

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

Одобрено на Ученом совете

Протокол № 10/22

«13» декабря 2022 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМаш РАН, д.т.н.

В.А. Полянский

«14» декабря 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ОПТИМИЗАЦИЯ В МЕХАНИКЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ»**

Образовательная программа
«ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА»

Научные специальности:

1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Программу разработал: А.С. Смирнов

Форма обучения:

очная

Санкт-Петербург
2022

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Оптимизация в механике и машиностроении» реализуется в рамках элективной (обязательной) дисциплины основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) для аспирантов очной формы обучения по образовательной программе «МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА, МАТ.МОДЕЛИРОВАНИЕ», научные специальности: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Рабочая программа разработана в соответствии с «Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 № 2122) и «Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов» (утверждены приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 20.10.2021 № 951), и учебным планом программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по образовательной программе «МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА, МАТ.МОДЕЛИРОВАНИЕ», научные специальности: 1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин; 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела; 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Программа дисциплины «Оптимизация в механике и машиностроении» по учебному плану предусматривает: лекции; практические (семинарские) занятия, в том числе аудиторные занятия в интерактивной форме; самостоятельную работу, в том числе творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу. Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой. Промежуточная аттестация осуществляется в период зачетно-экзаменационной сессии в форме экзамена.

Дисциплина реализуется на втором курсе, продолжительность обучения – 1 семестр. Экзамен проводится в 3 семестре.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Оптимизация в механике и машиностроении» предназначена для аспирантов, обучающихся по направлениям подготовки, реализуемым ИПМаш РАН

Постановка и исследование большинства задач механики в той или иной форме связаны с поиском их оптимальных решений, обеспечивающих наилучшие условия функционирования различных механических устройств и систем и их наибольшую экономичность. Поэтому оптимальные факторы и критерии должны приниматься во внимание на самых ранних стадиях изучения механического объекта, а затем корректироваться как в процессе построения решения задачи, так и после получения количественных и качественных результатов этого решения. Еще более важную роль играют оптимизационные принципы при разработке и проектировании систем управления механическими объектами: самолетами, космическими аппаратами, кораблями, роботами и т.д. Исходя из этих требований, можно сформулировать ряд положений и тенденций предлагаемого курса оптимизации, отвечающих современным запросам науки, техники и технологии, а также расширяющих и углубляющих знания студентов в разнообразных областях современной науки и культуры:

- развитие оптимизационного мышления на примерах задач и проблем из различных областей знаний;
- умение формировать критерии качества для самых разных объектов и режимов их эксплуатации;
- выбор адекватного математического аппарата и степени его точности для получения практически важных методов.

Овладение перечисленными навыками основывается на целом ряде предшествующих математико-механических дисциплин, а также на широком знакомстве с техническими и технологическими возможностями. Не менее важную роль играет и приобретение практических навыков выполнения конкретных расчетных заданий по основным результатам теоретического курса.

Целью освоения дисциплины «Оптимизация в механике и машиностроении» является ознакомление аспирантов с широким спектром современных задач оптимизации механических систем и способов управления ими. Для этого в курсе излагаются не только современные пути и методы решения оптимизационных задач, но и освещаются пути их исторического развития в разных научных школах и у разных ученых и исследователей. Большое место в этом отношении отводится в курсе обзору существующей научно-

технической литературы по методам оптимизации. Большое внимание уделяется также следующим вопросам:

- детальный анализ свойств и конструктивных особенностей оптимизируемого объекта;
- построение адекватных расчетных схем и математических моделей;
- выбор способов качественного и количественного изучения построенных математических моделей;
- анализ полученных результатов, их верификация и корректировка.

В этой связи необходимо выделить следующие основные задачи:

1. Формирование у обучающихся целенаправленного оптимизационного взгляда на научные и технические системы и проблемы.
2. Овладение методами аналитического и численного исследования оптимальных процессов и решений для широкого класса механических систем.
3. Выдача практических рекомендаций на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Оптимизация в механике и машиностроении» входит в элективную часть ОП «МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА, МАТ.МОДЕЛИРОВАНИЕ» и в факультативную часть ОП «Математическая робототехника и искусственный интеллект» по направлению подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре 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 «Оптимизация в механике и машиностроении» служит основой для написания выпускной квалификационной работы, а также для осуществления дальнейшей профессиональной деятельности.

