

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

УТВЕРЖДАЮ:



Председатель приемной комиссии УлГУ

Б.М. Костишко

Костишко 2023 г.

ПРОГРАММА

вступительных испытаний по научной специальности


1.1.7. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА МАШИН

для поступающих на обучение по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Ульяновского государственного университета

Сведения о разработчиках:

| ФИО | Аббревиатура кафедры | Ученая степень, звание |
|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| Андреев Александр Сергеевич | ИБиТУ | д.ф.-м.н., профессор |
| | | |

Ульяновск, 2023

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

1. Общие положения

1.1. Программа вступительного испытания по специальной дисциплине соответствующей научной специальности программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре **1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин** (далее - Программа), сформирована на основе требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к программам магистратуры (специалитета) по соответствующим направлениям (специальностям) подготовки. Программа разработана для поступления на обучение в аспирантуру УлГУ.

Программой устанавливается:

- форма, структура, процедура сдачи вступительного испытания;
- шкала оценивания;
- максимальное и минимальное количество баллов для успешного прохождения вступительного испытания;
- критерии оценки ответов.

Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.2. Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, утвержденными решением Ученого совета УлГУ, действующими на текущий год поступления.

1.3. По результатам вступительного испытания, поступающий имеет право подать на апелляцию о нарушении, по мнению поступающего, установленного порядка проведения вступительного испытания и (или) о несогласии с полученной оценкой результатов вступительного испытания в порядке, установленном Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

2. Форма, структура, процедура, программа вступительного испытания и шкала оценивания ответов


2.1. Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится в форме устного экзамена в соответствии с перечнем тем и (или) вопросов, установленных данной Программой.

2.2. Процедура проведения экзамена представляет собой сдачу экзамена в очной форме и (или) с использованием дистанционных технологий (при условии идентификации поступающих при сдаче ими вступительных испытаний): очно и дистанционно.

2.3. Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к поступающему. На каждого поступающего ведется отдельный протокол.

2.4. Программа экзамена.

Примерный перечень тем и вопросов для подготовки к сдаче экзамена и

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

формирования билетов.

1.1.7. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА МАШИН

Раздел 1. Дифференциальные уравнения.

Дифференциальные уравнения первого порядка. Существование и единственность решения дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной.

Системы линейных дифференциальных уравнений, фундаментальная система решений. Определитель Вронского. Формула Остроградского – Лиувилля. Неоднородные системы линейных уравнений, метод вариации произвольных постоянных. Системы линейных уравнений с постоянными коэффициентами.

Раздел 2. Кинематика.

Кинематика точки. Координатный и естественный способы задания движения. Криволинейные координаты и параметры Ламе. Кинематика сложного движения материальной точки.

Кинематика твердого тела. Угловая скорость. Кинематические уравнения для углов Эйлера, уравнения Пуассона. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Плоское движение твердого тела. Кинематика сложного движения твердого тела.

Раздел 3. Динамика материальной точки.

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.


Колебания систем с одной степенью свободы. Малые колебания консервативной системы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнения движения. Собственная частота колебаний. Потенциальная энергия предварительно напряженного упругого подвеса. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Логарифмический декремент колебаний. Вынужденные колебания под действием гармонической силы. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Резонанс, способы борьбы с резонансом. Энергетические соотношения при вынужденных колебаниях. Коэффициент поглощения энергии. Вынужденные колебания под действием периодической силы; условия возникновения резонансных колебаний.

Движение свободной материальной точки под действием ньютоновой силы притяжения к неподвижному центру. Первая и вторая космические скорости и их оценки (для Земли). Математический маятник. Уравнение движения. Фазовый портрет.

Раздел 4. Динамика системы материальных точек.

Система материальных точек. Внутренние и внешние силы. Заданные силы и реакции связей. Теоремы об изменении импульса, кинетического момента и кинетической энергии системы. Формулы Кенига. Идеальные связи. Общее уравнение динамики для системы материальных точек.

Динамика абсолютно твердого тела. Геометрия масс. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Уравнение движения. Определение реакций. Движение твердого тела

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

с неподвижной точкой. Случаи Эйлера, Лагранжа, Ковалевской. Стационарные движения: перманентные вращения и регулярная прецессия. Гироскоп.

