

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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	
5	9	4	144	51	34	0	17	93	36	0	57	диф. зач.

*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  
Теляков Рифат Фаридович, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

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  
БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**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-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности
ПСК-2 — способность разрабатывать методики исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов
ПСК-3 — способность проводить анализ летно-технических характеристик ЛА
ПСК-4 — способность определять назначения системы управления БПЛА

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-1**

знания:

на уровне представлений:

- основные типы орбит и классы орбитальных структур, используемых при баллистическом проектировании космических систем;

- методы выбора орбит и орбитальных структур;

- перспективы развития и совершенствования проектно-баллистических и целевых характеристик ракет и космических систем;

на уровне воспроизведения и понимания:

- методы баллистико-навигационного обеспечения полетов ракет;

- методические подходы к оптимизации программ управления движением ракет;

умения:

теоретически и практически:

- использовать методы баллистико-навигационного обеспечения полетов ракет, применять основные теоретические положения и методы при решении задач выбора компоновочных схем и программ управления движением ракет;

- применять основные теоретические положения и методы для выбора орбит и орбитальной структуры космических систем;

- составлять математические модели для расчета траекторий и исследования динамики движения ракет и космических аппаратов;

- составлять алгоритмы и программы для численного решения систем дифференциальных уравнений, определяющих движение

ракет и космических аппаратов;

- применять методы решения краевых задач баллистики;

- использовать методы обратных задач динамики для определения сил и моментов, необходимых для реализации заданных траекторий движения;

- применять методы оптимального управления для расчета оптимальных траекторий и синтеза оптимального управления;

навыки:

иметь навыки и владеть:

- формализации и решения практических задач в области выбора компоновочных схем ракет и программ управления их движением;

- баллистического проектирования космических систем различного целевого назначения по заданным требованиям к уровню решения целевых задач;

- использования методов разработки математических моделей, как для исследования траекторий движения с использованием упрощенных моделей, так и для исследования движения с учетом динамики работы элементов системы управления в целом;

- использования аналитических и численных методов анализа математических моделей и расчета параметров и характеристик

летательных аппаратов различных классов;

- решения задач оптимального управления;

- составления алгоритмов и программ для численного решения задач динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов.

### **ПСК-2**

знания:

на уровне представлений:

- методы выбора орбит и орбитальных структур;

на уровне воспроизведения и понимания:

- методы баллистико-навигационного обеспечения полетов ракет;

- методические подходы к оптимизации программ управления движением ракет;

умения:

теоретически и практически:

- использовать методы баллистико-навигационного обеспечения полетов ракет, применять основные теоретические положения и методы при решении задач выбора компоновочных схем и программ управления движением ракет;

- применять основные теоретические положения и методы для выбора орбит и орбитальной структуры космических систем;

- применять методы решения краевых задач баллистики;

- использовать методы обратных задач динамики для определения сил и моментов, необходимых для реализации заданных траекторий движения;

- применять методы оптимального управления для расчета оптимальных траекторий и синтеза оптимального управления;

навыки:

иметь навыки и владеть:

- использования методов разработки математических моделей, как для исследования траекторий движения с использованием упрощенных моделей, так и для исследования движения с учетом динамики работы элементов системы управления в целом;

- использования аналитических и численных методов анализа математических моделей и расчета параметров и характеристик

летательных аппаратов различных классов;

- составления алгоритмов и программ для численного решения задач динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов.

### **ПСК-3**

знания:

на уровне представлений:

- основные типы орбит и классы орбитальных структур, используемых при баллистическом проектировании космических систем;

- методы выбора орбит и орбитальных структур;

- перспективы развития и совершенствования проектно-баллистических и целевых характеристик ракет и космических систем;

умения:

теоретически и практически:

- применять основные теоретические положения и методы для выбора орбит и орбитальной структуры космических систем;

- составлять математические модели для расчета траекторий и исследования динамики движения ракет и космических аппаратов;

навыки:

иметь навыки и владеть:

- формализации и решения практических задач в области выбора компоновочных схем ракет и программ управления их движением;
- баллистического проектирования космических систем различного целевого назначения по заданным требованиям к уровню решения целевых задач;
- использования аналитических и численных методов анализа математических моделей и расчета параметров и характеристик летательных аппаратов различных классов.

