

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем машиноведения
Российской академии наук
(ИПМаш РАН)

Одобрено на Ученом совете

Протокол № 2/20

«25» февраля 2020 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМаш РАН, д.т.н.

В.А. Полянский

«25» марта 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«УСТОЙЧИВОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ В МЕХАТРОНИКЕ»**

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения:

очная

Санкт-Петербург
2020

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Устойчивость и управление в мехатронике» реализуется в рамках **Блока 1** основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) для аспирантов очной формы обучения по всем направлениям подготовки.

Рабочая программа разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 года № 866, зарегистрированного в Минюсте Российской Федерации 25 августа 2014 года № 33837, с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 года и учебным планом программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ИПМаш РАН.

Общая трудоемкость дисциплины «Устойчивость и управление в мехатронике» по учебному плану составляет 3 зачетные единицы (108 часов), из них лекций – 36 часов, практических (семинарских) занятий – 36 часов, в том числе аудиторных занятий в интерактивной форме – 18 часов, лабораторных занятий – 0 часов, самостоятельной работы – 36 часов, в том числе творческой проблемно-ориентированной самостоятельной работы – 18 часов. Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме экзамена.

Продолжительность обучения – 1 семестр.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Устойчивость и управление в мехатронике» – привить аспирантами навыки построения математических моделей для реальных механических систем, научить методам их исследования на устойчивость равновесия и движения, а также методам построения управляющих воздействий с требуемыми свойствами и методам исследования процессов управляемого движения механических систем.

Для успешного освоения дисциплины предполагается предварительное изучение аспирантами дисциплин «Аналитическая механика» и «Оптимизация в механике и машиностроении».

Практические занятия по дисциплине «Устойчивость и управление в мехатронике» имеют цель подготовить аспирантов к формализации и решению типовых задач устойчивости и управления механическими системами.

Основными задачами дисциплины «Устойчивость и управление в мехатронике» являются приобретение аспирантами знаний о разнообразных методах исследования устойчивости равновесия и движения механических систем, о методах построения математических моделей сложных объектов и конструирования процессов управления ими, о важнейших качественных показателях механических систем. Аспиранты должны уметь самостоятельно выбирать форму записи математической модели, адекватную поставленной задаче, переходить от одной формы записи модели к другой, анализировать устойчивость механических систем, формировать адекватные управляющие воздействия с учетом всех условий функционирования системы.

На основании этих знаний аспирант должен уметь:

- достаточно свободно оперировать основными теоретическими понятиями курса;
- исследовать механические системы на устойчивость равновесия и движения;
- применять основы теории управления к механическим системам;
- выполнять необходимые расчетные задания при помощи определенного набора специальных методов.

Курс «Устойчивость и управление в мехатронике» формирует у аспиранта следующие навыки:

- формализации задач устойчивости равновесия и движения и управления механическими системами с использованием математических моделей, ориентированных на классические методы исследования;

- работы с научной литературой.

Изучение данной учебной дисциплины обеспечит:

- формирование навыков математической формализации задач устойчивости равновесия и движения и управления механическими системами;
- формирование умения использовать математические методы расчета;
- формирование умения логически мыслить;
- формирование умения правильно интерпретировать результаты расчетов и формулировать рекомендации по совершенствованию режимов работы управляемых механических систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Устойчивость и управление в мехатронике» входит в вариативную часть ОПОП по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям, реализуемым ИПМаш РАН.

2.2. Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки в области математики и механики, сформированные у обучающихся в процессе освоения программы аспирантуры.

2.3. Дисциплина «Устойчивость и управление в мехатронике» служит основой для написания выпускной квалификационной работы, а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Устойчивость и управление в мехатронике», направлено на формирование следующих компетенций в соответствии с ОПОП по направлениям подготовки, реализуемым ИПМаш РАН.

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

3.2. Общепрофессиональные компетенции:

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием

современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

3.3. Профессиональные компетенции:

- владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ПК-8);

- уметь логически верно, аргументированно и ясно строить устную и письменную речь (ПК-9);

- использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях (ПК-10);

- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ПК-11);

- уметь использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности (ПК-12);

- быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-13);

- применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-14);

- быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня, и экспериментального оборудования для проведения механических испытаний (ПК-15);

- выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов (ПК-16);

- участвовать в работах по поиску оптимальных решений при создании отдельных видов продукции с учетом требований динамики и прочности, долговечности,

безопасности жизнедеятельности, качества, стоимости, сроков исполнения и конкурентноспособности (ПК-17).