2.4. Основными факторами, способствующими построению содержания дисциплины, являются:

- Формирование и обобщение общетеоретических знаний и умений для адекватной постановки оптимизационных задач, представляющих практический и теоретический интерес с позиций современной науки, техники и технологии;
- Целесообразность отбора тех факторов, которые играют ведущую роль в постановке конкретных задач и в использовании результатов их решений;
- Соответствие излагаемого материала реальным возможностям учебного плана;

- Соответствие содержания дисциплины учебно-методической базе института.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования.

- Способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень; владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

- Самостоятельно овладевать новыми методами исследования в условиях изменения научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и компетенций; критически оценивать свои достоинства и недостатки;

- Самостоятельно приобретать с помощью информационных и телекоммуникационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности;

- Выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии;

- Применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;

- Критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологии, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических,

прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты;

- Самостоятельно осваивать и применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы, новые системы компьютерной математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для эффективного решения профессиональных задач.

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны

знать основные постановки задач оптимизации в механике, включая задачи многокритериальной оптимизации;

уметь использовать методы оптимизации для выбора материалов, элементов конструкций, обеспечивающих устойчивость, прочность и надежность

владеть навыками анализа результатов решения оптимизационных задач при выработке рекомендаций по улучшению реальных механических систем

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Оптимизация в механике и машиностроении» осваивается в 3-м семестре.

Наименование разделов и тем:	
Тема 1. Обзор оптимизационных задач механики	
Тема 2. Прикладные задачи геометрической оптимизации	
Тема 3. Однофакторные и многофакторные критерии оптимизации	
Тема 4. Вариационные задачи оптимизации в механике	
Тема 5. Оптимизация в аналитической механике и теории колебаний	
Тема 6. Оптимизация в баллистике и небесной механике	
Тема 7. Оптимизация в строительной механике	
Тема 8. Оптимальное управление движением механических систем	
<i>Вид контроля: экзамен</i>	
Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
1. Обзор оптимизационных задач механики	
Предмет оптимизации и ее место в механике. Исторический обзор. Обзор оптимизационных задач в современной механике. Задачи геометрической оптимизации. Оптимизация в аналитической механике и теории механических колебаний. Оптимизация в строительной механике и сопротивлении материалов. Оптимизация в баллистике и небесной механике. Оптимальное управление движением механических систем. Принципы формирования критериев оптимизации.	Знать основные исторические сведения по оптимизации механических систем. Уметь формировать адекватные критерии оптимизации. Владеть основными понятиями раздела.
2. Прикладные задачи геометрической оптимизации	
Методы решения простейших экстремальных задач. Нахождение	Знать методы решения алгебраических