#### **ПСК-4**

*знания:*

*знания:*

на уровне представлений:

- основные типы орбит и классы орбитальных структур, используемых при баллистическом проектировании космических систем;

- методы выбора орбит и орбитальных структур;

*умения:*

теоретически и практически:

- применять основные теоретические положения и методы для выбора орбит и орбитальной структуры космических систем;
- составлять алгоритмы и программы для численного решения систем дифференциальных уравнений, определяющих движение ракет и космических аппаратов;

- применять методы оптимального управления для расчета оптимальных траекторий и синтеза оптимального управления;

*навыки:*

иметь навыки и владеть:

- использования аналитических и численных методов анализа математических моделей и расчета параметров и характеристик летательных аппаратов различных классов;
- составления алгоритмов и программ для численного решения задач динамики полета и управления движением ракет и космических аппаратов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** 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, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ТЕОРИЯ ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В БАЛЛИСТИКЕ, МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ И КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ, СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЛЛИСТИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ДИНАМИКЕ ПОЛЕТА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен проводить системный и критический анализ мировых достижений в области ракетостроения и космической техники, тенденций развития навигационно-баллистического обеспечения применения космической техники
- 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-3 — Способен проводить анализ летно-технических характеристик ЛА
- ПСК-4 — Способен определять назначения системы управления БПЛА
- 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-1	ПСК-2	ПСК-3	ПСК-4
5	9	<b>Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.</b> 1.1 Численные методы интегрирования уравнений внешней баллистики. Точность расчетов и выбор шага интегрирования. 1.2 Приближенные аналитические методы: параболическая теория, эллиптическая теория. Подобие траекторий и табличные методы решения. 1.3 Математическая задача интерполирования. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Интерполяционные формулы Ньютона и Гаусса.	14	4	4	0	10	10	5	20	10
5	9	<b>Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.</b> 2.1 Особенности краевых задач баллистики и методы их решения. Метод Ньютона, градиентные методы, метод Стеффенсена. Расчет попадающих траекторий. Расчет установочных данных методом Ньютона. 2.2 Двухточечные краевые задачи с параметрическим управлением. Теорема Бернштейна о единственности решения краевой задачи. Методы решения.	17	6	4	2	11	10	20	5	10
5	9	<b>Раздел 3. Обратные задачи динамики.</b> 3.1 Концепция обратных задач динамики. Определение управляющих функций для решения краевой задачи динамики. 3.2 Определение начальных условий движения спускаемого летательного аппарата, обеспечивающих попадание в заданную точку прицеливания.	26	8	4	4	18	10	15	5	10
5	9	<b>Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.</b> 4.1 Применение принципа максимума для расчета оптимальных траекторий. Оптимальная программа выведения на орбиту. 4.2 Применение принципа максимума для расчета оптимальных траекторий. Максимизация скорости баллистической ракеты в конце активного участка. 4.3 Применение метода динамического программирования. Задача о максимуме наклонной дальности полета.	28	10	6	4	18	20	15	15	20
5	9	<b>Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.</b> 5.1 Особенности баллистического проектирования ЗУР. Схема баллистического расчета. Выбор опорной траектории ЗУР. 5.2 Развитие методов наведения ЗУР. Наведение ЗУР на основе методов оптимального управления. Применение методов теории дифференциальных игр для наведения ЗУР на маневрирующую цель. 5.3 Наведение группы ЗУР на группу маневрирующих целей в виде иерархической дифференциальной игры. Бескоалиционный вариант. 5.4 Наведение группы ЗУР на группу маневрирующих целей в виде иерархической дифференциальной игры. Коалиционный вариант.	30	12	8	4	18	30	35	25	25
5	9	<b>Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.</b> 6.1 Формирование рабочих орбит. Допущения при выборе схемы формирования рабочих орбит. Схемы формирования рабочих орбит. 6.2 Маневр в плоскости орбиты. Маневр изменением плоскости орбиты. Комбинированный маневр при выводе КА на стационарную орбиту. 6.3 Управление КА на этапе дальнего наведения. Схемы управления движением центра масс КА при выполнении задачи встречи. Фазирование КА и области досягаемости. Краевая задача на участке дальнего наведения. 6.4 Управление КА на этапе ближнего наведения. Методы наведения на участке сближения. 6.5 Формирование оптимальных программ сближения.	29	11	8	3	18	20	10	30	25
Всего за 9 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100	100
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.	Решение краевой задачи баллистики	2
2	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	Определение оптимальной программы управления на основе обратной задачи динамики	4
3	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	Оптимальная программа управления спускаемого летательного аппарата при наведении в заданную точку прицеливания	4
4	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	Игровой метод наведения ЗУР на маневрирующую цель	4
5	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	Управление космическим аппаратом на участке дальнего наведения	3
<b>Всего за 9 семестр</b>			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение этапа 1 курсового проекта.	10
2	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №1. Выполнение этапа 1 курсового проекта.	11
3	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	18
4	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №3. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	18
5	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	18
6	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	18
<b>Всего за 9 семестр</b>			93