В результате изучения данной дисциплины аспирант должен:

знать основные принципы исследования механических систем на устойчивость равновесия и движения, а также методы построения управляющих воздействий и способы их использования в управляемых механических системах;

уметь свободно оперировать теоретическими положениями дисциплины, формализовать задачи устойчивости и управления механическими системами на уровне расчетных схем и математических моделей, использовать математические методы анализа управляемых систем, правильно интерпретировать результаты расчетов и формулировать рекомендации по совершенствованию режимов работы систем;

владеть навыками использования современных программных средств для расчета управляемых механических систем.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Устойчивость и управление в мехатронике» осваивается в 7-м семестре. Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану на седьмой семестр. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е. (108 часов).

4.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоемкость	
	ач/нед	ач/сем
Лекции	2	36
Лабораторные занятия	-	-
Практические занятия, семинары	2	36
в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме	-	18
Самостоятельная работа	2	36
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа	-	18
Экзамены (подготовка, сдача)	-	-
Общая трудоемкость освоения дисциплины	в академических часах в зачетных единицах	
		108 3

4.2. Разделы дисциплины и виды учебной работы

Наименование разделов и тем:	Всего учебных занятий (в академических часах)		
	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	1	2	3

Тема 1. Общие принципы исследования устойчивости равновесия	1	1	1
Тема 2. Устойчивость равновесия систем с одной степенью свободы	3	3	3
Тема 3. Устойчивость равновесия систем с несколькими степенями свободы	2	2	2
Тема 4. Общие принципы исследования устойчивости движения	1	1	1
Тема 5. Устойчивость стационарных движений	2	2	2
Тема 6. Исследование устойчивости движения по первому приближению	3	3	3
Тема 7. Влияние структуры сил на устойчивость движения	4	4	4
Тема 8. Исследование устойчивости движения методом функций Ляпунова	2	2	2
Тема 9. Устойчивость неавтономных систем	2	2	2
Тема 10. Устойчивость упругих систем	2	2	2
Тема 11. Программное управление движением математического маятника	3	3	3
Тема 12. Управление движением математического маятника с обратной связью	4	4	4
Тема 13. Управление движением многомерных механических систем	3	3	3
Тема 14. Управление вращательным движением твердого тела	2	2	2
Тема 15. Оптимальное управление механическими системами	2	2	2
Итого по видам учебной работы, а. ч.	36	36	36
Итого по видам учебной работы, з. ед.	1	1	1
Общая трудоемкость освоения, а. ч./з. ед.	108 а. ч./ 3 з. ед.		
<i>Вид контроля: экзамен</i>			

4.3. Краткое содержание разделов и тем

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Общие принципы исследования устойчивости равновесия	
Устойчивость равновесия консервативных механических систем. Построение и анализ потенциальной энергии. Теорема Лагранжа-Дирихле об устойчивости равновесия. Потенциальная энергия различных силовых полей. Кривые состояний равновесия, точка бифуркации. Построение областей устойчивости в пространстве параметров. Исследование устойчивости равновесия в случае неаналитичности потенциальной энергии. Мягкие и жесткие равновесия. Понятие структурной устойчивости.	Знать определение устойчивости равновесия механических систем. Уметь составлять потенциальную энергию механических систем и исследовать устойчивость равновесия. Владеть основными понятиями раздела.
2. Устойчивость равновесия систем с одной степенью свободы	
Статический анализ механических систем с одной степенью свободы. Разложение потенциальной энергии в ряд Тейлора. Исследование потенциальной энергии в особых случаях. Примеры задач устойчивости: математический маятник, центробежный маятник, маятник с постоянным моментом. Стабилизация неустойчивого равновесия маятника: маятник с упругим торсионом, маятник с противовесом.	Знать основные принципы статического анализа механических систем с одной степенью свободы. Уметь решать практические задачи на устойчивость равновесия и давать интерпретацию условию устойчивости. Владеть основными понятиями раздела.
3. Устойчивость равновесия систем с несколькими степенями свободы	
Статический анализ многомерных механических систем. Разложение потенциальной энергии в ряд Тейлора, формирование матрицы квазиупругих коэффициентов. Критерий Сильвестра. Примеры: обращенный двойной маятник с торсионами, центробежный двойной маятник, ортогональный маятник.	Знать основные принципы статического анализа механических систем с несколькими степенями свободы. Уметь решать практические задачи на устойчивость равновесия. Владеть основными понятиями раздела.
4. Общие принципы исследования устойчивости движения	
Различные подходы к понятию устойчивости движения механической системы. Невозмущенное и возмущенное	Знать основные определения устойчивости движения механических систем. Уметь