Раздел 5. Аналитическая динамика.

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

Преобразования Лежандра. Уравнения Гамильтона. Первые интегралы. Скобки Пуассона. Теорема Лиувилля о фазовом объеме. Интегральные инварианты Пуанкаре и Пуанкаре—Картана. Канонические преобразования. Локальный критерий каноничности. Производящие функции. Метод Биркгофа нормализации гамильтониана.

Уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби об интегрировании канонических уравнений. Вариационный принцип Гамильтона для натуральных систем.

Раздел 6. Устойчивость движения.

Общая постановка задачи об устойчивости. Основные определения устойчивости. Метод функций Ляпунова в исследовании задачи об устойчивости. Теоремы Ляпунова, Четаева. Теоремы Барбашина-Красовского и Красовского об асимптотической устойчивости и неустойчивости.

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

Влияние структуры сил на устойчивость положения равновесия голономной механической системы. Устойчивость под действием потенциальных и гироскопических сил. Влияние диссипативных сил на устойчивость механической системы. Влияние неконсервативных сил на устойчивость механической системы.

Стационарные движения голономной механической системы. Исследование устойчивости стационарного движения методом связок интегралов Четаева и на основе функции Рауса.

Раздел 7. Механика управляемых движений.

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.

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


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

Постановка задач управления динамическими системами и классические методы их решения. Математическая модель программного управляемого процесса с обратной связью.

Постановка задач позиционного управления. Метод стабилизации программной позиции путем линеаризации уравнения в отклонениях.

Метод интегрального управления. Метод линеаризации систем обратной связью.

Метод управления в скользящем режиме. Метод бэкстеппинга.

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

Методы стабилизации программного движения механических систем на основе применения векторных функций Ляпунова. Постановка задачи стабилизации программного движения голономной механической системы.

Решение задачи стабилизации программного движения с помощью векторной функции Ляпунова. Решение задачи стабилизации программного движения голономной механической системы без измерения скоростей.

Перечень вопросов

1. Дифференциальные уравнения первого порядка. Существование и единственность решения дифференциального уравнения первого порядка, разрешенного относительно производной.

2. Системы линейных дифференциальных уравнений, фундаментальная система решений. Определитель Вронского. Формула Остроградского – Лиувилля. Неоднородные системы линейных уравнений, метод вариации произвольных постоянных. Линейная зависимость функций. Фундаментальная система. Детерминант Вронского.

3. Системы линейных уравнений с постоянными коэффициентами.

4. Кинематика точки. Координатный и естественный способы задания движения. Криволинейные координаты и параметры Ламе.

5. Плоское движение твердого тела. Кинематика сложного движения твердого тела. Углы Эйлера.

6. Основные теоремы динамики. Теоремы об изменении количества движения и момента количества движения. Теорема о движении центра масс.

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

8. Реактивное движение. Уравнение Мещерского.

9. Колебания систем с одной степенью свободы. Малые колебания консервативной системы вблизи положения устойчивого равновесия. Линеаризация уравнения движения. Собственная частота колебаний. Потенциальная энергия предварительно напряженного упругого подвеса. Влияние диссипативных сил на свободные колебания. Логарифмический декремент колебаний.

10. Вынужденные колебания под действием гармонической силы. Метод комплексных амплитуд. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Резонанс, способы борьбы с резонансом. Энергетические соотношения при вынужденных колебаниях. Коэффициент поглощения энергии. Вынужденные колебания под действием периодической силы; условия возникновения резонансных колебаний.


11. Движение свободной материальной точки под действием ньютоновой силы притяжения к неподвижному центру. Первая и вторая космические скорости и их оценки (для Земли).

12. Математический маятник. Уравнение движения. Фазовый портрет.


13. Система материальных точек. Внутренние и внешние силы. Заданные силы и реакции связей. Теоремы об изменении импульса, кинетического момента и кинетической энергии системы. Формулы Кенига.

14. Идеальные связи. Общее уравнение динамики для системы материальных точек.

15. Динамика абсолютно твердого тела. Геометрия масс. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Уравнение движения. Определение реакций.