### 3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Этап 1. Получение задания на курсовой проект (КП). Проведение анализа литературы по индивидуальному заданию на КП. 1.1 Задание на КП включает в себя: постановку задачи исследования, выбор объекта исследования, выбор для разработки вида математической модели исследуемой системы/исследуемого процесса, выбор языка программирования/среды программирования/пакета прикладных программ для программной/физической реализации модели исследуемой (проектируемой) системы, выбор методов для проведения анализа результатов проведенного математического/численного/экспериментального моделирования. 1.2 Изучение литературных источников, методических материалов, нормативных документов по индивидуальному заданию на КП. 1.3 Осуществление сбора, обработки, анализа и систематизации информации в соответствии с индивидуальным заданием на тему КП.	1 - 4	6
Этап 2. Этап 2. Разработка методики и средств решения задачи. Анализ результатов. 2.1 Постановка задачи исследования в математической терминологии. 2.2 Разработка алгоритма решения задачи. 2.3 Разработка математической модели исследуемой системы/исследуемого процесса. 2.4 Разработка программного кода/методов физической реализации/настройка параметров пакета прикладных программ исследуемой системы/исследуемого процесса. 2.5 Реализация разработанной программы на ПК/проведение моделирования в пакете прикладных программ/проведение физического моделирования (испытания аппаратного макета). 2.6 Анализ результатов исследований. 2.7 Оформление отчетных материалов по результатам выполнения индивидуального задания по КП (Оформление пояснительной записки и презентации к докладу).	4 - 16	30
<b>Всего за 9 семестр</b>		36

## 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
9				ТекК, Отч. по ПЗ	КП	ДР				ДР			Отч. по ПЗ, ТекК			ДР	КП, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- КП – курсовой проект;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 36 экз.
2. А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика. М.: Машиностроение, 2005, 99 экз.
3. А. А. Самарский, А. В. Гулин. . Численные методы. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989, 9 экз.
4. А. С. Шалыгин, В. А. Санников, И. Л. Петрова. . Динамика и навигация космических аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007, 169 экз.
5. А. С. Шалыгин, Л. Н. Лысенко, О. А. Толпегин. . Методы моделирования ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 2012, 50 экз.
6. А. С. Шалыгин, С. А. Кабанов, В. А. Санников. . Автоматизация расчёта траектории ЛА. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 110 экз.
7. Е. А. Микрин, Ф. В. Звягин. . Введение в механику полета и управление космическими аппаратами. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, эл. рес.
8. О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 70 экз.
9. О. А. Толпегин. . Дифференциально-игровые методы управления движением беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009, 10 экз.
10. Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика летательных аппаратов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982, 42 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.

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

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <https://ibooks.ru> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
3. <http://www.tnt-ebook.ru> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
4. <http://library.voenmeh.ru> — 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. образцы РКТ;
2. 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 **БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ** 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-1 способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности;  
ПСК-2 способность разрабатывать методики исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов;  
ПСК-3 способность проводить анализ летно-технических характеристик ЛА;  
ПСК-4 способность определять назначения системы управления БПЛА.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с процедурой определения предварительных параметров летательного аппарата или космического аппарата на основе упрощенных математических моделей и последующее уточнение параметров за счёт исследования траектории движения, выбора алгоритма и программы управления движением, аэродинамического облика летательного аппарата, начальных и граничных условий с использованием методов решения краевых задач внешней баллистики, методов обратных задач динамики для определения сил и моментов, необходимых для реализации заданных траекторий движения, методов оптимального управления и методов теории дифференциальных игр.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

