

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
Юнаков Л. П.  
(подпись)      ФИО  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БАЛЛИСТИКЕ

Направление/специальность подготовки	24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектная баллистика ракет и космических систем
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	4	144	51	34	0	17	93	0	0	93	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Толпегин Олег Александрович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф. \_\_\_\_\_

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БАЛЛИСТИКЕ**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

# 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-6 — способность разрабатывать физические и математические модели объектов космических и ракетно-транспортных систем, и процессов их управления
ПСК-5 — способность разрабатывать структуры систем управления БПЛА
ПСК-6 — способность разрабатывать и исследовать алгоритмы функционирования системы управления БПЛА

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ОПК-6**

*знания:*

знать методы математического программирования и вариационного исчисления;

знать разновидности постановки задач оптимального управления, критерии оптимальности;

*умения:*

грамотно ставить и решать задачи математического программирования и вариационного исчисления с помощью различных методов;

выполнять математическое моделирование;

*навыки:*

решения задач поиска безусловного и условного экстремума методами математического программирования и вариационного исчисления;

составления алгоритмов и программ для численного решения задач математического программирования и вариационного исчисления для синтеза оптимального управления движением объектов космических и ракетно-транспортных систем.

## **ПСК-5**

*знания:*

знать методы математического программирования и вариационного исчисления;

знать разновидности постановки задач оптимального управления, критерии оптимальности;

*умения:*

грамотно ставить и решать задачи математического программирования и вариационного исчисления с помощью различных методов;

выполнять математическое моделирование;

*навыки:*

решения задач поиска безусловного и условного экстремума методами математического программирования и вариационного исчисления;

составления алгоритмов и программ для численного решения задач математического программирования и вариационного исчисления для синтеза оптимального управления движением беспилотных летательных аппаратов;

практического использования полученных знаний при проектировании структуры систем управления беспилотных летательных аппаратов.

## **ПСК-6**

*знания:*

знать методы математического программирования и вариационного исчисления;

знать разновидности постановки задач оптимального управления, критерии оптимальности;

*умения:*

грамотно ставить и решать задачи математического программирования и вариационного исчисления с помощью различных методов;

выполнять математическое моделирование;

*навыки:*

решения задач поиска безусловного и условного экстремума методами математического программирования и вариационного исчисления;

составления алгоритмов и программ для численного решения задач математического программирования и вариационного исчисления для синтеза оптимальных алгоритмов управления движением беспилотных летательных аппаратов;

практического использования полученных знаний при проектировании систем управления беспилотных летательных аппаратов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БАЛЛИСТИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.04 *Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ТАУ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ И КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности
- ОПК-6 — Способен разрабатывать физические и математические модели объектов космических и ракетно-транспортных систем, и процессов их управления
- ПСК-2 — Способен разрабатывать методики исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов
- ПСК-5 — Способен разрабатывать структуры систем управления БПЛА
- ПСК-6 — Способен разрабатывать и исследовать алгоритмы функционирования системы управления БПЛА

