

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем машиноведения
Российской академии наук
(ИПМаш РАН)

Одобрено на Ученом совете
ИПМаш РАН
Протокол № 5/17
«03» октября 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПМаш РАН, д.ф.-м.н.
А.К. Беляев
«03» октября 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ И УПРАВЛЕНИЯ В
МАШИНОСТРОЕНИИ И РОБОТОТЕХНИКЕ»

Направление подготовки
01.06.01 «МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА»

Направленность (профиль) программы:
01.02.04 «МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА»

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения:

очная, заочная

Санкт-Петербург
2017

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» 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 и заочной форм обучения по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика» направленности (профилю) 01.02.04 - «Механика деформируемого твердого тела».

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 по направлению подготовки кадров высшей квалификации 01.06.01 «Математика и механика», направленность (профиль) программы: 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Общая трудоемкость дисциплины «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» по учебному плану составляет 2 зачетные единицы (72 часа), из них лекций 0,5 зачетной единицы (18 часов), практических (семинарских) занятий – 9 часов, в том числе аудиторных занятий в интерактивной форме – 27 часов, самостоятельной работы – 45 часов, в том числе творческой проблемно-ориентированной самостоятельной работы – 24 часа. Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационных сессий. Зачет проводится на третьем году обучения во втором (весеннем) семестре.

Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» реализуется на третьем курсе, продолжительность обучения – 1 семестр.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» - научить аспирантов современным методам и способам построения и анализа математических моделей сложных инженерно-технических механических конструкций, широко используемых в современном промышленном производстве с использованием самых различных роботов и манипуляторов. Для повышения эффективности и точности функционирования этих автоматических устройств требуется тщательный учет их механических характеристик в самых разных рабочих режимах – статических, кинематических, динамических – возникающих как при свободных, так и при управляемых движениях звеньев.

В результате изучения дисциплины «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» аспирант должен **знать**:

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда.

На основании этих знаний слушатель аспирант должен **уметь**:

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи, поддающиеся операционализации, исходя из наличных ресурсов и ограничений;
- формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей;
- осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом;

Курс «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» формирует у аспирантов **навыки**:

- анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

- владеть приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач;
- владеть способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития;
- работы с научной литературой.

В этой связи необходимо выделить следующие основные **задачи**:

- геометрия и кинематика пространственных многозвенников;
- определение состояний равновесия и анализ их устойчивости;
- нахождение точности позиционирования и оптимизация конфигурации многозвенных манипуляторов;
- вопросы динамики и динамической точности роботов и манипуляторов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» входит в вариативную часть образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 01.06.01 «Математика и механика», реализуемому в ИПМаш РАН.

2.2. Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» связана с предшествующей подготовкой аспирантов в области математики и механики. Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, сформированные на предыдущих этапах получения высшего образования (бакалавриат и магистратура).

2.3. Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» служит основой для работы над кандидатской диссертацией, сдачи кандидатского экзамена по специальной дисциплине, а также для развития навыков и умений в дальнейшей профессиональной деятельности.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике», направлено на формирование следующих компетенций.

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 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-13);

- выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов (ПК-14);

- 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 конкурентно способности (ПК-15);

- способность создавать математические модели механических систем, свободно применять прикладные методы классической механики и методы механики сплошных сред к их расчету и исследованию (ПК-16);

- способность обладать цельным представлением о современном состоянии и достижениях рациональной механики, основных математических и физических наук (ПК-17).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Проблемы механики и управления в машиностроении и робототехнике» осваивается во втором семестре третьего курса. Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 академических часа).

4.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоемкость	
	ач/нед	ач/сем
Лекции	1	18
Лабораторные занятия	-	-
Практические занятия, семинары	0,5	9
в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме	0,5	9
Самостоятельная работа	2,5	45
в том числе творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа	4/3	24
Общая трудоемкость освоения дисциплины	в академических часах	
	в зачетных единицах	
		72
		2

4.2. Разделы дисциплины и виды учебной работы

Наименование разделов и тем:	Всего учебных занятий (в академических часах)		
	Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	4
Тема 1. Геометрия и кинематика консольных многозвенников	3	1,5	7,5
Тема 2. Кинематические характеристики точности позиционирования манипулятора	3	1,5	7,5
Тема 3. Кинематическая оптимизация транспортирующих движений манипулятора	3	1,5	7,5
Тема 4. Задачи статического анализа манипуляторов	3	1,5	7,5

