

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Направление/специальность подготовки	24.05.06 Системы управления летательными аппаратами
Специализация/профиль/программа подготовки	Системы управления беспилотными летательными аппаратами
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
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	3	108	51	34	0	17	57	0	0	57	ЭКЗ.
4	8	3	108	51	34	0	17	57	0	0	57	ЭКЗ.
ВСЕГО		6	216	102	68	0	34	114	0	0	114	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.06 Системы управления летательными аппаратами**

год набора группы: 2026

Программу составил:

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

Сизова Анастасия Александровна, к.т.н., доцент

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Петрова И.Л., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Петрова И.Л., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ**

### **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:

ПК-2 — Способен к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов

ПК-6 — Способен к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-2**

*знания:*

знать методы математического программирования и вариационного исчисления;

знать основные понятия теории оптимального управления;

знать методы оптимального управления динамическими системами;

знать разновидности постановки задач оптимального управления, критерии оптимальности;;

*умения:*

выполнять математическое моделирование;;

*навыки:*

составления алгоритмов и программ для численного решения задач оптимального управления;

использования методов оптимального управления, как для исследования движения с использованием упрощенных моделей, так и для исследования движения с учетом динамики работы элементов системы управления;

практического использования полученных знаний при моделировании траекторий полета БПЛА;.

### **ПК-6**

*знания:*

знать методы математического программирования и вариационного исчисления;

знать основные понятия теории оптимального управления;

знать методы оптимального управления динамическими системами;

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;

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

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.06 Системы управления летательными аппаратами*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИГРОВЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 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		ПК-2	ПК-6
4	7	Раздел 1. Методы математического программирования. 1.1 Методы линейного математического программирования. 1.2 Методы нелинейного математического программирования. 1.3 Метод динамического программирования.	45	15	6	9	30	20	20
4	7	Раздел 2. Методы вариационного исчисления. 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 Рунца. 2.14. Простые методы вариационного исчисления. Метод Эйлера.	63	36	28	8	27	30	30
Всего за 7 семестр			108	51	34	17	57	50	50
4	8	Раздел 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина. 1.1. Введение. Цели и задачи курса. История развития методов оптимального управления. 1.2. Необходимые условия оптимальности при отсутствии ограничений на управление. 1.3. Особенности решения задачи оптимального управления при наличии ограничений на управление. Игольчатая вариация и вариация траектории. 1.4. Теорема принципа максимума для задачи Майера со свободным правым концом траектории и фиксированным временем. 1.5. Условия трансверсальности для задач Лагранжа, Майера, Больца. 1.6. Особое управление. Вычисление особого управления. 1.7. Условие оптимальности особого управления. Скользящий режим. 1.8. Принцип максимума для дискретных систем.	48	28	16	12	20	20	20
4	8	Раздел 4. Метод динамического программирования. 3.1 Принцип оптимальности Р. Беллмана. Вывод уравнения Беллмана для задачи с фиксированным временем и свободным правым концом траектории. 3.2. Уравнение Беллмана для задачи Майера и Больца. 3.3 Синтез оптимального регулятора для линейной системы с интегральным квадратичным критерием качества. 3.4 Синтез оптимального управления по критерию обобщенной работы. 3.5 Принцип максимума и динамическое программирование.	32	15	10	5	17	20	20
4	8	Раздел 5. Численные методы оптимального управления. 3.1 Градиентный метод первого порядка для задач без ограничений на управление. 3.2 Метод последовательных приближений Крылова – Черноусько. 3.3 Метод Ньютона. 3.4 Метод последовательной линеаризации.	28	8	8	0	20	10	10
Всего за 8 семестр			108	51	34	17	57	50	50
Всего по дисциплине			216	102	68	34	114	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.	Метод динамического программирования для решения задач математического программирования.	1
2		Целочисленное программирование. Алгоритм Гомори. Метод ветвей и границ.	1
3		Методы поиска экстремума функции одной переменной. Метод равномерного поиска. Метод золотого сечения. Метод Фибоначчи.	1
4		Линейное программирование. Постановка задачи. Геометрическая интерпретация линейного программирования. Симплекс-метод.	2
5		Методы нелинейного программирования. Постановка задачи. Классификация. Градиентные методы. Метод наискорейшего спуска. Метод сопряженных направлений. Метод Ньютона.	2
6		Выпуклое программирование. Градиентный метод Эрроу – Гурвица.	1
7		Квадратичное программирование. Решение задач квадратичного программирования на основе симплекс-метода.	1
8	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	Пример вычислений первой и второй вариации функционала	1
9		Задача Лагранжа на условный экстремум. Оптимальное управление угловым движением летательного аппарата.	1
10		Задача Майера на условный экстремум. Оптимизация скорости летательного аппарата в конце участка выведения на прямолинейную траекторию.	1