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-6	ПСК-5	ПСК-6
4	7	<b>Раздел 1. Методы математического программирования.</b> 1.1 Методы линейного математического программирования. 1.2 Методы нелинейного математического программирования. 1.3 Метод динамического программирования.	70	15	6	9	55	50	40	40
4	7	<b>Раздел 2. Методы вариационного исчисления.</b> 2.1. Постановка задачи оптимального управления. Постановка задачи оптимального управления, история развития методов оптимального управления. Методы вариационного исчисления – основа современных методов управления. 2.2. Основные понятия функционального анализа (ч.1) . Функционал. Функциональное пространство. Линейное функциональное пространство. Норма, расстояние. Примеры линейных нормированных пространств. 2.3. Основные понятия функционального анализа (ч.2) . Непрерывность функционала. Дифференцируемость функционала. Первая вариация функционала. 2.4. Основные понятия функционального анализа (ч.3) . Вторая вариация функционала. Пример вычислений первой и второй вариации. 2.5. Простейшая задача вариационного исчисления. Постановка задач классического вариационного исчисления. 2.6. Задачи с подвижными концами. Условия трансверсальности. Условия Вейерштрасса – Эрмана. 2.7. Задача Лагранжа на условный экстремум. 2.8. Задача Майера на условный экстремум. 2.9. Задача Больца на условный экстремум. 2.10. Синтез линейной системы с интегральным квадратичным критерием. 2.11. Каноническая форма уравнения Эйлера. 2.12. Необходимые условия экстремума в канонической форме. 2.13. Простые методы вариационного исчисления. Метод Рунта 2.14. Простые методы вариационного исчисления. Метод Эйлера.	74	36	28	8	38	50	60	60
<b>Всего за 7 семестр</b>			144	51	34	17	93	100	100	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	51	34	17	93	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Методы математического программирования.	Методы поиска экстремума функции одной переменной. Метод равномерного поиска. Метод золотого сечения. Метод Фибоначчи.	1
2		Линейное программирование. Постановка задачи. Геометрическая интерпретация линейного программирования. Симплекс-метод.	2
3		Методы нелинейного программирования. Постановка задачи. Классификация. Градиентные методы. Метод наискорейшего спуска. Метод сопряженных направлений. Метод Ньютона.	2
4		Выпуклое программирование. Градиентный метод Эрроу – Гурвица.	1
5		Квадратичное программирование. Решение задач квадратичного программирования на основе симплекс-метода.	1
6		Метод динамического программирования для решения задач математического программирования.	1
7		Целочисленное программирование. Алгоритм Гомори. Метод ветвей и границ.	1
8	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	Примеры вычисления первой и второй вариации функционала	1
9		Простейшая задача вариационного исчисления. Задача Кеплера-Ньютона	1
10		Задача с подвижными концами. Задача о брахистохроне.	1
11		Необходимые условия экстремума для задачи Майера в канонической форме. Пример.	1
12		Задача Лагранжа на условный экстремум. Оптимальное управление угловым движением летательного аппарата.	1
13		Задача Майера на условный экстремум. Оптимизация скорости	1

		летательного аппарата в конце участка выведения на прямолинейную траекторию.	
14		Задача Больца. Синтез линейной системы с интегральным квадратичным критерием качества. Синтез системы стабилизации углового положения летательного аппарата.	1
15		Прямые методы вариационного исчисления. Метод Ритца, метод Эйлера. Примеры.	1
<b>Всего за 7 семестр</b>			<b>17</b>

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Методы математического программирования.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Оформление отчетов по практическим заданиям.	55
2	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания № 1.	38
<b>Всего за 7 семестр</b>			<b>93</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7					Отч. по ПЗ	ДР		Отч. по ПЗ		ДР	Отч. по ПЗ		ДЗ		Отч. по ПЗ	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- ДЗ – домашнее задание.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. . Методы оптимизации. М.: РИОР, 2012, 13 экз.
2. А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах. СПб.: Лань, 2020, 50 экз.
3. А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова, В. А. Санников. . Параметрические методы оптимизации в динамике полёта беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 75 экз.
4. А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова, В. А. Санников. . Параметрические методы оптимизации в динамике полёта беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, эл. рес.
5. В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории оптимального и логического управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, 15 экз.
6. В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории оптимального и логического управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, эл. рес.
7. О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, 164 экз.
8. О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Электронная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
4. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Matlab 2015a SP1.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БАЛЛИСТИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению **24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники**. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-6 способность разрабатывать физические и математические модели объектов космических и ракетно-транспортных систем, и процессов их управления;

ПСК-5 способность разрабатывать структуры систем управления БПЛА;