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. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение этапа 1 курсового проекта.	А. С. Шальгин, С. А. Кабанов, В. А. Санников. . Автоматизация расчёта траектории ЛА: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (Глава 1) А. А. Самарский, А. В. Гулин. . Численные методы: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989 (Глава 3) А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Глава 5)	10
Итого по разделу 1		10
<b>Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №1. Выполнение этапа 1 курсового проекта.	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Подраздел 6.1) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 1)	11
Итого по разделу 2		11
<b>Раздел 3. Обратные задачи динамики.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Подраздел 6.2) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 4)	18
Итого по разделу 3		18
<b>Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №3. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика летательных аппаратов: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982 (Глава 2) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 3) А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Подраздел 6.4)	18
Итого по разделу 4		18
<b>Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (Глава 3) О. А. Толпегин. . Дифференциально-игровые методы управления движением беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (Подраздел 4.5) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 5) А. С. Шальгин, Л. Н. Лысенко, О. А. Толпегин. . Методы моделирования ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов: М.: Машиностроение, 2012 (Подраздел 8.2, 8.3)	18
Итого по разделу 5		18
<b>Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5. Выполнение этапа 2 курсового проекта.	А. С. Шальгин, В. А. Санников, И. Л. Петрова. . Динамика и навигация космических аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007 (Глава 1, 2) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 2) Е. А. Микрин, Ф. В. Звягин. . Введение в механику полета и управление космическими аппаратами: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (Глава 6, 7)	18
Итого по разделу 6		18

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- курсовой проект;
- вопросы для текущего контроля;
- отчет по практическому заданию;
- дифференцированный зачет.

### 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.

#### Курсовой проект

Критерии оценки защиты КП:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП и ответил на все вопросы комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП и ответил на 50% вопросов комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП, но не ответил на вопросы комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «не защитил» выставляется обучающемуся, если он не решил все задачи, поставленные перед ним в КП.

Перечень тем курсовых проектов представлен в УМК дисциплины.

#### Вопросы для текущего контроля

- 1) Численные методы интегрирования уравнений внешней баллистики.
- 2) Приближенные аналитические методы: параболическая теория.
- 3) Приближенные аналитические методы: эллиптическая теория.
- 4) Особенности краевых задач баллистики и методы их решения.
- 5) Метод Ньютона. Расчет установочных данных методом Ньютона.
- 6) Метод Стеффенсена.
- 7) Двухточечные краевые задачи с параметрическим управлением. Методы решения.
- 8) Концепция обратных задач динамики. Определение управляющих функций для решения краевой задачи динамики.
- 9) Определение начальных условий движения спускаемого летательного аппарата, обеспечивающих попадание в заданную точку прицеливания.
- 10) Применение принципа максимума для расчета оптимальных траекторий. Оптимальная программа выведения на орбиту.
- 11) Максимизация скорости баллистической ракеты в конце активного участка с использованием принципа максимума.
- 12) Применение метода динамического программирования. Задача о максимуме наклонной дальности полета.
- 13) Особенности баллистического проектирования ЗУР. Схема баллистического расчета. Выбор опорной траектории ЗУР.
- 14) Наведение ЗУР на основе методов оптимального управления.
- 15) Применение методов теории дифференциальных игр для наведения ЗУР на маневрирующую цель.
- 16) Наведение группы ЗУР на группу маневрирующих целей в виде иерархической дифференциальной игры. Бескоалиционный вариант.
- 17) Наведение группы ЗУР на группу маневрирующих целей в виде иерархической дифференциальной игры. Коалиционный вариант.
- 18) Формирование рабочих орбит. Допущения при выборе схемы формирования рабочих орбит. Схемы формирования рабочих орбит.
- 19) Маневр в плоскости орбиты. Маневр изменением плоскости орбиты.
- 20) Комбинированный маневр при выводе КА на стационарную орбиту.
- 21) Управление КА на этапе дальнего наведения. Схемы управления движением центра масс КА при выполнении задачи встречи.
- 22) Фазирование КА и области досягаемости. Краевая задача на участке дальнего наведения.
- 23) Управление КА на этапе ближнего наведения. Методы наведения на участке сближения.
- 24) Формирование оптимальных программ сближения.