11		Задача Больца. Синтез линейной системы с интегральным квадратичным критерием качества. Синтез системы стабилизации углового положения летательного аппарата.	1
12		Простейшая задача вариационного исчисления. Задача Кеплера-Ньютона	1
13		Задача с подвижными концами. Задача о брахистохроне.	1
14		Необходимые условия экстремума для задачи Майера в канонической форме. Пример.	1
15		Прямые методы вариационного исчисления. Метод Ритца, метод Эйлера. Примеры.	1
Всего за 7 семестр			17
16	Раздел 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Задача о максимальном смещении летательного аппарата в заданном направлении.	2
17		Максимизация скорости летательного аппарата при выведении на траекторию с заданным углом возвышения.	2
18		Синтез оптимальной по быстродействию линейной системы на основе принципа максимума.	2
19		Решение задач оптимального управления без ограничений на управление с использованием канонической формы уравнения Эйлера.	2
20		Определение особого управления в задачах оптимального управления.	2
21		Задача на принцип максимума в дискретной форме.	2
22	Раздел 4. Метод динамического программирования.	Синтез системы стабилизации угла крена с использованием интегрального квадратичного критерия оптимальности на основе динамического программирования.	3
23		Синтез системы стабилизации угла крена по критерию обобщенной работы.	2
Всего за 8 семестр			17

### 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.	30
2	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания.	27
<b>Всего за 7 семестр</b>			57
3	Раздел 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Оформление отчетов по практическим работам.	20
4	Раздел 4. Метод динамического программирования.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Оформление отчетов по практическим работам.	17
5	Раздел 5. Численные методы оптимального управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по практическим работам.	20
<b>Всего за 8 семестр</b>			57

## 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	Отч. по ПЗ	ДР		Отч. по ПЗ	Отч. по ПЗ	ДР					ДЗ			ДР
8			Отч. по ПЗ	Отч. по ПЗ	ДР		Отч. по ПЗ			ДР	ДЗ		Отч. по ПЗ		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, эл. рес.
4. В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории оптимального и логического управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011, эл. рес.
5. О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление. Москва: Юрайт, 2023, эл. рес.
6. О. А. Толпегин. . Методы оптимального управления. М.: Юрайт, 2021, эл. рес.
7. О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
8. О. А. Толпегин. . Прикладные методы оптимального управления. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 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://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
4. [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;
5. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

### 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 R 2015a.

### 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 R 2015a.

### **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 **МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.06 Системы управления летательными аппаратами*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-2 Способен к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов;

ПК-6 Способен к разработке и исследованию алгоритмов 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, оптимального управления на основе методов вариационного исчисления, методов оптимального управления. А также круг вопросов, связанных с умением грамотно ставить задачи оптимального управления, выбирать метод решения, составлять алгоритмы и программы для численного решения задач оптимального управления.

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 **6 з.е., 216 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**68 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**114 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 102 ч. аудиторных занятий, и 114 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>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>О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление: Москва: Юрайт, 2023 (1)</p>	30
Итого по разделу 1		30
<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.	<p>О. А. Толпегин. . Математическое программирование. Вариационное исчисление: Москва: Юрайт, 2023 (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>А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах: СПб.: Лань, 2020 (5)</p>	27
Итого по разделу 2		27
<b>Раздел 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Оформление отчетов по практическим работам.	<p>О. А. Толпегин. . Методы оптимального управления: М.: Юрайт, 2021 (1)</p> <p>О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)</p> <p>А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах: СПб.: Лань, 2020 (2)</p> <p>О. А. Толпегин. . Прикладные методы оптимального управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (1)</p> <p>А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. . Методы оптимизации: М.: РИОР, 2012 (5,8)</p> <p>В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории</p>	20

	оптимального и логического управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011 (2)	
Итого по разделу 3		20
<b>Раздел 4. Метод динамического программирования.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям. Оформление отчетов по практическим работам.	В. А. Иванов, В. С. Медведев. . Математические основы теории оптимального и логического управления: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011 (3) О. А. Толпегин. . Методы оптимального управления: М.: Юрайт, 2021 (2) О. А. Толпегин. . Прикладные методы оптимального управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (2)	17
Итого по разделу 4		17
<b>Раздел 5. Численные методы оптимального управления.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Оформление отчетов по практическим работам.	О. А. Толпегин. . Методы оптимального управления: М.: Юрайт, 2021 (1,2) А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. . Методы оптимизации в примерах и задачах: СПб.: Лань, 2020 (2) А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. . Методы оптимизации: М.: РИОР, 2012 (5,8)	20
Итого по разделу 5		20

## 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;
- 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

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.

Комплект практических заданий входит в состав УМК дисциплины.

#### Домашнее задание

Домашнее задание (ДЗ) включает в себя одну или несколько задач. 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 (семестр 7)

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».

#### Экзамен (семестр 8)

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».