экстремумов алгебраических функций одной и нескольких переменных. Задача на условный экстремум. Античные и исторические задачи геометрической оптимизации, их практическое и механическое значение (задача о клепсидре, задачи Герона, Евклида, Аполлония, Кеплера, Вивиани). Прикладные задачи оптимизации бытовых конструкций (коробка, желоб, ведро, корыто, воронка, консервная банка).	экстремальных задач. Уметь применять их к решению прикладных задач геометрической оптимизации. Владеть основными понятиями раздела.
3. Однофакторные и многофакторные критерии оптимизации	
Принципы формирования многофакторных критериев оптимизации. Аддитивные и мультипликативные композиции, их достоинства и недостатки на примере задачи о максимально асимметричном треугольнике. Применение однофакторных и многофакторных критериев к решению прикладных задач, сопоставление однофакторной и многофакторной оптимизации.	Знать основные принципы конструирования многофакторных критериев оптимизации. Уметь применять их к решению прикладных задач. Владеть основными понятиями раздела.
4. Вариационные задачи оптимизации в механике	
Методы решения вариационных задач. Уравнение Эйлера-Лагранжа и его первые интегралы. Принципы решения изопериметрических задач. Задачи с подвижными границами, условие трансверсальности. Античные изопериметрические задачи Дидоны и Архимеда, их практическое значение и механическое решение. Задача о геодезических линиях на поверхности сферы, цилиндра и произвольной поверхности вращения. Задача Плато о наименьшей поверхности вращения.	Знать основные методы решения вариационных задач. Уметь применять их к решению исторических задач вариационного исчисления. Владеть основными понятиями раздела.
5. Оптимизация в аналитической механике и теории колебаний	
Задача Бернулли о брахистохроне. Ее решение и физическая интерпретация. Оценка эффективности циклоидального профиля. Оптимизация демпфирования линейного осциллятора. Локальные и интегральные критерии оптимизации, их достоинства и недостатки. Сопоставление оптимальных параметров демпфирования, полученных при использовании различных критериев.	Знать основные критерии оптимизации в задачах аналитической механики и теории колебаний. Уметь анализировать эти критерии применительно к конкретным задачам. Владеть основными понятиями раздела.
6. Оптимизация в баллистике и небесной механике	
Задача Тарталья об оптимизации стрельбы по неподвижной цели. Использование энергетического и энерго-временного критериев оптимизации, сопоставление результатов. Анализ критерия, основанного на точности стрельбы. Задача Гомана об оптимальном по энергетике двухимпульсном перелете космического аппарата между компланарными орбитами. Формирование и анализ энерго-временного критерия. Оптимизация орбитальных маневров космического аппарата.	Знать основные критерии оптимизации в задачах баллистики и небесной механики. Уметь анализировать эти критерии применительно к конкретным задачам. Владеть основными понятиями раздела.
7. Оптимизация в строительной механике	
Исторические задачи оптимизации в сопротивлении материалов (задача Галилея о равнопрочной балке и задача Парана о выпиливании бруса максимальной прочности или жесткости). Оптимизация стержневых и балочных конструкций. Задача Иоргенсена о круговой арке, задача Ржаницына о гофре. Оптимизация цепной линии. Использование различных критериев и сопоставление результатов. Построение равнопрочных конструкций, задача о равнопрочном тросе.	Знать исторические задачи сопротивления материалов. Уметь ставить и анализировать критерии оптимизации в прикладных задачах строительной механики. Владеть основными понятиями раздела.
8. Оптимальное управление движением механических систем	
Принцип максимума Понтрягина. Построение и анализ функции Гамильтона. Задача об оптимальной по быстродействию остановке тележки. Оптимальное торможение линейного осциллятора при отсутствии и наличии диссипативных сил. Задача Цермело об оптимальной навигации. Оптимальное торможение вращательного движения твердого тела. Оптимальное управление движением ракеты.	Знать основные методы решения задач оптимального управления. Уметь составлять и анализировать функцию Гамильтона в конкретных задачах. Владеть основными понятиями раздела.

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.

Вид самостоятельной работы
Текущая самостоятельная работа аспирантов (СР)
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой
Опережающая самостоятельная работа
Творческая проблемно-ориентированная СР

Практические занятия

Решение тестовых задач по темам 1 – 8.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины используются преимущественно традиционные образовательные технологии:

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

6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

Промежуточная аттестация

Экзамен. Перечень примерных вопросов для оценки освоения дисциплины:

1. Предмет оптимизации и ее место в механике. Исторический обзор.
2. Обзор оптимизационных задач в современной механике.

