

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**

Вано директора ИПМаш РАН, д.т.н.

В.А. Полянский

26 марта 2020 г.

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

**Квалификация**

Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:**

очная

Санкт-Петербург  
2020

## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Оптимизация в механике и машиностроении» 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 по учебному плану составляет 2 зачетные единицы (72 часа), из них лекций – 32 часов, практических (семинарских) занятий – 16 часов, лабораторных занятий – 0 часов, самостоятельной работы – 24 часа. 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

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 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 «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. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Оптимизация в механике и машиностроении», 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:**

- 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 (ПК-1);

- 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 (ПК-2);

- 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 (ПК-3);

- Выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии (ПК-4);

- Применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-5);

- 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 (ПК-6);

- 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 (ПК-7).

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 5-м семестре. Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану на пятый семестр. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е. (72 часа).

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов и тем:	Трудоемкость (в з.е.)	Объем работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)		
			Лекции	Семинары	Самостоятельная работа



1	2	3	4	5	6
Тема 1. Обзор оптимизационных задач механики		9	4	2	3
Тема 2. Прикладные задачи геометрической оптимизации		9	4	2	3
Тема 3. Однофакторные и многофакторные критерии оптимизации		9	4	2	3
Тема 4. Вариационные задачи оптимизации в механике		9	4	2	3
Тема 5. Оптимизация в аналитической механике и теории колебаний		9	4	2	3
Тема 6. Оптимизация в баллистике и небесной механике		9	4	2	3
Тема 7. Оптимизация в строительной механике		9	4	2	3
Тема 8. Оптимальное управление движением механических систем		9	4	2	3
<b>Всего по дисциплине</b>	<b>2</b>	<b>72</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>24</b>
<i>Вид контроля:</i>	<b>экзамен</b>				

#### 4.2. Краткое содержание разделов и тем

Темы, разделы	Результаты освоения дисциплины
<b>1. Обзор оптимизационных задач механики</b>	
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.
<b>2. Прикладные задачи геометрической оптимизации</b>	
Методы решения простейших экстремальных задач. Нахождение 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).	Знать методы решения алгебраических экстремальных задач. Уметь применять их к решению прикладных задач геометрической оптимизации. Владеть основными понятиями раздела.
<b>3. Однофакторные и многофакторные критерии оптимизации</b>	
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.
<b>4. Вариационные задачи оптимизации в механике</b>	
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.
<b>5. Оптимизация в аналитической механике и теории колебаний</b>	
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.	Знать основные критерии оптимизации в задачах аналитической механики и теории колебаний. Уметь анализировать эти критерии применительно к конкретным

Сопоставление оптимальных параметров демпфирования, полученных при использовании различных критериев.	задачам. Владеть основными понятиями раздела.
<b>6. Оптимизация в баллистике и небесной механике</b>	
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.
<b>7. Оптимизация в строительной механике</b>	
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.
<b>8. Оптимальное управление движением механических систем</b>	
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.

#### 4.3. 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.
<b>Текущая самостоятельная работа аспирантов (СР)</b>	
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	18
Опережающая самостоятельная работа	18
<b>Итого текущей СР:</b>	<b>18</b>
<b>Творческая проблемно-ориентированная СР</b>	
Творческая проблемно-ориентированная СР:	6
<b>Итого творческой СР:</b>	<b>6</b>
<b>Общая трудоемкость СР</b>	<b>24</b>

#### 4.4. Лабораторный практикум



Не предусмотрен.

#### **4.5. 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. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

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

#### **6.1. Текущий контроль**

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.

#### **6.2. 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 Йоргенсена 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.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### *7.1. 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.

### ***7.2. 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.