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		ПК-2	ПК-6	
4	7	Раздел 1. Методы математического программирования.	45	15	6	9	30	20	20	Отчет по практическому заданию
4	7	Раздел 2. Методы вариационного исчисления.	63	36	28	8	27	30	30	Домашнее задание
Всего за 7 семестр			108	51	34	17	57	50	50	
4	8	Раздел 3. Принцип максимума Л.С. Понтрягина.	48	28	16	12	20	20	20	Домашнее задание, Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 4. Метод динамического программирования.	32	15	10	5	17	20	20	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 5. Численные методы оптимального управления.	28	8	8	0	20	10	10	Отчет по практическому заданию
Всего за 8 семестр			108	51	34	17	57	50	50	
Всего по дисциплине			216	102	68	34	114	100	100	



## Оценочные материалы по дисциплине МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

### *ПК-2 - Способен к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов*

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
В чем заключается задача математического программирования?

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что является особенностью задач на условный экстремум?

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите термин с его определением

- |                           |  |
|---------------------------|--|
| 1. Оптимальное управление | А. Метод решения задачи оптимального управления  |
| 2. Условие оптимальности  | Б. Воздействие на систему, которое обеспечивает достижение наилучшего значения какого-либо заранее заданного показателя качества |
| 3. Принцип максимума      | В. Правило вычисления оптимальных управляющих действий   |

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соотнесите метод оптимизации с его характеристикой

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Линейное программирование     | А. Использует принципы естественного отбора                          |
| 2. Нелинейное программирование   | Б. Основывается на разбиении задачи на подзадачи                     |
| 3. Динамическое программирование | В. Применяется для оптимизации в задачах с нелинейными ограничениями |
| 4. Эволюционные алгоритмы        | Г. Ищет оптимальные решения в линейных системах                      |

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расположите этапы процесса оптимального управления

1. Выбор метода решения
2. Составление модели системы
3. Анализ и интерпретация результатов
4. Определение цели системы

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Упорядочите шаги при применении метода обратной индукции

1. Определение требуемых управляющих действий
2. Определение конечных условий
3. Решение уравнений от конечного к начальному моменту
4. Построение уравнений состояния

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
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)  $\|\lambda x\| = |\lambda| \cdot \|x\|$  (  $\lambda$  - 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)  $\|\lambda x\| = |\lambda| \cdot \|x\|$  (  $\lambda$  - постоянное число);  
 3)  $\|x + y\| > \|x\| + \|y\|$ .

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
 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)  $\rho(x, y) \geq \rho(x, z) + \rho(z, y)$  .

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
 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)  $\frac{dL}{dx} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = 0$ .

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 Какие методы используются для решения задач оптимального управления?

1. Линейное программирование
2. Градиентный спуск
3. Методы динамического программирования
4. Статистический анализ

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 Какие параметры могут быть оптимизированы в системе управления?

1. Время отклика системы
2. Затраты ресурсов
3. Качество выходных параметров
4. График работы сотрудников

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
 В каких задачах функционал имеет терминальную часть:

1. задача Майера
2. Задача Лагранжа

### 3. Задача Больца

#### ПК-6 - Способен к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

В чем особенность постановки задачи Больца на условный экстремум?

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Что такое простейшая задача вариационного исчисления

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите методы оптимального управления с их описаниями.

- |  |   |
|--|---|
| 1. Динамическое программирование         | А. Использует фиксированные значения параметров системы для нахождения минимального или максимального значения критерия |
| 2. Линейное программирование             | Б. Основывается на итеративном улучшении решения с учетом градиента целевой функции.                                    |
| 3. Метод градиентного спуска             | В. Применяется для задач с многоступенчатым временем и состояниями.   |
| 4. Метод прямого оптимального управления | Г. Фокусируется на нахождении оптимального управления через интерполяцию и численные методы                             |

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите вид критерия оптимальности и соответствующее название задачи оптимального управления

А.

1. Задача Лагранжа

$$J(x) = R(\vartheta, x(\vartheta))$$

Б.

2. Задача Майера

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

В.

3. Задача Больца

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

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите шаги процесса оптимизации с помощью градиентного спуска

1. Вычисление градиента функции
2. Обновление параметров
3. Инициализация параметров
4. Проверка условия сходимости

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Упорядочите процесс решения задачи оптимального управления с помощью принципа Максимума

1. Находятся граничные условия для сопряженной системы уравнений из условий трансверсальности
2. Составляется сопряженная система уравнений
3. Составляется формула для вычисления оптимального управления
4. Составляется функция Гамильтона

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Больца?

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

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Майера?

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

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой вид имеет функция Гамильтона для задачи Лагранжа?

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

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Выберите уравнения, представляющие собой канонический вид уравнения Эйлера

1.  $\frac{d\Psi}{dt} = \frac{\partial H}{\partial x}$  .
2.  $\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x}$ .
3.  $\frac{dx}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \Psi}$ .
4.  $\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \Psi}$  .

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Выберете задачи, которые могут быть решены методами оптимального управления

1. Подбор параметров передаточной функции системы управления ЛА.
2. Максимизация скорости полета в момент окончания активного участка полета
3. Максимальное смещение ЛА в заданном направлении
4. Выбор балансировочного угла атаки ЛА.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Каковы основные составляющие задачи оптимального управления?

1. Целевая функция
2. Ограничения
3. Начальные условия
4. Случайные величины