Текущий контроль усвоения учебного материала по разделу дисциплины проводится в форме ответов на вопросы для текущего контроля. В случае правильного ответа на заданный вопрос, контроль считается пройденным

#### Отчет по практическому заданию

Допуск к практической работе (ПР) не требуется. Обучающийся обязан выполнять все ПР в срок, сдать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

Практическая работа считается выполненной, если обучающийся полностью выполнил все задания, указанные в задании для ПР. Отчет по практической работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практической работе. Защита отчета проходит в форме доклада обучающегося по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

При оформлении ПР требуется руководствоваться следующими рекомендациями:

ПР выполняются на листах бумаги формата А4.

На титульном листе указываются название дисциплины, тема ПР, фамилия и инициалы студента и преподавателя, номер группы, номер и вариант задания.

В начале описательной части 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 в соответствии с требованиями ПР представляются 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. Результаты машинного счета оформляются в виде приложения.

По каждой ПР обучающийся должен представить выводы на основании выполненных расчетов.

Обучающийся обязан выполнять все ПР в срок и сдавать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

В случае, если оформление отчета и поведение обучающегося во время защиты соответствуют указанным требованиям, он получает максимальное количество баллов (5).

Основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от max (5) до min (3) являются:

- небрежное выполнение отчета по ПР,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),

- ответы не на все вопросы преподавателя по теме ПР.
- Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:
- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала

#### **Дифференцированный зачет**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме дифференцированного зачета, который проставляется при условии выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий по результатам работы в семестре. Оценка за дифференцированный зачет выставляется, как среднее арифметическое суммарных оценок, полученных обучающимися за выполнение практических работ.

Критерии оценивания дифференцированного зачета :

- оценка «зачтено - отлично» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое оценок, полученных им за выполнение пяти практических работ равно 4.5 баллов и выше;
- оценка «зачтено - хорошо» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое оценок, полученных им за выполнение пяти практических работ находится в пределах 3.5 - 4.4 балла;
- оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое оценок, полученных им за выполнение пяти практических работ находится в пределах 2.4 балла и ниже;
- во всех других случаях обучающемуся выставляется оценка «зачтено - 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		ОПК-1	ПСК-2	ПСК-3	ПСК-4	
5	9	Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.	14	4	4	0	10	10	5	20	10	Вопросы для текущего контроля, Курсовой проект
5	9	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.	17	6	4	2	11	10	20	5	10	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
5	9	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	26	8	4	4	18	10	15	5	10	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
5	9	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	28	10	6	4	18	20	15	15	20	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
5	9	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	30	12	8	4	18	30	35	25	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
5	9	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	29	11	8	3	18	20	10	30	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию, Курсовой проект
Всего за 9 семестр			144	51	34	17	93	100	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	34	17	93	100	100	100	100	