движение. Уравнения возмущенного движения. Устойчивость по Ляпунову, устойчивость по Пуассону, орбитальная устойчивость на примере сферического маятника. План исследования устойчивости движения.	составлять уравнения возмущенного движения. Владеть основными понятиями раздела.
5. Устойчивость стационарных движений	
Стационарные движения механических систем с циклическими координатами. Построение функции Рауса и исследование на экстремум измененной потенциальной энергии. Примеры: стационарные движения сферического и гироскопического маятников.	Знать методы исследования устойчивости стационарных движений систем с циклическими координатами. Уметь составлять и анализировать измененную потенциальную энергию. Владеть основными понятиями раздела.
6. Исследование устойчивости движения по первому приближению	
Анализ устойчивости движения механических систем по первому приближению. Устойчивость линейных систем. Составление характеристического полинома. Классификация систем по расположению корней характеристического полинома. Алгебраические критерии устойчивости. Необходимые условия Стодоль. Критерии Гурвица и Льенара-Шипара. Условия устойчивости для полиномов второго, третьего и четвертого порядка. Области устойчивости в пространстве коэффициентов полинома. Пример: тягач с шарнирно присоединенным прицепом.	Знать методы исследования устойчивости движения по первому приближению. Уметь составлять характеристический полином и записывать условие устойчивости. Владеть основными понятиями раздела.
7. Влияние структуры сил на устойчивость движения	
Устойчивость движения механических систем под действием консервативных и неконсервативных нагрузок. Пример: двойной маятник под действием мертвых и следящих нагрузок, сферический маятник со следящим моментом. Влияние циркуляционных сил на устойчивость. Влияние диссипативных сил на устойчивость, парадокс Циглера. Устойчивость гироскопических систем, теоремы Томсона-Тета-Четаева о гироскопической стабилизации. Примеры: центробежный сферический маятник, влияние вязкого трения в шарнирах подвеса и во внешней среде, устойчивость вращающегося волчка. Устойчивость движения механических систем с сухим трением. Примеры: устойчивость прямоугольного бруса и полуцилиндра на вращающихся роликах, маятник Фроуда.	Знать основные принципы исследования устойчивости систем под действием консервативных, диссипативных, гироскопических и циркуляционных сил. Уметь составлять и анализировать характеристический полином задачи. Владеть основными понятиями раздела.
8. Исследование устойчивости движения методом функций Ляпунова	
Исследование устойчивости движения механических систем с помощью аппарата функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева. Пример: устойчивость перманентных вращений твердого тела в сферическом шарнире, составление функции Ляпунова с помощью связи классических интегралов движения и ее анализ.	Знать основные принципы анализа устойчивости методом функций Ляпунова. Уметь составлять и анализировать функцию Ляпунова. Владеть основными понятиями раздела.
9. Устойчивость неавтономных систем	
Основные принципы исследования неавтономных систем на устойчивость. Устойчивость систем с периодическими коэффициентами. Уравнение Хилла, уравнение Матье. Построение областей устойчивости для уравнения Матье. Диаграмма Айнса-Стретта. Учет сил вязкого сопротивления.	Знать основные принципы анализа устойчивости неавтономных систем. Уметь пользоваться диаграммой Айнса-Стретта. Владеть основными понятиями раздела.
10. Устойчивость упругих систем	
Устойчивость прямых стержней под действием мертвой сосредоточенной нагрузки. Статический, динамический и энергетический критерии устойчивости, их достоинства и недостатки. Влияние условий закрепления на значение	Знать основные принципы исследования устойчивости упругих систем под действием мертвых и следящих нагрузок. Уметь применять основные критерии

