, в том числе машин, приборов и конструкций.
10. Статистическая механика и надежность машин, приборов и конструкций.
11. Методы и техника экспериментального исследования динамики и машин, приборов и конструкций.
12. Математическое и компьютерное моделирование динамики механических систем, в том числе машин, приборов и их элементов при динамических, статических, тепловых и других видах воздействий.
13. Методы нахождения оптимальных и/или рациональных конструктивных решений, включая выбор материалов, силовых схем, размеров и т.п.

Отрасль науки

- технические науки;
- физико-математические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теоретическая механика, теория упругости, высшая математика, линейная алгебра и аналитическая геометрия, механика материалов и конструкций, сопротивление материалов, строительная механика машин, вычислительная механика, аналитическая механика и теория колебаний, статистическая механика и теория надежности, устойчивость механических систем, прикладные методы теории колебаний, гидроаэроупругость, нормы прочности, безопасности и проектирования.

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. Спектральные свойства линейных систем. Нормальные координаты. Классификация линейных сил. Формула Релея. Свойства собственных частот и форм колебаний. Главные (нормальные) координаты.

Вынужденные колебания линейных систем. Амплитудно-частотные характеристики. Резонанс. Параметрический резонанс в линейных системах с периодическими коэффициентами. Уравнения продольных, крутильных и изгибных колебаний упругих стержней. Уравнения колебаний упругих пластин и оболочек. Свойства собственных частот и форм упругих систем.

Вариационные принципы механики. Методы определения собственных частот и форм упругих систем (вариационные, численные, конечных элементов). Принцип наименьшего принуждения Гаусса. Принцип Гамильтона-Остроградского. Принцип наименьшего действия в формах Лагранжа и Якоби. Вынужденные и затухающие колебания упругих систем.

Случайные процессы и их характеристики. Стационарные случайные процессы. Задачи и методы статистической динамики. Спектральный метод описания стационарных случайных процессов. Случайные колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы. Метод спектральных представлений в теории случайных колебаний.

Методы статистического моделирования. Упругие волны в неограниченной упругой среде. Волны расширения и волны сдвига. Дисперсионные уравнения. Фазовая и групповая скорости. Поверхностные волны Релея.

Теория нелинейных колебаний. Амплитудно-частотные характеристики. Бифуркации стационарных состояний. Автоколебательные системы. Автоколебания, как устойчивые предельные циклы на фазовой плоскости. Качественная теория Пуанкаре. Понятие нормальной формы Пуанкаре. Понятие о разделении движений и методах осреднения. Метод точечных отображений. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова – Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Предельные циклы и их устойчивость. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.

Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонанса.

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.

Основные уравнения аэродинамики. Крыло в плоском установившемся потоке. Крыло в стационарном околосзвуковом потоке. Флаттер как неконсервативная задача теории упругой устойчивости. Флаттер упругих пластин и оболочек при сверхзвуковых скоростях.

Колебания упругих систем в жидкости. Собственные колебания стержня в жидкости. Колебания упругих систем с жидкостью. Колебания трубопроводов с пульсирующим потоком жидкости.

Прочность динамических систем при циклических нагрузках. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Модели усталостного разрушения при одноосном и объемном напряженном состоянии, при стационарном и нестационарном нагружении.

Безопасность машин и конструкций. Основные задачи и понятия теории надёжности. Показатели безотказности и долговечности. Прогнозирование ресурса. Надёжность сложных систем. Резервирование.

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

Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования в задачах динамики. Основные способы дискретизации для решения задач динамики. Метод конечных разностей. Алгоритмизация вариационных методов. Метод конечных элементов и его реализация. Метод граничных элементов.

Динамика тонкостенных стержней пластин и оболочек

Свободные колебания стесненного кручения стержней постоянного сечения. Колебания тонкостенных стержней, лежащих на упругом основании. Метод начальных параметров в теории свободных и вынужденных крутильных колебаний тонкостенных стержней. Свободные изгибно-крутильные колебания тонкостенных стержней.

Уравнения колебаний пластин постоянной толщины. Собственные поперечные колебания. Собственные формы колебаний, собственные частоты, спектр, частота основного тона. Собственные частоты и собственные формы колебаний прямоугольной шарнирно опертой пластины, пластины с двумя опертыми краями. Круглая пластина постоянной толщины, определение форм и частот колебаний. Применение метода Рэлея-Ритца к определению частот

собственных колебаний пластинок. Колебания пластин на упругом основании. Влияние начальных усилий в срединной плоскости прямоугольной пластины на частоты собственных колебаний. Поперечные колебания пластин Тимошенко. Вынужденные колебания пластин.