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

16. Движение твердого тела с неподвижной точкой.
17. Случаи Эйлера, Лагранжа, Ковалевской. Стационарные движения: перманентные вращения и регулярная прецессия. Гироскоп.
18. Лагранжева механика. Принцип Даламбера—Лагранжа. Конфигурационное многообразие системы с конечным числом степеней свободы. Обобщенные координаты. Виртуальные перемещения. Голономные и неголономные системы.
19. Уравнения Лагранжа с множителями связей.
20. Уравнения Лагранжа голономной системы.
21. Уравнения Рауса для систем с циклическими координатами. Первые интегралы уравнений Лагранжа.
22. Преобразования Лежандра. Уравнения Гамильтона. Первые интегралы. Скобки Пуассона.
23. Теорема Лиувилля о фазовом объеме. Интегральные инварианты Пуанкаре и Пуанкаре—Картана.
24. Канонические преобразования. Локальный критерий каноничности. Производящие функции. Метод Биркгофа нормализации гамильтониана.
25. Уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби об интегрировании канонических уравнений.
26. Вариационный принцип Гамильтона для натуральных систем.
27. Общая постановка задачи об устойчивости. Основные определения устойчивости.
28. Метод функций Ляпунова в исследовании задачи об устойчивости. Теоремы Ляпунова, Четаева.
29. Теоремы Барбашина-Красовского и Красовского об асимптотической устойчивости и неустойчивости.
30. Устойчивость линейных стационарных систем.
31. Критерий Рауса—Гурвица.
32. Частотные критерии (критерии Михайлова, Найквиста).
33. Теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению. Понятие о критических случаях.
34. Влияние структуры сил на устойчивость положения равновесия голономной механической системы. Устойчивость под действием потенциальных и гироскопических сил.
35. Влияние диссипативных сил на устойчивость механической системы. Влияние неконсервативных сил на устойчивость механической системы.
36. Стационарные движения голономной механической системы.
37. Исследование устойчивости стационарного движения методом связок интегралов Четаева и на основе функций Рауса.
38. Структурный анализ и линейный синтез управляемых систем. Управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость линейных систем.
39. Критерии управляемости и наблюдаемости.
40. Управление по принципу обратной связи. Стабилизация по первому приближению.
41. Оценивание состояния линейных систем. Фильтр Калмана. Совместная задача


| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

оценивания и управления.

42. Принцип максимума Понтрягина.
43. Метод динамического программирования
44. Беллмана. Связь принципа максимума с методом Беллмана.
45. Постановка задач управления динамическими системами и классические методы их решения. Математическая модель программного управляемого процесса с обратной связью.
46. Постановка задач позиционного управления. Метод стабилизации программной позиции путем линеаризации уравнения в отклонениях.
47. Метод интегрального управления. Метод линеаризации систем обратной связью.
48. Метод управления в скользящем режиме. Метод бэкстеппинга.
49. Постановка задачи стабилизации программного движения голономной механической системы. Решение задачи стабилизации программного движения с помощью векторной функции Ляпунова.
50. Решение задачи стабилизации программного движения голономной механической системы без измерения скоростей.


Рекомендуемая литература

1. Бибиков Ю.Н. Дифференциальные уравнения. — М.: Высшая школа, 1990.
2. Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений: [учебное пособие для физ.-мат. фак. ун-тов] / И.Г. Петровский. — М.: Физматлит, 2009. - 207 с.
3. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1974.
4. Степанов В.В. Курс дифференциальных уравнений. — М.: КомКнига, 2006.
5. Андреев А.С., Юрьева О.Д. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Учебное пособие. Ульяновск: УлГУ, 2007.
6. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики : учеб. пособие . Ч. 1 : Кинематика, статика, динамика материальной точки / Бухгольц Николай Николаевич. - 10-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2009. - 480 с. : ил. - (Учебники для вузов) (Специальная литература). - Библиогр.: с. 461. - ISBN 978-5-8114-0926-6 (в пер.). - ISBN 978-5-8114-0919-8 (ч. 1) (в пер.) : 379.94.
7. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики : учеб. пособие . Ч. 2 : Динамика системы материальных точек / Бухгольц Николай Николаевич. - 7-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2009. - 336 с. : ил. - (Учебники для вузов) (Специальная литература). - Библиогр.: с. 329. - ISBN 978-5-8114-0926-6 (в пер.). - ISBN 978-5-8114-0920-4 (ч. 2) (в пер.) : 379.94.
8. Аппель П. Теоретическая механика, тт. 1, 2. М.: Физматлит, 1960.

