

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Методы планирования и управления движением неполноприводных механических систем
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Современная механика и робототехника кафедра теоретической механики кафедра теоретической механики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Соколов, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической механики 09.04.2020

Аннотация

Курс направлен на обсуждение задач поиска, представления и управления вынужденными движениями неполноприводных механических систем. Особенностью таких робототехнических систем является наличие одной или нескольких степеней свободы, динамика которых не может быть изменена напрямую приводом (внешней силой или моментом), и их поведение определяется лишь за счет динамики оставшихся координат. В рамках курса формируется система знаний, необходимая для постановки, исследования и решения указанных задач робототехники. Последняя включает в себя обсуждение и использование следующих разделов и понятий теории управления:

- конечномерные процедуры поиска и параметризации вынужденных движений механической системы, совместимых с динамическими ограничениями;
- понятия подвижных площадок Пуанкаре, устойчивости движения по Жуковскому, трансверсальной динамики и трансверсальной линеаризации вдоль движения;
- методы поиска и анализа вынужденных движений неполноприводных механических систем при наличии ударных сил;
- понятие и способы вычисления гибридной трансверсальной линеаризации вдоль движения механической системы с перескоком;
- методы синтеза обратной связи для достижения орбитальной устойчивости и устойчивости по Жуковскому вынужденного движения неполноприводной механической системы.

Для иллюстрации теоретического материала предлагается детальный анализ примеров по планированию и управлению манипуляционных движений тел рукой робота при неударяющем контакте.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование системы знаний об алгоритмах поиска и представления вынужденных движений механических систем с динамическими ограничениями и методов синтеза обратной связи для робастной стабилизации таких движений, а также формирование на базе материала навыков и умений по разработке приложений и решению задач по управлению движением тел рукой робота при неударяющем контакте.

Задачи дисциплины

- познакомить слушателей с современными задачами робототехники и теории управления;
- научить методам поиска и представления вынужденных движений механических систем, совместимых с динамическими ограничениями;
- научить методам синтеза обратной связи, обеспечивающих орбитальную стабилизацию вынужденных движений в присутствии ограничений;
- научить применять знания и анализировать полученные результаты в реальных задачах робототехники.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

необходимые сведения и понятия из аналитической механики и теории управления.

уметь:

решать задачи из теории неполноприводных механических систем.

владеть:

методами теории неполноприводных механических систем.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Примеры неполноприводных систем	3	3		5
2	Необходимые сведения и понятия теории дифференциальных уравнений	3	3		5
3	Необходимые сведения и понятия аналитической механики I	3	3		5
4	Необходимые сведения и понятия аналитической механики II	3	3		5
5	Постановка задачи поиска и параметризации вынужденного движения	3	3		5
6	Аналитические результаты по поиску вынужденного движения	3	3		5
7	Аналитические результаты по записи трансверсальной динамики	3	3		5
8	Аналитические результаты по поиску, параметризации и анализу движений	3	3		3
9	Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота I	3	3		4
10	Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота II	3	3		3

Итого часов	30	30		45
Подготовка к экзамену	30 час.			
Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Примеры неполноприводных систем

Примеры неполноприводных систем. Вычисление нулевой динамики. Примеры определения вынужденных движений механической системы, совместимых с динамическими ограничениями в силу неполноприводности.

2. Необходимые сведения и понятия теории дифференциальных уравнений

Необходимые сведения и понятия теории дифференциальных уравнений: устойчивость решения нелинейной системы по Ляпунову, по Пуанкаре, по Жуковскому; лемма Ляпунова о наличии центра, отображение Пуанкаре и линеаризация отображения Пуанкаре для систем второго порядка. Примеры.

3. Необходимые сведения и понятия аналитической механики I

Необходимые сведения и понятия аналитической механики I: запись динамики механической системы с ограничениями, классификация ограничений. Примеры.

4. Необходимые сведения и понятия аналитической механики II

Необходимые сведения и понятия аналитической механики II: условия устойчивости положения равновесия, трансверсальная динамика и трансверсальные координаты в исследовании движений механических систем. Примеры.

5. Постановка задачи поиска и параметризации вынужденного движения

Постановка задачи поиска и параметризации вынужденного движения неполноприводной механической системы. Примеры решения задачи для систем с голономными и неголономными связями.

6. Аналитические результаты по поиску вынужденного движения

Аналитические результаты по поиску вынужденного движения неполноприводной механической системы: сервосвязи и кинематическая параметризация движения. Вывод редуцированной динамики и ее свойства. Примеры решения задач.

7. Аналитические результаты по записи трансверсальной динамики

Аналитические результаты по записи трансверсальной динамики в окрестности вынужденного движения неполноприводной механической системы: теорема Андронова-Витта, теорема Леонова, минимальный и избыточные наборы трансверсальных координат и их линеаризация. Примеры.

8. Аналитические результаты по поиску, параметризации и анализу движений

Аналитические результаты по поиску, параметризации и анализу движений неполноприводных механических систем при наличии ударных сил. Понятие и способы вычисления гибридной трансверсальной линеаризации вдоль движения механической системы с перескоком. Синтез обратной связи для орбитальной стабилизации движения неполноприводной механической системы при наличии ударных сил. Примеры.

9. Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота I

Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота "Бабочка": выбор координат; запись ограничений; моделирование динамики; голономные сервосвязи и вывод редуцированной динамики системы; определение по модели перекачиваний, совместимых с ограничениями; вывод по заданному движению трансверсальный координат и их аналитической линеаризации. Подготовка к эксперименту: идентификация параметров динамики системы, калибровка камеры, определение параметров трения.

10. Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота II

Исследование задачи перекачивания пассивного диска по руке робота "Бабочка": описание аналитических и численных методов синтеза линейной обратной связи для стабилизации трансверсальной линеаризации по полному состоянию и по выходу; синтез нелинейного регулятора. Проведение численного и натурного эксперимента: анализ чувствительности замкнутой системы к неопределенности к расположению центра масс, направлению гравитации и условиям контакта (проскальзыванию).

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, интерактивная доска).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лекции по аналитической механике [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ф. Р. Гантмахер ; под ред. Е. С. Пятницкого .— Изд. 3-е, стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005 .— 264 с.
2. Теоретическая механика [Текст] : учеб. пособие для ун-ов / А. П. Маркеев .— М. : Наука, 1990 .— 415 с.

Дополнительная литература

1. Теоретическая механика [Текст] : учеб. пособие для ун-ов / А. П. Маркеев .— М. : Наука, 1990 .— 415 с.
2. Теоретическая механика : Методика решения задач [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. М. Трухан ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2010 .— 208 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам Российской академии наук

https://mipt.ru/education/chair/theoretical_mechanics/ - сайт кафедры теоретической механики МФТИ

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций, а также программные пакеты Wolfram Mathematica и Matlab.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса требует большой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе);
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях,
- подготовку к контрольным, самостоятельным работам и тестам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Современная механика и робототехника
кафедра теоретической механики
кафедра теоретической механики
курс: 2
квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Разработчик: С.В. Соколов, д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы планирования и управления движением неполноприводных механических систем» обучающийся должен:

знать:

необходимые сведения и понятия из аналитической механики и теории управления.

уметь:

решать задачи из теории неполноприводных механических систем.

владеть:

методами теории неполноприводных механических систем.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Провести ТС по наперед заданной траектории (задача trajectory tracking)
2. Записать кинематические уравнения четырехколесного транспортного средства

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примеры типовых контрольных задач:

1. Задача о формировании обратной связью вынужденного движения маятника на тележке для перехода через препятствие

2. Задача о формировании обратной связью вынужденных колебаний маятника на тележке в окрестности положения равновесия
3. Задача о формировании обратной связью вынужденных колебаний двойного маятника с приводом на первом звене
4. Задача о формировании обратной связью вынужденных колебаний двойного маятника с приводом на втором звене
5. Задача о формировании обратной связью вынужденных колебаний маятника Фуруты
6. Задача о поиске, параметризации и анализе орбитальной устойчивости ходьбы пассивного робота (compass-gait biped) по наклонной
7. Задача о формировании обратной связью вынужденных походок робота (compass-gait biped) по горизонтали
8. Задача о формировании и орбитальной стабилизации обратной связью вращения дьявольской палочки (devil stick) с перескоком
9. Задача о формировании и орбитальной стабилизации перекачиваний пассивного диска по руке робота "Бабочка"

Примеры билетов:

Билет 1.

1. Понятия устойчивости решения нелинейной системы по Ляпунову, Пуанкаре и Жуковскому. Взаимосвязь и отличие понятий.
2. Лемма Ляпунова об определении центра нелинейной системы второго порядка по линеаризации.

Билет 2.

1. Критерий орбитальной асимптотической устойчивости периодического решения системы второго порядка по линеаризации отображения Пуанкаре за период.
2. Теорема о редуцированной динамике неполноприводной механической системы, заданной в форме уравнений Эйлера-Лагранжа 2-го рода.

Билет 3.

1. Понятие голономной сервосвязи и генератора движения механической системы. Динамика генератора вынужденного движения уравнения Эйлера-Лагранжа с одной пассивной степенью свободы.
2. Теорема об интегрируемости динамики генератора вынужденного движения уравнения Эйлера-Лагранжа 2-го рода с одной пассивной степенью свободы.

Билет 4.

1. Теорема о связи значения общего интеграла динамики генератора вынужденного движения уравнения Эйлера-Лагранжа 2-го рода с одной пассивной степенью свободы и расстояния до номинального движения.
2. Теорема о производной общего интеграла динамики генератора вынужденного движения вдоль решения возмущенной системы.

Билет 5.

1. Критерии устойчивости трансверсальной динамики: теорема Андронова-Витта и теорема Леонова.
2. Аналитические способы задания минимального и избыточного набора трансверсальных координат и их линеаризация вдоль вынужденного движения уравнения Эйлера-Лагранжа 2-го рода с одной пассивной степенью свободы.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Подготовка к экзамену самостоятельная: перечислены задачи, решение которых каждый студент излагает полностью.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.