критической силы. Устойчивость стержней под действием сосредоточенной следящей силы. Устойчивость под действием распределенных нагрузок. Пример: устойчивость консольного стержня под действием собственного веса.	устойчивости упругих систем. Владеть основными понятиями раздела.
11. Программное управление движением математического маятника	
Математический маятник как простейший объект управления. Программное управление, действие гармонического момента в шарнире. Построение точного решения для малых отклонений. Явление резонанса и биений, условия их возникновения. Гармоническое управление длиной маятника. Построение решения для малых отклонений, параметрический резонанс, условия его возникновения.	Знать основные принципы программного управления движением маятника. Уметь составлять и анализировать уравнения управляемого движения. Владеть основными понятиями раздела.
12. Управление движением математического маятника с обратной связью	
Управление математическим маятником с помощью момента, построенного по принципу обратной связи. Вывод энергетического соотношения. Термин «авторезонанс». Формирование различных законов управления: релейный, пропорциональный законы и управление, обеспечивающее выход на заданный уровень энергии. Построение приближенного решения в каждом из случаев при помощи метода усреднения. Авторезонансное управление длиной маятника, установление характера нарастания энергии.	Знать основные принципы управления движением маятника по принципу обратной связи. Уметь составлять и анализировать уравнения управляемого движения. Владеть основными понятиями раздела.
13. Управление движением многомерных механических систем	
Построение управляющих воздействий в системах с несколькими степенями свободы. Коллинеарное управление, наращивающее или снижающее энергию и момент количества движения. Ортогональное управление, сохраняющее энергию и момент количества движения. Основные свойства управлений и их физическая трактовка. Пример: управление движением двухзвенного манипулятора в горизонтальной плоскости и движением двойного маятника с помощью шарнирных моментов.	Знать основные принципы управления движением систем с несколькими степенями свободы. Уметь составлять и анализировать уравнения управляемого движения. Владеть основными понятиями раздела.
14. Управление вращательным движением твердого тела	
Формирование рациональных законов управления вращательным движением твердого тела в сферическом шарнире. Построение коллинеарного и ортогонального управления. Управление, влияющее на величину энергии и не изменяющее момент количества движения, его физический смысл. Управление движением твердого тела, закрепленного в двухступенном кардановом подвесе.	Знать основные принципы управления вращательного движения твердого тела. Уметь составлять и анализировать уравнения управляемого движения. Владеть основными понятиями раздела.
15. Оптимальное управление механическими системами	
Принцип максимума Понтрягина. Составление и анализ функции Гамильтона. Оптимальная по быстродействию остановка тележки. Оптимальное гашение колебаний линейного осциллятора при отсутствии и наличии диссипативных сил. Оптимальное торможение вращательного движения твердого тела. Сопоставление оптимальных и рациональных режимов движения.	Знать основные методы построения оптимального управления по принципу максимума Понтрягина. Уметь составлять и анализировать функцию Гамильтона. Владеть основными понятиями раздела.

4.4. Самостоятельная работа аспиранта

Самостоятельная работа аспирантов направлена на закрепление и углубление освоения учебного материала и развитие практических умений. Традиционная самостоятельная работа аспирантов включает такие виды самостоятельной работы, как

- работа с лекционным материалом и рекомендованной учебной литературой;
- выполнение домашних заданий.

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа аспирантов направлена на развитие комплекса интеллектуальных универсальных (общекультурных) и профессиональных умений, повышение творческого потенциала аспирантов.

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, а.ч.
Текущая самостоятельная работа аспирантов (СР)	
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	18
Опережающая самостоятельная работа	18
Итого текущей СР:	18
Творческая проблемно-ориентированная СР	
Творческая проблемно-ориентированная СР:	18
Итого творческой СР:	18
Общая трудоемкость СР	36

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины используются преимущественно традиционные образовательные технологии:

- лекции по теоретическому материалу;
- практические занятия с решением тестовых расчетных заданий;
- самостоятельная работа с рекомендованной учебной и научной литературой.

Одной из особенностей образовательных технологий, используемых при изучении дисциплины, состоит в параллельном использовании для решения задач аналитических и численных методов исследования. Другая особенность заключается в рассмотрении реальных задач устойчивости и управления механическими системами.