Тема 5. Динамика транспортирующих движений манипулятора	3	1,5	7,5
Тема 6. Упругие колебания кинематической цепи манипулятора	3	1,5	7,5
Итого по видам учебной работы, а. ч.	18	9	45
Итого по видам учебной работы, з. ед.	0,5	0,25	1,25
Общая трудоемкость освоения, ак. ч./з. ед.	144 ак. ч./4 з.е.		
<i>Вид контроля: зачет</i>			

4.3. Краткое содержание разделов и тем

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	Геометрия и кинематика консольных многозвенников	Векторные матрицы и действия над ними. Тензор поворота и его свойства. Построение и анализ матриц шарнирного вращения. Кинематика пространственного многозвенника. Плоские многозвенники.
2	Кинематические характеристики точности позиционирования манипулятора	Критерии кинематической точности. Главные оси чувствительности многозвенного манипулятора. Построение главных осей для плоских многозвенников. Точность позиционирования при независимых первичных ошибках. Вероятностные характеристики точности позиционирования манипулятора. Оптимизация параметров плоского трехзвенника. Методы измерения погрешностей позиционирования и ориентирования схвата.
3	Кинематическая оптимизация транспортирующих движений манипулятора	Анализ прямолинейных траекторий. Циклоидальные движения шарнирного двухзвенника. Оптимизация скорости транспортирующих движений манипулятора. Оптимизация рабочих движений по критерию минимального износа. Критерий локальной маневренности манипулятора.
4	Задачи статического анализа манипуляторов	Распределение усилий в кинематической цепи манипулятора. Построение жесткостных характеристик шарнирных многозвенников. Вопросы пружинного уравнивания статических моментов. Равновесие и устойчивость объекта в схвате манипулятора.
5	Динамика транспортирующих движений манипулятора	Свободное движение шарнирного двухзвенника. Коллинеарное управление транспортирующими движениями. Оптимизация баллистических движений шарнирного двухзвенника. Анализ ортогонального режима управления.
6	Упругие колебания кинематической цепи манипулятора	Анализ свободных колебаний шарнирного двухзвенника. Оптимизация демпфирования свободных колебаний однозвенного манипулятора. Оптимизация демпфирования вынужденных колебаний однозвенного манипулятора. Определение диссипативных коэффициентов из условия максимизации степени устойчивости. Вопросы идентификации механических параметров манипулятора.

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 аспирантов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, ак. ч.
Текущая самостоятельная работа аспирантов (СР)	
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	21
Итого текущей СР:	21
Творческая проблемно-ориентированная СР	
Творческая проблемно-ориентированная СР:	24
Итого творческой СР:	24
Общая трудоемкость СР	45

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины используются преимущественно традиционные образовательные технологии:

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

6. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Не предусмотрен.

7. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Программой предусмотрено углубленное рассмотрение основных теоретических положений дисциплины, а также решение задач общей аудиторной трудоемкостью 9 часов. Темы практических занятий:

Темы практических занятий	
1	Теория манипуляторов. Общие сведения, критерии качества работы робота. Математическая модель.
2	Точность работы двухзвенника. Главные оси чувствительности, рабочая зона.
3	Проблема манипуляторов. Погрешность полюса схвата. Рабочая зона.
4	Критические конфигурации трехзвенника.
5	Критерии качества работы манипулятора.
6	Вероятностная плотность распределения позиционирования схвата двухзвенника.
7	Кинематика трехзвенника. Преимущества и недостатки. Рабочая зона. Минимизация ошибок. Сравнение с двухзвенником.
8	Механические свойства манипулятора.

9	Устойчивость объектов в схвате манипулятора.
10	Кинематика движения.
11	Циклоидальные траектории движения.
12	Динамика двухзвенника.
13	Коллинеарное управление.
14	Диссипация в двухзвеннике.
15	Критерии качества работы системы.
16	Полноприводные и неполноприводные системы.
17	Как управлять системой: виды управлений, плюсы и минусы.
18	Двухзвенный маятник в поле тяжести под действием управляющего момента в шарнирах. Резонанс

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Рекомендуемая литература

Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год (годы) издания	Год изд.
1.	Б.А. Смольников. Проблемы механики и оптимизации роботов. Москва «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. 1991	1991