ПСК-6 способность разрабатывать и исследовать алгоритмы функционирования системы управления БПЛА.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с математическим аппаратом теории оптимального управления, общими и специальными методами синтеза оптимального управления в технических системах: методами математического программирования и оптимального управления на основе методов вариационного исчисления.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- домашнее задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Методы математического программирования.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Оформление отчетов по практическим заданиям.	<p>О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (1)</p> <p>А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах: СПб.: Лань, 2020 (1-4)</p> <p>А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова, В. А. Санников. . Параметрические методы оптимизации в динамике полёта беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-4)</p> <p>А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. . Методы оптимизации: М.: РИОР, 2012 (2-8)</p> <p>А. С. Шалыгин, И. Л. Петрова, В. А. Санников. . Параметрические методы оптимизации в динамике полёта беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-4)</p>	55
Итого по разделу 1		55
<b>Раздел 2. Методы вариационного исчисления.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания № 1.	<p>А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах: СПб.: Лань, 2020 (5)</p> <p>О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (2)</p> <p>В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории оптимального и логического управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011 (1)</p> <p>В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории</p>	38

	<p>оптимального и логического управления:  М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011  (1)  О. А. Толпегин. . Математическое  программирование. Вариационное  исчисление: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.  Ф. Устинова, 2003 (2)</p>	
Итого по разделу 2		38

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- домашнее задание;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Отчет по практическому заданию

Комплект практических заданий входит в состав УМК дисциплины. Практическое задание (ПЗ) считается выполненным, если студент полностью выполнил все пункты ПЗ. Отчет по практическому заданию представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненному заданию и ответов на вопросы преподавателя.

При оформлении практических заданий требуется руководствоваться следующими рекомендациями:

-В начале описательной части отчета излагается содержание, приводятся схема, математическая модель, исходные данные для расчетного варианта, метод решения.

-Все вычисления проводятся подробно, сопровождаясь необходимыми пояснениями. Все вычисления заносятся в таблицы.

-Табличные данные представляются также в виде графиков, условные обозначения и размерности откладываемых по осям величин указываются в принятых по ГОСТ сокращениях.

-При выполнении расчетов с использованием ЭВМ нужно обязательно приводить распечатки (листинг) программ.

-По каждому ПЗ студент должен представить выводы на основании выполненных расчетов.

Студент обязан выполнять все ПЗ в срок и сдавать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

Отчет по ПЗ считается принятым в случае, если оформление отчета соответствует указанным требованиям, и студент ответил не менее чем на 60% вопросов преподавателя по теме ПЗ.

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала.

#### Домашнее задание

Домашнее задание включает в себя одну задачу. Задачи входят в состав УМК дисциплины.

Домашнее задание считается принятым, если студент выполнил домашнее задание полностью, предоставил отчет по выполненному заданию, и ответил не менее чем на 60% вопросов преподавателя по ходу выполнения задания и по теоретическому материалу того раздела к которому относится ДЗ.

#### Экзамен

Промежуточный контроль по дисциплине проходит в форме экзамена.

Экзаменационный билет включает в себя теоретический вопрос и задачу. Экзаменационные вопросы и задачи входят в состав УМК дисциплины.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он правильно решил задачу, полностью ответил на вопрос экзаменационного билета и правильно ответил на 3 вопроса по содержанию курса.

- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он правильно решил задачу, но не полностью ответил на вопрос экзаменационного билета и правильно ответил на хотя бы на 1 вопрос по содержанию курса .

- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он неправильно решил задачу, либо решил задачу, но не ответил ни на один вопрос экзаменационного билета.

- во всех других случаях обучающемуся выставляется оценка «удовлетворительно».



Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-6	ПСК-5	ПСК-6	
4	7	Раздел 1. Методы математического программирования.	70	15	6	9	55	50	40	40	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	74	36	28	8	38	50	60	60	Домашнее задание, Отчет по практическому заданию
Всего за 7 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-6

Вопросы открытого типа:

- № 1 \_\_\_\_\_ – функция, в которой роль независимой переменной играет функция, заданная на некотором множестве функций
- № 2 Наличие системы неравенств является особенностью задач на \_\_\_\_\_ экстремум
- № 3 Методы не требующие решения краевой задачи – \_\_\_\_\_ методы вариационного исчисления
- № 4 Особенность простейшей задачи вариационного исчисления – наличие граничных условий на \_\_\_\_\_ конце траектории
- № 5 Особенности задачи линейного программирования – целевая функция и ограничения являются \_\_\_\_\_ функциями
- № 6 В чем особенность задачи математического программирования?
- № 7 Каким граничным условиям удовлетворяет уравнение Эйлера для простейшей задачи вариационного исчисления?
- № 8 В чем особенность градиентных методов первого порядка для решения задач оптимального управления?
- № 9 Когда возникает необходимость решения уравнения Риккати?
- № 10 Для чего используется вторая вариация функционала?

