

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и научной  
работе

                    Лейфа                    А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
«ВАРИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ ПОЛЕТА»

Направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика

Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

Квалификация выпускника – Бакалавр

Год набора – 2023

Форма обучения – Очная

Курс     4     Семестр     7    

Зачет 7 сем

Общая трудоемкость дисциплины 108.0 (академ. час), 3.00 (з.е)

Составитель М.А. Аревков, Старший преподаватель,

Инженерно-физический факультет

Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 05.02.18 № 71

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры стартовых и технических ракетных комплексов

01.09.2023 г. , протокол № 1

Заведующий кафедрой Соловьев В.В. Соловьев

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Соловьев В.В. Соловьев

« 1 » сентября 2023 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и  
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

« 1 » сентября 2023 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель дисциплины:

формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков исследования экстремумов функционалов и их применение к решению прикладных задач проектирования ракетно-космической техники.

### Задачи дисциплины:

- изучение основных понятий классического вариационного исчисления;
- применение методов вариационного исчисления при проектировании ракетно-космической техники.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина относится к вариативному типу дисциплин подготовки. Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, умениях и компетенциях студента, полученных при изучении предшествующих дисциплин, основными из которых являются: «Физика», «Математический анализ», «Обыкновенные дифференциальные уравнения», «Основы теории полета».

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

### 3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-2 Способен подготавливать предложения и проводить работу по освоению и внедрению технологических процессов, новых материалов и программных продуктов технологического назначения	ИД-1ПК-2 Знать: - преимущества использования технологических процессов, новых материалов и программных продуктов технологического назначения. ИД-2ПК-2 Уметь: - разрабатывать программные приложения новых технологических процессов и материалов ИД-3ПК-2 Владеть: - практическим опытом проведения НИР и ОТР по освоению и внедрению новых технологических процессов материалов и программных продуктов

## 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.00 зачетных единицы, 108.0 академических часов.

1 – № п/п

2 – Тема (раздел) дисциплины, курсовая работа (проект), промежуточная аттестация

3 – Семестр

4 – Виды контактной работы и трудоемкость (в академических часах)

4.1 – Л (Лекции)

4.2 – Лекции в виде практической подготовки

4.3 – ПЗ (Практические занятия)

4.4 – Практические занятия в виде практической подготовки

4.5 – ЛР (Лабораторные работы)

4.6 – Лабораторные работы в виде практической подготовки

4.7 – ИКР (Иная контактная работа)

4.8 – КТО (Контроль теоретического обучения)

4.9 – КЭ (Контроль на экзамене)

5 – Контроль (в академических часах)

6 – Самостоятельная работа (в академических часах)

7 – Формы текущего контроля успеваемости

1	2	3	4									5	6	7
			4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9			
1	История развития задач на минимум и максимум	7	6		8		8						28.9	Самостоятельная работа. Тест
2	Методы и задачи классического вариационного исчисления.	7	12		8		8						28.9	Самостоятельная работа. Тест
3	Зачет	7								0.2				
	Итого		18.0		16.0		16.0		0.0	0.2	0.0	0.0	57.8	

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекции

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)
1	История развития задач на минимум и максимум	Экстремумы функций многих переменных. Линейное программирование. Симплекс метод. Определение задачи нелинейного программирования.
2	Методы и задачи классического вариационного исчисления.	Функционалы. Функциональные пространства. Понятие сильного и слабого экстремума. Необходимое условие экстремума функционала. Основные леммы вариационного исчисления. Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Основная формула для вариации функционала. Задача со свободными концами. Вариационная производная. Инвариантность уравнения Эйлера. Основная формула для вариации функционала для задачи с подвижными концами. Задача с подвижными концами. Не гладкие экстремали. Условие Вейерштрасса - Эрдмана. Канонический вид уравнений Эйлера. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения. Уравнение Гамильтона-Якоби. Вторая вариация функционала. Формула для второй вариации в задаче с закреплёнными концами. Необходимые условия Лежандра и Якоби. Необходимые и достаточные условия слабого экстремума.

### 5.2. Практические занятия

Наименование темы	Содержание темы
История развития задач на минимум и максимум	Задача линейного программирования. Симплекс метод. Функционал. Вариация функционала и её свойства. Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнение Эйлера.
Методы и задачи классического вариационного исчисления.	Вторая вариация функционала. Необходимые и достаточные условия слабого экстремума.

