

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан механико-математического  
факультета, д.ф.-м.н., профессор,  
член-корреспондент РАН

\_\_\_\_\_ /А.И. Шафаревич/

« 30 » сентября 2022 г.

## **ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

кандидатского экзамена по научной специальности

### **1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин**

Область науки: **1. Естественные науки**

Группа научных специальностей: **1.1. Математика и механика**

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени:  
**физико-математические науки**

Рабочая программа утверждена  
Ученым советом факультета  
(протокол № 6 от 30 сентября 2022 г.)

Москва 2022

## Описание программы

В качестве временной программы-минимум кандидатского экзамена по научной специальности **1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин** взята программа-минимум кандидатского экзамена по старой номенклатурной научной специальности 01.02.01 «Теоретическая механика» по физико-математическим и техническим наукам, разработанная экспертным советом Высшей аттестационной комиссии по математике и механике при участии Научно-методического совета по теоретической механике Минобразования РФ.

Настоящая программа содержит следующие разделы: кинематика, динамика, устойчивость движения, колебания, вариационные принципы механики, элементы теории групп Ли, гамильтонова механика, элементы небесной механики, механика управляемых движения.

### I. Основные разделы и вопросы к экзамену

#### 1. Кинематика

1.1. *Кинематика точки.* Естественный трехгранник Дарбу. Криволинейные координаты и параметры Ламе.

1.2. *Кинематика системы отсчета* (кинематика абсолютно твердого тела). Свойства матрицы направляющих косинусов и кватернионов. Спиновые матрицы Паули и параметры Келли-Клейна. Угловая скорость. Кинематические уравнения для углов Эйлера, для матрицы направляющих косинусов (уравнения Пуассона) и уравнения для кватернионов. Теорема о телесном угле в кинематике вращательного движения.

1.3. *Кинематика относительного движения.*

#### 2. Динамика

2.1. *Геометрия масс и основные теоремы динамики.* Теоремы об изменении количества движения и момента количества движения. Теорема о движении центра масс. Реактивное движение. Уравнение Мещерского.

Теорема об изменении кинетической энергии. Основные теоремы динамики для относительного движения.

2.2. *Специальные задачи динамики точки.* Задача двух тел и ее решение. Классификация траекторий. Законы Кеплера для эллиптических траекторий. Основная задача внешней баллистики.

2.3. *Классические задачи динамики твердого тела.* Случаи Эйлера, Лагранжа, Ковалевской. Стационарные движения: перманентные вращения и регулярная прецессия. Гироскоп.

2.4. *Лагранжева механика.* Принцип Даламбера-Лагранжа. Конфигурационное многообразие системы с конечным числом степеней свободы. Обобщенные координаты. Виртуальные перемещения. Голономные и неголономные системы. Уравнения Лагранжа. Уравнения Лагранжа с множителями. Уравнения Аппеля. Уравнения Рауса для систем с циклическими координатами. Первые интегралы уравнений Лагранжа.

### **3. Устойчивость движения**

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

3.2. *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.

3.3. *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.

### **4. Колебания**

4.1. *Колебания линейных стационарных систем.* Спектральные свойства линейных систем. Нормальные координаты. Классификация линейных сил. Теоремы Релея. Вынужденные колебания. Амплитудно-частотные характеристики. Резонанс. Параметрический резонанс в линейных системах с периодическими коэффициентами.

4.2. *Колебания нелинейных систем.* Амплитудно-частотные характеристики. Бифуркации стационарных состояний. Автоколебания, как устойчивые предельные циклы на фазовой плоскости. Понятие нормальной формы Пуанкаре. Понятие о разделении движений и методах осреднения. Метод точечных отображений.

## **5. Вариационные принципы механики**

5.1. Принцип наименьшего принуждения Гаусса.

5.2. Принцип Гамильтона-Остроградского.

5.3. Принцип наименьшего действия в формах Лагранжа и Якоби.

## **6. Элементы теории групп Ли**

6.1. Группы преобразований. Операторы группы. Теорема единственности однопараметрической группы. Ряды Ли и Хаусдорфа.

6.2. Группы симметрий. Канонические координаты. Продолжение группы. Дифференциальные и интегральные инварианты.