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Какими свойствами обладает норма функции?

- 1)  $\|\lambda x\| = \|\lambda\| \cdot \|x\|$ .
- 2)  $\|x\| < 0$ .
- 3) 1)  $\|x\| \geq 0$ , причем  $\|x\| = 0$  в том и только в том случае, когда  $x = 0$  ;  
2)  $\|\lambda x\| = |\lambda| \|x\|$  ( $\lambda$  - постоянное число);  
3)  $\|x + y\| \leq \|x\| + \|y\|$  ;
- 4) 1)  $\|x\| \geq 0$ , причем  $\|x\| = 0$  в том и только в том случае, когда  $x = 0$  ;  
2)  $\|\lambda x\| = |\lambda| \|x\|$  ( $\lambda$  - постоянное число);  
3)  $\|x + y\| > \|x\| + \|y\|$ .

- № 2 Какими свойствами обладает понятие расстояния между элементами линейного нормированного пространства?

- 1)  $\rho(x, y) < 0$ .
- 2)  $\rho(x, y) \neq \rho(y, x)$ .
- 3) 1)  $\rho(x, y) \geq 0$ , причем  $\rho(x, y) = 0$  в том и только в том случае, когда  $x = y$  ;  
2)  $\rho(x, y) = \rho(y, x)$ ;  
3)  $\rho(x, y) \leq \rho(x, z) + \rho(z, y)$ ;
- 4)  $\rho(x, y) \geq \rho(x, z) + \rho(z, y)$  .

- № 3 Какой вид имеет уравнение Эйлера для простейшей задачи вариационного исчисления?

- 1)  $\frac{dL}{dx} + \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = 0$ .
- 2)  $\frac{\partial L}{\partial x} + \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = 0$ .
- 3)  $\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = 0$ .
- 4)  $\frac{dL}{dx} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = 0$ .

- № 4 Какой вид имеет формула для первой вариации интегрального функционала



$$J(x) = \int_{t_0}^{\vartheta} L(t, x, \dot{x}) dt ?$$

- 1)  $\delta J = \int_{t_0}^{\vartheta} \left[ \frac{\partial L}{\partial x} \delta x \right] dt.$
- 2)  $\delta J = \int_{t_0}^{\vartheta} \left[ \frac{\partial L}{\partial x} \delta x + \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta \dot{x} \right] dt.$
- 3)  $\delta J = \int_{t_0}^{\vartheta} \left[ \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta \dot{x} \right] dt.$
- 4)  $\delta J = \int_{t_0}^{\vartheta} \left[ \frac{\partial L}{\partial x} \delta x - \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \delta \dot{x} \right] dt.$

№ 5 Какой функционал является линейным?

- 1) Если он непрерывен и выполняются соотношения:  $J(x + y) = J(x) + J(y)$  и  $J(\mu x) = \mu J(x)$ , где  $\mu$  любое число.
- 2) Если он только непрерывен.
- 3) Если  $J(x + y) = J(x) + J(y)$ .
- 4) Если он непрерывен и выполняется свойство  $J(\mu x) = \mu J(x)$ , где  $\mu$  любое число.