### 5.3. Лабораторные занятия

Наименование темы	Содержание темы
История развития задач на минимум и максимум	Вариационные задачи с подвижными концами. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения.
Методы и задачи классического вариационного исчисления.	Вторая вариация функционала. Необходимые и достаточные условия слабого экстремума.

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Трудоемкость в академических часах
1	История развития задач на минимум и максимум	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Подготовка к лабораторной работе.	28.9
2	Методы и задачи классического вариационного исчисления.	Контроль посещения занятий. Проверка отчетов о выполненной работе. Подготовка к лабораторной работе.	28.9

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Интегральная модель образовательного процесса по дисциплине формируют технологии методологического уровня: технология по этапного формирования умственных действий, технология развивающего обучения, элементы технологии развития критического мышления, самоуправление. На занятиях используются методы активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля. При чтении лекции используются мультимедийные презентации. При выполнении практических работ используется прием интерактивного обучения «Кейс- метод»: студентам выдается задание для подготовки к выполнению работы; с преподавателем обсуждается цель работы и ход её выполнения; цель анализируется с разных точек зрения, выдвигаются гипотезы, делаются выводы, анализируются полученные результаты.

Рекомендуется использование информационных технологий при организации коммуникаций со студентами для предоставления информации, выдача рекомендаций и консультирования по оперативным вопросам (электронная почта).

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Вопросы к зачету:

1. Экстремумы функций многих переменных.
2. Линейное программирование.
3. Симплекс метод.
4. Определение задачи нелинейного программирования.
5. Функционалы. Функциональные пространства.

6. Понятие сильного и слабого экстремума. Необходимое условие экстремума функционала.
7. Основные леммы вариационного исчисления.
8. Простейшая задача вариационного исчисления.
9. Уравнение Эйлера.
10. Основная формула для вариации функционала.
11. Задача со свободными концами.
12. Вариационная производная. Инвариантность уравнения Эйлера.
13. Основная формула для вариации функционала для задачи с подвижными концами.
14. Задача с подвижными концами. Не гладкие экстремали.
15. Условие Вейерштрасса - Эрдмана. Канонический вид уравнений Эйлера.
16. Принцип наименьшего действия. Законы сохранения.
17. Уравнение Гамильтона-Якоби.
18. Вторая вариация функционала. Формула для второй вариации в задаче с закреплёнными концами.
19. Необходимые условия Лежандра и Якоби.
20. Необходимые и достаточные условия слабого экстремума.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) литература

1. Горлач, Б. А. Исследование операций : учебное пособие / Б. А. Горлач. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1430-7. — Текст : электронный // Лань : электронно- библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/211085](https://e.lanbook.com/book/211085) (дата обращения: 26.04.2023).. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Абдрахманов, В. Г. Элементы вариационного исчисления и оптимального управления. Теория, задачи, индивидуальные задания : учебное пособие / В. Г. Абдрахманов, А. В. Рабчук. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-1630-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/211535](https://e.lanbook.com/book/211535) (дата обращения: 26.04.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Деменков, Н. П. Оптимальное управление в классическом вариационном исчислении : учебное пособие / Н. П. Деменков. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-7038-4714-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/103508](https://e.lanbook.com/book/103508) (дата обращения: 26.04.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Трухан, А. А. Обыкновенные дифференциальные уравнения и методы их решения. Ряды. Элементы вариационного исчисления : учебное пособие для вузов / А. А. Трухан, Т. В. Огородникова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 268 с. — ISBN 978-5-8114-6421-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: [https:// e.lanbook.com/ book/147233](https://e.lanbook.com/book/147233) (дата обращения: 26.04.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование	Описание
1	Операционная система Linux	GNU-лицензия (GNU General Public License)
2	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>	Электронно-библиотечная система IPRbooks - научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБСИPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям

		стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования
3	<a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>	Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия
4	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	Научная электронная библиотека журналов

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

№	Наименование	Описание
1	<a href="http://ecoruspace.me/">http://ecoruspace.me/</a>	Ecoruspace.me. Информационный Интернет- сайт посвящен существующей и планируемой ракетно-космической технике
2	<a href="http://www.makeyev.ru">www.makeyev.ru</a>	АО «Государственный ракетный центр им. академика В.П. Макеева»
3	<a href="http://www.laspace.ru">www.laspace.ru</a>	АО «НПО им. С.А. Лавочкина»

### 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Занятия по дисциплине проводятся в специальных помещениях, представляющих собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, практических работ с лабораторным оборудованием, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

Каждый обучающийся обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно- библиотечным системам и к электронной информационно-образовательной среде университета.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно- образовательную среду университета.