Занятия в интерактивной форме	Объем, а. ч.
Интерактивные проблемные лекции по наблюдаемым на практике явлениям в механических системах	4
Интерактивные практические занятия-семинары по методам решения типовых задач	6

6. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Не предусмотрен

7. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программой предусмотрено углубленное рассмотрение основных теоретических положений дисциплины, а также решение типовых задач общей аудиторной трудоемкостью 36 часов.

Темы практических занятий:

Темы практических занятий	
1.	Методы исследования устойчивости равновесия. Построение и анализ потенциальной энергии.

2.	Устойчивость равновесия систем с одной степенью свободы. Исследование особых случаев.
3.	Устойчивость равновесия систем со многими степенями свободы. Критерий Сильвестра.
4.	Понятие устойчивости движения. Составление и анализ уравнений возмущенного движения.
5.	Устойчивость стационарных движений систем с циклическими координатами.
6.	Исследование устойчивости по первому приближению. Алгебраические критерии устойчивости.
7.	Устойчивость движения систем под действием консервативных и неконсервативных нагрузок.
8.	Исследование устойчивости движения систем с помощью аппарата функций Ляпунова.
9.	Устойчивость систем с периодическими коэффициентами. Области устойчивости уравнения Матье.
10.	Устойчивость упругих стержней под действием различных нагрузок. Влияние условий закрепления.
11.	Программное управление движением математического маятника. Различные варианты управления.
12.	Управление движением математического маятника по состоянию. Различные варианты управления.
13.	Управление движением многомерных систем. Управление многозвенным манипулятором.
14.	Управляемые режимы движения твердого тела в сферическом шарнире и кардановом подвесе.
15.	Оптимальное управление. Принцип максимума Понтрягина. Решение практических задач.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Рекомендуемая литература

1. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Т.3. Специальные главы механики. М.: Наука, ГРФМЛ, 1973. – 488 с.
2. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
3. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, ГРФМЛ, 1967. – 444 с.
4. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Теоретическая механика. Т.3. Динамика несвободной системы и теория колебаний. Л., М.: ОНТИ ГТТИ, 1934. – 624 с.
5. Меркин Д.Р., Бауэр С.М., Смирнов А.Л., Смольников Б.А. Теория устойчивости в примерах и задачах. М., Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. – 208 с.
6. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. М.: Наука, ГРФМЛ, 1987. – 304 с.
7. Рубановский В.Н., Самсонов В.А. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах. М.: Наука, ГРФМЛ, 1988. – 304 с.
8. Циглер Г. Основы теории устойчивости конструкций. М.: Мир, 1971. – 192 с.
9. Рокар И. Неустойчивость в механике. М.: ИИЛ, 1959. – 287 с.
10. Алфутов Н.А., Колесников К.С. Устойчивость движения и равновесия. М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 256 с.
11. Смирнов А.С., Смольников Б.А. Механика сферического маятника. СПб: Политех-пресс, 2019. – 266 с.
12. Ламб Г. Теоретическая механика. Т.3. Более сложные вопросы. М., Л.: ОНТИ НКТП СССР, ГРОЛ, 1936. – 292 с.
13. Бауэр С.М., Венатовская Л.А., Воронкова Е.Б. Основы устойчивости упругих систем. СПб: изд-во С.-Петербургского ун-та, 2017. – 52 с.
14. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981. – 918 с.

15. Управление мехатронными вибрационными установками / под ред. И.И. Блехмана и А.Л. Фрадкова. СПб: Наука, 2001. – 276 с.
16. Фрадков А.Л. Кибернетическая физика, СПб: Наука, 2003. – 208 с.
17. Магнус К. Колебания. Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир, 1982. – 304 с.
18. Смольников Б.А. Проблемы механики и оптимизации роботов. М.: Наука, 1991. – 232 с.
19. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. М.: Наука, 1972. – 768 с.
20. Меркин Д.Р., Смольников Б.А. Прикладные задачи динамики твердого тела. СПб: изд-во С.-Петербургского ун-та, 2003. – 534 с.
21. Теория автоматического управления. Ч. 1. Теория линейных систем автоматического управления / под ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.
22. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. – 408 с.
23. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, ГРФМЛ, 1972. – 576 с.
24. Брайсон А., Ю-Ши Хо. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. – 544 с.

9. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

9.1. Критерии оценивания

Оценка качества освоения дисциплины определяется устным экзаменом. Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра.

9.2. Оценочные средства

Перечень примерных вопросов для оценки освоения дисциплины:

1. Устойчивость равновесия консервативных систем. Теорема Лагранжа-Дирихле.
2. Потенциальная энергия различных силовых полей.
3. Кривые состояний равновесия. Точка бифуркации. Структурная устойчивость.

4. Исследование устойчивости равновесия в случае неаналитичности потенциальной энергии. Мягкие и жесткие равновесия.
5. Устойчивость равновесия систем с одной степенью свободы. Разложение потенциальной энергии в ряд Тейлора. Анализ особых случаев. Примеры.
6. Устойчивость равновесия систем с несколькими степенями свободы. Матрица квазиупругих коэффициентов, критерий Сильвестра. Примеры.
7. Различные определения устойчивости движения. Невозмущенное и возмущенное движение. Уравнения возмущенного движения. Примеры.
8. Устойчивость стационарных движений систем с циклическими координатами. Функция Рауса, измененная потенциальная энергия. Примеры.
9. Устойчивость по первому приближению. Характеристический полином. Классификация систем по расположению корней полинома.
10. Алгебраические критерии устойчивости Стодола, Гурвица, Лъенара-Шипара. Условия устойчивости для полиномов второго, третьего и четвертого порядка. Примеры.
11. Построение областей устойчивости в пространстве коэффициентов характеристического полинома.
12. Устойчивость движения систем под действием консервативных и неконсервативных нагрузок. Примеры.
13. Влияние диссипативных сил на устойчивость движения. Парадокс Циглера.
14. Устойчивость гироскопических систем. Теоремы Томсона-Тета-Четаева. Примеры.
15. Устойчивость движения систем с сухим трением. Примеры.
16. Исследование устойчивости движения методом функций Ляпунова. Анализ устойчивости перманентных вращений твердого тела.
17. Устойчивость неавтономных систем. Построение областей устойчивости для уравнения Матъе. Параметрический резонанс.
18. Устойчивость упругих систем под действием мертвых и следящих нагрузок. Влияние условий закрепления на величину критической силы. Примеры.
19. Управление математическим маятником при помощи гармонического момента в шарнире. Явления резонанса и биений.
20. Гармоническое управление длиной маятника. Параметрический резонанс.
21. Управление математическим маятником по состоянию. Энергетическое соотношение. Формирование различных законов управления. Авторезонанс.

22. Анализ управляемого движения маятника при релейном, пропорциональном управлении и при управлении, обеспечивающем выход колебаний на заданный уровень энергии.
23. Управление длиной математического маятника по состоянию.
24. Управление движением многомерных механических систем. Энергетическое соотношение. Коллинеарное и ортогональное управление, их основные свойства.
25. Управление движением двухзвенного манипулятора в горизонтальной плоскости с помощью шарнирных моментов.
26. Управление движением двойного маятника в вертикальной плоскости с помощью шарнирных моментов.
27. Управление вращательным движением твердого тела в сферическом шарнире. Коллинеарное и ортогональное управление. Управление, изменяющее энергию и не влияющее на кинетический момент. Физическая трактовка законов управления.
28. Управление движением твердого тела, закрепленного в кардановом подвесе.
29. Основы теории оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина. Составление и анализ функции Гамильтона.
30. Оптимальное торможение тележки и линейного осциллятора.
31. Оптимальное торможение вращательного движения твердого тела. Сопоставление оптимальных и рациональных режимов движения.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Все этапы изучения дисциплины сопровождаются как групповыми, так и индивидуальными консультациями. Рекомендуется основной объем базовых знаний преподнести на лекциях и практических занятиях, а указанную литературу использовать для закрепления и расширения полученных знаний. Также рекомендуется больше внимания уделять самостоятельной работе аспирантов с тем, чтобы, ознакомившись на практических занятиях с методами решения типовых задач, они имели возможность закрепить практические навыки в области применения методов математического и компьютерного моделирования в задачах управления механическими системами, работая при этом в удобном режиме времени и пользуясь консультациями преподавателя.