## **7. Гамильтонова механика**

7.1. Обобщенные импульсы. Преобразования Лежандра. Уравнения Рауса и Гамильтона. Первые интегралы. Скобки Пуассона. Теорема Лиувилля о фазовом объеме. Интегральные инварианты Пуанкаре и Пуанкаре-Картана.

7.2. Канонические преобразования. Локальный критерий каноничности. Производящие функции. Метод Биркгофа нормализации гамильтониана. Уравнение Гамильтона-Якоби.

7.3. Переменные действие-угол. Теорема Лиувилля об инвариантных торах.

## **8. Элементы небесной механики**

8.1. Дифференциальные уравнения возмущенного движения в оскулирующих элементах в задаче двух тел.

8.2. Задача трех тел и ее первые интегралы. Ограниченная круговая задача трех тел. Понятие о точках либрации и их устойчивости.

8.3. Задача о движении небесного тела вокруг его центра масс под действием момента гравитационных сил.

## **9. Механика управляемых движений**

9.1. *Структурный анализ и линейный синтез управляемых систем.* Управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость линейных систем. Критерии управляемости и наблюдаемости. Управление по принципу обратной связи. Стабилизация по первому приближению.

9.2. Оценивание состояния линейных систем. Фильтр Калмана. Совместная задача оценивания и управления.

9.3. *Инерциальная навигация.* Методы определения местоположения и ориентации объекта, движущегося в поле сил притягивающего центра. Уравнения ошибок инерциальной навигации и их свойства.

9.4. Принцип максимума Понтрягина. Метод динамического программирования Беллмана. Связь принципа максимума с методом Беллмана.

## **II. Рекомендуемая литература**

### **Основная литература:**

1. Аппель П. Теоретическая механика. Т.1,2. М.: Физматгиз. 1960.
2. Болотин С.В., Карапетян А.В., Кугушев Е.И., Трещев Д.В. Теоретическая механика. М.: Академия, 2010.

3. Журавлев В.Ф. Основы теоретической механики. М.: Наука. 1997.
4. Маркеев А.П. Теоретическая механика. М.: ЧеРо, 1999.
5. Четаев Н.Г. Устойчивость движения. М.: Наука. 1965.
6. Демидович Б.П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Физматлит. 1969.
7. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Прикладные методы теории колебаний. М.: Наука. 1988.
8. Суслов Г.К. Теоретическая механика. М.: Гостехиздат, 1946.
9. Уиттекер Е.Т. Аналитическая динамика. Изд-во Удмурдского университета. 1999.
10. Александров В.В., Лемак С.С., Парусников Н.А. Лекции по механике управляемых систем. М.: КУРС, 2018. 288 с.
11. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление. М.: Наука, 1992.
12. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высшая школа. 1998.

#### **Дополнительная литература:**

1. Арнольд В.И., Козлов В.В., Нейштадт А.И. Математические аспекты классической и небесной механики, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Эдиториал УРСС, 2002.
2. Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А., Тихомиров В.М. Оптимизация динамики управляемых систем. Изд-во МГУ, 2000.
3. Влахова А.В., Мартыненко Ю.Г., Новожилов И.В. Колебания и фракционный анализ. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2020.
4. Голован А.А., Парусников Н.А. Математические основы навигационных систем. Ч. I. Математические модели инерциальной навигации. М.: МАКС Пресс, 2011. Ч. II. Приложения методов оптимального оценивания к задачам навигации. М.: МАКС Пресс, 2012.

5. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука. 1976.
6. Климов Д.М. Инерциальная навигация на море. М.: Наука. 1984.
7. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир. 1965.
8. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Б.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука. 1967.

### III. Критерии оценивания

<b>Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене</b>			
1	2	3	4
<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
Отсутствие знаний или фрагментарные знания основных и специальных разделов теоретической и прикладной механики, методов исследования механических систем, современных тенденций в теоретической механике	Неполные знания основных и специальных разделов теоретической и прикладной механики, методов исследования механических систем, современных тенденций в теоретической механике	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных и специальных разделов теоретической и прикладной механики, методов исследования механических систем, современных тенденций в теоретической механике	Сформированные систематические знания основных и специальных разделов теоретической и прикладной механики, методов исследования механических систем, современных тенденций в теоретической механике