№ 6 Какой вид имеют условия Вейерштрасса-Эрдмана для функционала

$$J(x) = \int_{t_0}^{\vartheta} L(t, x, \dot{x}) dt?$$

- 1)  $L_{\dot{x}}|_{t=\xi-0} = L_{\dot{x}}|_{t=\xi+0}.$
- 2)  $(L - \dot{x} L_{\dot{x}})|_{t=\xi-0} = (L - \dot{x} L_{\dot{x}})|_{t=\xi+0}; L_{\dot{x}}|_{t=\xi-0} = L_{\dot{x}}|_{t=\xi+0}.$
- 3)  $L_{\dot{x}}|_{t=\xi-0} = L_{\dot{x}}|_{t=\xi+0} + \text{const}.$
- 4)  $(L - \dot{x} L_{\dot{x}})|_{t=\xi-0} = (L - \dot{x} L_{\dot{x}})|_{t=\xi+0}.$

№ 7 Какой вид имеют условия трансверсальности для интегрального функционала, если левый конец траектории закреплен в заданный начальный момент времени, а правый конец свободен и время окончания движения не задано?

- 1)  $(L - \dot{x}^T L_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0; L^T \dot{x}_i|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 \quad (i = 1, \dots, n).$
- 2)  $(L - \dot{x}^T L_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$
- 3)  $L^T \dot{x}_i|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 \quad (i = 1, \dots, n).$
- 4)  $(L - \dot{x}^T L_{\dot{x}})|_{t=t_0} \delta t_0 = 0; L_{\dot{x}_i}|_{t=t_0} \delta x_{i0} = 0.$

№ 8 Какие переменные называются вариациями предельных значений в задаче с подвижными концами?

- 1)  $\vartheta + \delta \vartheta.$
- 2)  $\delta \vartheta$  и  $\delta x_{\vartheta}.$
- 3)  $x(\vartheta) + \delta x_{\vartheta}.$
- 4)  $(\vartheta + \delta \vartheta, x(\vartheta) + \delta x_{\vartheta}).$

№ 9 Какой вид имеют условия трансверсальности для задачи Майера на условный экстремум, если время окончания процесса задано, а правый конец траектории свободен?

- 1)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$
- 2)  $(\frac{\partial R}{\partial x_i} + \Phi^T_{\dot{x}_i})|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n) = 0.$
- 3)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0;$   
 $\Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n)$
- 4)  $\Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n).$

№ 10 Какой вид имеют условия трансверсальности для задачи Лагранжа на условный экстремум, если время окончания процесса не задано, а правый конец траектории свободен?

- 1)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0; \quad \Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n)$
- 2)  $(\dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0, \quad \Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n) = 0.$
- 3)  $(\dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$
- 4)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$

#### ПСК-5

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Задачей Майера называется задача с \_\_\_\_\_ критерием оптимальности
- № 2 Задачей Лагранжа называется задача с \_\_\_\_\_ критерием оптимальности
- № 3 Задача Лагранжа на условный экстремум отличается от простейшей векторной задачи вариационного исчисления наличием \_\_\_\_\_
- № 4 Когда искомая функция претерпевает излом используются условия \_\_\_\_\_
- № 5 В чем особенности задачи квадратичного программирования?
- № 6 В чем особенность метода прогонки для решения краевой задачи?
- № 7 В чем особенность метода Эйлера?
- № 8 В чем особенность метода Рунге?
- № 9 Когда возникает необходимость решения уравнения Риккати?
- № 10 В задаче Больца критерий оптимальности представлен \_\_\_\_\_

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 В чем особенность постановки задачи Майера на условный экстремум?

- 1) Вводится новый функционал с подинтегральной функцией

$$\Phi = L + \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t)).$$

- 2) Вводится новый функционал с подинтегральной функцией  $\Phi = \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t)).$

- 3) Вводится новый функционал с подинтегральной функцией  $g(t, x(t), \dot{x}(t)).$

- 4) Вводится новый функционал вида  $J = R(x(t)) + \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t)).$

- № 2 В чем особенность постановки задачи Лагранжа на условный экстремум?

1) Вводится новый функционал с подынтегральной функцией  $\Phi = L + \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t))$ .

2) Вводится новый функционал с подынтегральной функцией

$$\Phi = g(t, x(t), \dot{x}(t)).$$

3) Вводится новый функционал с подынтегральной функцией

$$\Phi = \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t)) .$$

4) Вводится новый функционал

$$R(t, x(t)) = g(t, x(t), \dot{x}(t)).$$

№ 3 Какой вид имеют условия трансверсальности для задачи Майера на условный экстремум, если время окончания процесса задано, а правый конец траектории свободен?