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

9. 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. 414 с.
10. Болотин С.В., Карапетян А.В., Кугушев Е.И., Трещев Д.В. Теоретическая механика. М.: Академия, 2010. 432 с.
11. Вильке В.Г. Механика систем материальных точек и твердых тел. М.: Физматлит, 2013. 268 с.
12. Маркеев А.П. Теоретическая механика. — Ижевск: ЧеРО, 1999.
13. Уиттекер Е.Т. Аналитическая динамика. Изд-во Удмурдского университета, 1999.
14. Четаев И.Г. Лекции по теоретической механике / Под ред. В.В. Румянцева, К.Е. Якимовой. — М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. — 368 с.
15. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.: УРСС, 2010.
16. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости. М: Наука, 1987.
17. Руш И., Абетс П., Лалуа М. Прямой метод Ляпунова в теории устойчивости. М: Мир, 1980.
18. Четаев Н.Г. Устойчивость движения. М: Наука, 1990.
19. Андреев А. С., Перегудова О.А. Устойчивость движения : учебное пособие. УлГУ, ФМИиАТ. - Ульяновск : УлГУ, 2018. - 126 с.
20. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление. М.: Наука, 1992.
21. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высшая школа, 1998.
22. Александров В.В., Лемак С.С., Парусников Н.А. Лекции по механике управляемых систем. М.: КУРС, 2018. 288 с.
23. Андреев А.С., Перегудова О.А., Филаткина Е.В. Методы конструирования управляемых систем: учебное пособие. – Ульяновск: УлГУ, 2016. – 86 с.
24. Матюхин В.И. Управление механическими системами. – М.: Общество с ограниченной ответственностью Издательская фирма" Физико-математическая литература", 2009. – 320 с.
25. Перегудова О.А. Методы сравнения и преобразования в задачах об устойчивости систем с запаздыванием : учеб. пособие. - Ульяновск : УлГУ, 2005. - 83 с.
26. Перегудова О.А. Метод сравнения в задачах устойчивости и управления движениями механических систем. Ульяновск: УлГУ, 2009. 253 с.
27. Фантони И., Лозано Р. Нелинейное управление механическими системами с дефицитом управляющих воздействий. Москва-Ижевск: ООО" Компьютерная динамика. – 2012.
28. Формальский А. Управление движением неустойчивых объектов. – Litres, 2022.
29. Черноусько Ф., Ананьевский И., Решмин С. Методы управления нелинейными механическими системами. – Litres, 2022.
30. Юревич Е. И. Основы робототехники, 4 изд. – БХВ-Петербург, 2018.

2.5. Шкала оценивания ответов на экзамене

| | | |
|--|-------|--|
| Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Программа вступительного испытания | | |

| | | | |
|----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | отлично |
| до 39 баллов | 40 - 74 баллов | 75 - 84 баллов | 85 - 100 баллов |

Общая продолжительность экзамена составляет 45 минут.

Максимальное количество баллов за экзамен – 100. Минимальное количество баллов для успешного прохождения экзамена - 40. Поступающий, набравший менее 40 баллов за экзамен, не может быть зачислен в аспирантуру.

Таблица критериев оценки устных и письменных ответов (при наличии)

| Вид деятельности | | |
|----------------------------|--------|--|
| Оценка | Балл | Уровень владения темой |
| неудовлетворительно | до 39 | Ответ на поставленный вопрос не дан или ответ неполный, отсутствует логичность повествования или допущены существенные логические ошибки |
| удовлетворительно | 40-74 | Ответ полный, допущены не существенные логические ошибки |
| хорошо | 75-84 | Ответ логичный, конкретный, присутствуют незначительные пробелы в знаниях материала программы |
| отлично | 85-100 | Ответ полный, логичный, конкретный, без замечаний. Продемонстрированы знания материала программы, умение решать предложенные задачи |

Вступительное испытание проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

Итоговая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми членами комиссии.