Дополнительная литература

1. К проблеме биоморфного управления движениями роботов [About the problem of biomorphic robot motion control] / В. Smolnikov, Е. Yurevich. – Robotics and Technical Cybernetics, 1 (6), 2015, p. 17-20.
2. Прикладные задачи динамики твердого тела [Applied problems of dynamics of solid bodies] / D. Merkin, В. Smol'nikov. – Saint-Petersburg: SPbPU Publ., 2003, p. 534.
3. Проблемы механики и оптимизации роботов [Robots' mechanics and optimization problems] / В. Smol'nikov. – Moscow: Nauka Publ., p. 232.
4. Аветиков Б.Г., Смольников Б.А., Сорин В.М. Некоторые вопросы синтеза кинематических схем манипуляторов // Теория, принципы устройства и применение роботов и манипуляторов. – Л.: ЛПИ, 1974. – С. 55-60.
5. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975.
6. Богданов А.С., Смольников Б.А. Вынужденное консервативное движение шарнирного двухзвенника / Деп. ВИНТИ, 1986, № 5837 – В86.
7. Бруевич Н.Г. Точность механизмов. – М.-Л.: Гостехиздат, 1946.
8. Диментберг Ф.М. Теория пространственных механизмов. – М.: Наука, 1982.
9. Динамика управления роботами / Под ред. Е.И. Юревича.- М.: Наука, 1984.
10. Жавнер В.Л., Крамской Э.И. Погрузочные манипуляторы.- Л.: Машиностроение, 1975.
11. Иовлев В.Ю., Смольников Б.А. Исследование колебательных свойств двухзвенного манипулятора // Роботехника. – Л.: ЛПИ, 1977.
12. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов. – М.: Наука, 1985.
13. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961.

14. Мохамед Э.А., Смольников Б.А. Свободное движение шарнирной связки двух тел // МТТ. – 1987. - №5.
15. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. – М.: Физматгиз, 1988.
16. Никифоров С.О., Смольников Б.А., Белоколов Н.М. Анализ и синтез импульсных режимов программных движений шарнирных манипуляторов / Препринт БФ СО АН СССР. – Улан-Удэ, 1986.
17. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.А. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. – М.: Наука, 1978.
18. Воробьев Е.И., Козырев Ю.Г., Царенко В.И. Промышленные роботы агрегатно-модульного типа. – М.: Машиностроение, 1988.
19. Стренг Г. Линейная алгебра и ее приложения. – М: Мир, 1980.
20. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
21. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, 1986.
22. Формальский А.М. Перемещение антропоморфных механизмов. – М.: Наука, 1982.
23. Белецкий В.В. Двухногая ходьба. – М.: Наука, 1984.
24. Магнус К. Колебания. – М.: Мир, 1982.
25. Коловский М.З. Нелинейная теория виброзащитных систем. – М.: Наука, 1966.
26. Смольников Б.А. Обобщение эйлера случая движения твердого тела // ПММ. – 1967. – Т. 31, вып. 2.
27. Смольников Б.А. Движение твердого тела под действием ортогонального момента // МТТ.- 1979. - №3.
28. Уиттекер Е.Т. Аналитическая динамика. – М.: ОНТИ, 1937.
29. Тывес Л.И., Пурцеладзе Г.К. К статическому уравниванию звеньев механических рук // Машиноведение. – 1981. - № 5.
30. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением роботоманипулятора. – М.: Наука, 1976.
31. Механика промышленных роботов / Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая школа, 1988. – Т. 1-3.
32. Виттенбург И.С. Динамика систем твердых тел. – М.: Наука, 1980.
33. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. – М.: Наука, 1981.
34. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986.
35. Коловский М.З., Слоущ А.В. Динамика промышленных роботов. – М.: Наука, 1988.
36. Иовлев В.Ю., Смольников Б.А. Коэффициент локальной маневренности манипуляторов // Машиноведение. – 1991. -№ 5.
37. Болотник Н.Н. Оптимизация амортизационных систем. – М.: Наука, 1983.

8.2. Технические средства обеспечения дисциплины

Программное обеспечение персональных компьютеров; информационное, программное и аппаратное обеспечение локальной компьютерной сети; информационное и программное обеспечение глобальной сети Интернет. Лицензионное программное обеспечение для решения задач робототехники.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В ИПМаш РАН имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории.

Перечень материально-технического обеспечения включает в себя персональные компьютеры, оснащенные лицензионным ПО для осуществления учебной работы. Все компьютеры имеют возможность выхода в Интернет и доступ к электронным библиотечным системам (ЭБС). Лекционные аудитории оснащены мультимедийным и проекционным оборудованием, необходимым для демонстрации презентационных материалов.

10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

10.1 Критерии оценивания

Оценка качества освоения дисциплины определяется зачетом по основным разделам дисциплины. Текущий контроль успеваемости, то есть проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении обучения.

10.2. Оценочные средства

Перечень примерных заданий для оценки освоения дисциплины:

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

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 слушателей, в частности выполнению ими домашних заданий с тем, чтобы, ознакомившись на лекциях и практических занятиях с методами решения подобных задач, они имели возможность закрепить практические навыки, работая в удобном режиме времени, пользуясь консультациями преподавателя на дальнейших лекционных и практических занятиях по соответствующим темам.