1)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$

2)  $(\frac{\partial R}{\partial x_i} + \Phi^T_{\dot{x}_i})|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n) = 0.$

3)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0; \quad \Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n)$

4)  $\Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n).$

№ 4 Какой вид имеют условия трансверсальности для задачи Больца на условный экстремум, если время окончания процесса не задано, а правый конец траектории свободен?

1)  $(\frac{\partial R}{\partial t} + \Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0;$

$(\frac{\partial R}{\partial x_i} + \Phi^T_{\dot{x}_i})|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n) = 0.$

2)  $(\frac{\partial R}{\partial x_i} + \Phi^T_{\dot{x}_i})|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n) = .$

3)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}})|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0.$

4)  $\Phi^T_{\dot{x}_i}|_{t=\vartheta} \delta x_{i\vartheta} = 0 (i = 1, \dots, n).$

№ 5 Какой вид имеет каноническая форма уравнения Эйлера?

1)  $\frac{d\Psi}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial x} .$

2)  $\frac{d\Psi}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial x}; \quad \frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \Psi} .$

3)  $\frac{dx}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial \Psi} .$

4)  $\frac{d\Psi}{dt} = \frac{\partial H}{\partial x}; \quad \frac{dx}{dt} = - \frac{\partial H}{\partial \Psi} .$

№ 6 Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Лагранжа?

1)  $H = \Psi^T \dot{\dot{x}} - L(t, x, \dot{x}).$

2)  $H = \Psi^T \dot{x} .$

3)  $H = L(t, x, \dot{x}) .$

4)  $H = \Psi^T \dot{x} + L(t, x, \dot{x}) .$

№ 7 Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Майера?

- 1)  $H = \Psi^T \dot{\bar{x}} - L(t, x, \dot{x})$ .
- 2)  $H = \Psi^T \dot{x}$ .
- 3)  $H = L(t, x, \dot{x})$ .
- 4)  $H = \Psi^T \dot{x} + L(t, x, \dot{x})$ .

№ 8 Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Больца?

- 1)  $H = \Psi^T \dot{\bar{x}} - L(t, x, \dot{x})$ .
- 2)  $H = \Psi^T \dot{x}$ .
- 3)  $H = L(t, x, \dot{x})$ .
- 4)  $H = \Psi^T \dot{x} + L(t, x, \dot{x})$ .

№ 9 От чего зависит размерность вектора неопределенных множителей Лагранжа в задаче на условный экстремум?

1. От размерности вектора  $x(t)$
2. От числа уравнений.
3. От числа граничных условий.
4. От числа условий на левом и правом концах траектории.

№ 10 Какой вид имеют условия трансверсальности для задачи Больца на условный экстремум, если время окончания процесса не задано, а правый конец траектории свободен?

- 1)  $\left( \frac{\partial R}{\partial t} + \Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}} \right) \Big|_{t=\theta} \delta \vartheta = 0;$
- 2)  $\left( \frac{\partial R}{\partial x_i} + \Phi_{\dot{x}_i}^T \right) \Big|_{t=\theta} \delta x_{i\theta} = 0 \ (i = 1, \dots, n) = 0.$
- 3)  $(\Phi - \dot{x}^T \Phi_{\dot{x}}) \Big|_{t=\theta} \delta \vartheta = 0.$
- 4)  $\Phi_{\dot{x}_i}^T \Big|_{t=\theta} \delta x_{i\theta} = 0 \ (i = 1, \dots, n).$