Свободные колебания круговых цилиндрических оболочек. Колебания оболочек вращения. Уравнения осесимметричных колебаний. Асимптотический метод в теории колебаний упругих пластин и оболочек. Вынужденные поперечные колебания пологих оболочек. Уравнения динамической теории оболочек Тимошенко, случай цилиндрических, сферических и конических оболочек.

Устойчивость движения

Основные понятия теории устойчивости движения. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Функции Ляпунова. Общие теоремы второго метода Ляпунова.

Устойчивость линейных стационарных систем. Критерий Рауса-Гурвица. Частотные критерии (критерии Михайлова, Найквиста). Теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению. Понятие о критических случаях. Критический случай пары чисто мнимых корней.

Устойчивость стационарных движений механической системы. Теорема Лагранжа об устойчивости положения равновесия и ее обобщения. Обращение теоремы Лагранжа. Коэффициенты устойчивости Пуанкаре. Влияние структуры сил на характер устойчивости положения равновесия.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы.
2. Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы.
3. Вынужденные колебания линейных систем.
4. Вариационные принципы механики.
5. Случайные процессы и их характеристики. Случайные колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы.
6. Методы статистического моделирования.
7. Теория нелинейных колебаний. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем.
8. Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонанса.
9. Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки.
10. Основные уравнения аэродинамики. Флаттер упругих пластин и оболочек.
11. Колебания упругих систем в жидкости.

12. Прочность динамических систем при циклических нагрузках.

13. Безопасность машин и конструкций. Основные задачи и понятия теории надёжности. Прогнозирование ресурса.

14. Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Виброакустика машин. Защита от ударных воздействий.

15. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

16. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования в задачах динамики. Основные способы дискретизации для решения задач динамики.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

а) не ответил на вопросы экзаменационного билета

б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Веретенников В.Г., Сеницын В.А. Теоретическая механика (дополнения к общим разделам). М.: Физматлит. 2006.
2. Горшков А.Г., Трошин В.Н., Шалашилин В.И. Сопротивление материалов. Уч. пос. М.: Физматлит. 2008.
3. Елизаров А.М., Касимов А.Р., Маклаков Д.В. Задачи оптимизации формы в аэрогидродинамике. М.: Физматлит. 2008.
4. Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Основы механики сплошной среды. Курс лекций М.: Физматлит. 2006.
5. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Основы проектирования машин. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. М.: Машиностроение, 1985.
6. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. М.: Высш. шк., 1972.
7. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем.-М.: Наука, 1979 г.-335 с.
8. Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. -М.: Физматгиз, 1961 г.-339 с.
9. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти томах. т.1. Колебания линейных систем. /Под ред. Болотина В.В./ -М.: Машиностроение, 2-е изд., 1999 г., -506 с.
10. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи гидроупругости. М.: Наука, 1979 г.-320 с.
11. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи аэроупругости. М.: Наука, 1980 г.-300 с.
12. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.-М.: Наука, 2003 г.-847 с.

Дополнительная литература:

1. Четаев Н.Г. Теоретическая механика. М.: Наука. 1987.
2. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. М.: Наука. 2001.
3. Маркеев А.П. Теоретическая механика. М.: Наука, 1999.
4. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2000.
5. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. М.: Наука. 1971.
6. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Физматлит. 1969.
7. Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах / Гимадиев А.Г., Крючков А.Н., Леньшин В.В. и др.; Под ред. В.П. Шорина, Е.В. Шахматова. Самара: СГАУ, 1998.
8. Макаревский А.И., Чижов В.М. Основы прочности и аэроупругости летательных аппаратов.-М.: Машиностроение, 1982 г.-238с.
9. Прочность, устойчивость, колебания: в 3 т. Т. 3: справочник / В. В. Болотин, [и др.]; Общ. ред. И. А. Биргер, Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1968. – 567 с.

10. Фершинг Г. Основы аэроупругости. -М.: Машиностроение, 1984 г.- 600 с.
11. А.П.Филиппов Колебания упругих систем. –Киев, 1956 г. – 322 стр.
12. Н.И.Карякин Основы расчета тонкостенных конструкций. – М.: Высшая школа, 1960 г. - 240с.
13. А.Л. Гольденвейзер, В.Б.Лидский, П.Е.Товстик. Свободные колебания тонких упругих оболочек. М.: Наука, 1979 г. – 384 с.
14. А.М.Масленников. Динамика и устойчивость сооружений. М.:Юрайт, 2017 г.–366с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: Office; Windows; MathCad; Matlab; Ansys; Fidesys; AutoCAD (версия для обучающихся и преподавателей).

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

докт. техн. наук, профессор

Е.В. Позняк

Заведующий кафедрой
Робототехники, мехатроники,
динамики и прочности машин
докт. техн. наук, профессор

И.В. Меркурьев

Директор ЭнМИ
докт. техн. наук, профессор

И.В. Меркурьев