3. Методы решения простейших экстремальных задач.
4. Античные и исторические задачи геометрической оптимизации.
5. Прикладные задачи оптимизации бытовых конструкций.
6. Принципы формирования многофакторных критериев оптимизации.
7. Задача о максимально асимметричном треугольнике.
8. Методы решения вариационных задач. Уравнение Эйлера-Лагранжа.
9. Античные изопериметрические задачи Дидоны и Архимеда.
10. Задача о геодезических линиях на поверхности сферы и цилиндра.
11. Задача Плато о наименьшей поверхности вращения.
12. Задача Бернулли о брахистохроне. Оценка эффективности решения.
13. Оптимизация демпфирования линейного осциллятора.
14. Оптимизация баллистических траекторий.
15. Задача Гомана об оптимальном перелете между компланарными орбитами.
16. Оптимальный спуск космического аппарата с орбиты.
17. Задачи Галилея и Парана оптимизации в сопротивлении материалов.
18. Оптимизация стержневых и балочных конструкций.
19. Задачи Иоргенсена о круговой арке и задача Ржаницына о гофре.
20. Построение равнопрочных конструкций.
21. Оптимизация цепной линии.
22. Принцип максимума Понтрягина.
23. Оптимальная остановка тележки и линейного осциллятора.
24. Задача Цермело об оптимальной навигации.
25. Оптимальное торможение вращательного движения твердого тела.
26. Оптимальное управление движением ракеты.

Рекомендуемая литература

1. Курант Р., Роббинс Г. Что такое математика? М.: МЦНМО, 2015. – 568 с.
2. Протасов В.Ю. Максимумы и минимумы в геометрии. М.: МЦНМО, 2005. – 56 с.
3. Бекишев Г.А., Кратко М.И. Элементарное введение в геометрическое программирование. М.: Наука, 1980. – 144 с.
4. Васильев О.В., Аргучинцев А.В. Методы оптимизации в задачах и упражнениях. М.: Физматлит, 1999. – 208 с.
5. Лаврентьев М.А., Люстерник Л.А. Курс вариационного исчисления. М., Л.: ГИТТЛ, 1950. – 296 с.
6. Краснов М.Л., Макаренко Г.И., Киселев А.И. Вариационное исчисление. М.: Наука, ГРФМЛ, 1973. – 190 с.
7. Болотник Н.Н. Оптимизация амортизационных систем. М.: Наука, 1983. – 258 с.
8. Смольников Б.А. Проблемы механики и оптимизации роботов. М.: Наука, 1991. – 232 с.

9. Мирер С.А. Механика космического полета. Орбитальное движение. М.: Резолит, 2007. – 270 с.
10. Лоуден Д.Ф. Оптимальные траектории для космической навигации. М.: Мир, 1966. – 152 с.
11. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. М.: Наука, 1990. – 448 с.
12. Гродзовский Г.Л., Иванов Ю.Н., Токарев В.В. Механика космического полета. Проблемы оптимизации. М.: Наука, 1975. – 702 с.
13. Гольдштейн Ю.Б., Соломещ М.А., Вариационные задачи статики оптимальных стержневых систем. Л.: изд-во ЛГУ, 1980. – 208 с.
14. Рейтман М.И., Шапиро Г.С. Методы оптимального проектирования деформируемых тел. М.: Наука, 1976. – 266 с.
15. Радциг Ю.А. Статические неопределимые фермы наименьшего веса. Казань: изд-во Казанского ун-та, 1969. – 287 с.
16. Избранные задачи по строительной механике и теории упругости (регулирование, синтез, оптимизация). Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. Н.П. Абовского. М.: Стройиздат, 1978. – 189 с.
17. Баничук Н.В. Оптимизация форм упругих тел. М.: Наука, 1980. – 256 с.
18. Ржаницын А.Р. Пологие оболочки и волнистые настилы. М.: ГИЛСАиСМ, 1960. – 128 с.
19. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969. – 408 с.
20. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления. М.: Наука, ГРФМЛ, 1972. – 576 с.
21. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. – 544 с.
22. Меркин Д.Р., Смольников Б.А. Прикладные задачи динамики твердого тела. СПб: изд-во С.-Петербургского ун-та, 2003. – 534 с.

Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Рекомендуется преподнести основной объем базовых знаний на лекциях, а указанную литературу использовать для закрепления и расширения полученных знаний. Также рекомендуется больше внимания уделять самостоятельной работе аспирантов.