#### ПСК-6

*Вопросы открытого типа:*

- № 1 Размерность вектора неопределенных множителей Лагранжа в задаче на условный экстремум зависит от \_\_\_\_\_
- № 2 Непрерывная функция, имеющая непрерывную первую и вторую производную принадлежит \_\_\_\_\_ классам
- № 3 Функции, принадлежащие классу  $C1$  непрерывные и имеют непрерывную \_\_\_\_\_ производную
- № 4 Особенность оптимального управления при использовании для линейной системы дифференциальных уравнений интегрального квадратичного критерия – управление является \_\_\_\_\_ относительно фазовых координат управляемой системы.
- № 5 \_\_\_\_\_ – функция, которая принадлежит тому же классу функций, что и исходная функция, но норма которой мала.
- № 6 Какая задача называется задачей Майера?
- № 7 Как перейти от задачи Майера к задаче Лагранжа?
- № 8 Как перейти от задачи Лагранжа к задаче Майера?
- № 9 Как перейти от задачи Больца к задаче Майера?
- № 10 В чем отличие задачи Майера от задачи Лагранжа?

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Каким граничным условиям удовлетворяет уравнение Эйлера для простейшей задачи вариационного исчисления?
  1. Должны быть заданы начальные и граничные условия для  $x(t)$ , начальное и конечное время движения.
  2. Должны быть заданы начальные условия.

3. Должны быть заданы граничные условия.
4. Должно быть задано начальное время движения.

№ 2 Для чего используется вторая вариация функционала?

1. Для определения максимума функционала.
2. Для определения минимума функционала.
3. Для определения: максимум или минимум достигается на функции, полученной из решения уравнения Эйлера.
4. Для проверки выполнения граничных условий.

№ 3 Когда используются условия Вейерштрасса - Эрдмана?

1. Когда искомая функция претерпевает разрыв.
2. Когда искомая функция претерпевает излом.
3. Когда нужно записать граничные условия на правом конце траектории.
4. траектории.
5. Когда нужно записать граничные условия на левом конце траектории.

№ 4 В чем особенность задача на условный экстремум?

1. Наличие системы уравнений.
2. Наличие условий трансверсальности.
3. Наличие дополнительных условий на левом или правом конце траектории.
4. Отсутствие условий трансверсальности

№ 5 В чем особенность простейшей задачи вариационного исчисления?

1. Заданы граничные условия на левом конце траектории.
2. Заданы граничные условия на правом конце траектории.
3. Заданы граничные условия на левом и правом конце траектории.
4. Нет граничных условий

№ 6 Когда возникает необходимость решения уравнения Риккати?

1. Когда движение определяется линейной системой дифференциальных уравнений.
2. Когда система дифференциальных уравнений нелинейная, а критерий оптимальности является интегральным квадратичным.
3. При синтезе линейной системы дифференциальных уравнений с интегральным квадратичным критерием.
4. Когда система уравнений движения является нелинейной, но управление входит линейно.

№ 7 В чем особенность градиентных методов первого порядка для решения задач оптимального управления?

1. Использование уравнения Эйлера.
2. Задание некоторой начальной функции управления.
3. Непосредственное использование первой вариации функционала для скорейшего спуска (подъема) к минимальному (максимальному) значению функционала на каждом шаге итерационного процесса.
4. Вводится несколько дополнительных функционалов

№ 8 В чем особенность метода прогонки для решения краевой задачи?

1. Задают граничные условия на правом конце траектории и в результате решения системы уравнений в обратном направлении времени находят граничные условия на левом конце траектории.
2. Из условий трансверсальности находят граничные условия на правом конце траектории и в результате решения матричного уравнения Риккати в обратном направлении времени определяют граничные условия на левом конце траектории.
3. Задают граничные условия на правом конце траектории, а затем определяют граничные условия на левом конце траектории.
4. Вместо задания начальных условий задают граничные условия на другом конце траектории

№ 9 В чем особенность задачи Больца?

1. Функционал имеет терминальную и интегральную часть.
2. Функционал является терминальным.
3. Функционал является интегральным.
4. Отсутствуют граничные условия на концах траектории

№ 10 Соотнесите задачу на условный экстремум и соответствующей ее вид функционала

1. задачи Майера
2. задачи Лагранжа
3. задачи Больца

А.  $\Phi = \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t))$

В.  $\Phi = L + \lambda^T(t) g(t, x(t), \dot{x}(t))$