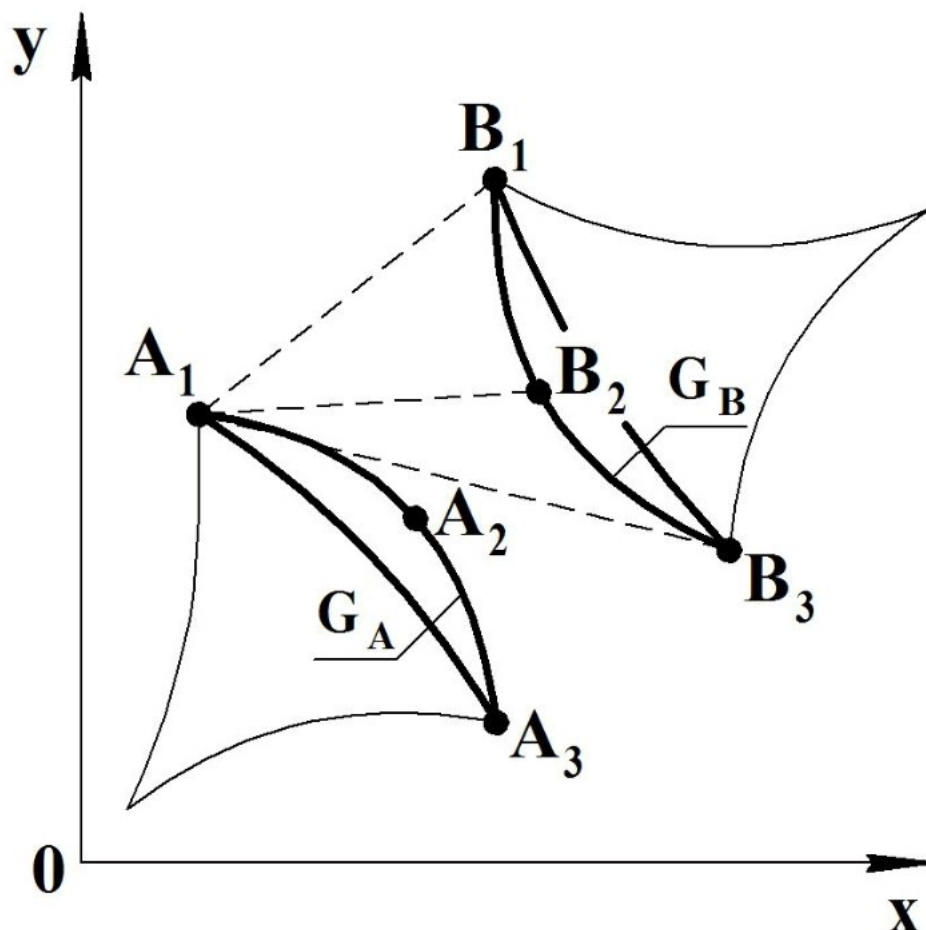
## Критерии оценивания

### ОПК-1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Сколько возможных параболических траекторий полета неуправляемого ЛА можно построить для заданных координат начальной и конечной точек при отсутствии дополнительных ограничений на траекторию?
- № 2 Сколько раз надо вычислить значение функции на одном шаге интегрирования методом Рунге-Кутты четвертого порядка?
- № 3 Скорость сходимости метода последовательных приближений Крылова-Черноуцкого зависит от \_\_\_\_\_.
- № 4 Сколько точек внешней границы области достижимости ЗУР можно точно определить простым интегрированием уравнений движения с постоянным управлением?
- № 5 На рисунке изображены области достижимости БПЛА ( $G_A$ ) и цели ( $G_B$ ) для текущего момента времени. Выберите  $\min$  гипотетический промах БПЛА ( $A$ ) при наведении на цель ( $B$ ) при использовании метода экстремального прицеливания Красовского, если

$$\begin{aligned} A_1B_1 &= 120 \text{ м}; & A_1B_2 &= 100 \text{ м}; & A_1B_3 &= 150 \text{ м}; \\ A_2B_1 &= 110 \text{ м}; & A_2B_2 &= 50 \text{ м}; & A_2B_3 &= 130 \text{ м}; \\ A_3B_1 &= 140 \text{ м}; & A_3B_2 &= 90 \text{ м}; & A_3B_3 &= 70 \text{ м}. \end{aligned}$$



- № 6 Перечислите основные операции алгоритма решения двухуровневой некооперативной дифференциально - игровой задачи сближения группы БПЛА с группой целей.
- № 7 Перечислите основные операции алгоритма решения задачи внешней баллистики с использованием метода последовательных приближений Крылова-Черноуцкого.
- № 8 Перечислите основные достоинства метода Рунге-Кутты для численного интегрирования уравнений движения ЛА.
- № 9 В чем заключается принцип максимума Понтрягина?
- № 10 Что называется оптимальной программой выведения ЛА на орбиту?

Вопросы закрытого типа:

- № 1 В каком методе численного интегрирования уравнений движения ЛА используется метод «прогноза-коррекции»?

- 1) метод Рунге-Кутты;
- 2) явный метод Адамса-Башфорта;
- 3) неявный метод Адамса-Моултона;
- 4) метод Эйлера;
- 5) метод Эйлера модифицированный.

- № 2 Порядок погрешности интегрирования методом Эйлера с шагом  $h$ ?



- 1)  $h$ ;
- 2)  $h^2$ ;
- 3)  $h^3$ ;
- 4)  $h^4$ ;
- 5)  $h^5$ .

№ 3 Разновидность краевой задачи внешней баллистики при которой задаются начальные условия в точке старта ЛА и граничные условия в точке окончания движения ЛА:

- 1) краевая задача прицеливания;
- 2) многоточечная краевая задача;
- 3) трехточечная краевая задача;
- 4) двухточечная краевая задача;
- 5) краевая обратная задача динамики полета.

№ 4 Метод численного интегрирования Адамса основан на:

- 1) аппроксимации методом наименьших квадратов;
- 2) разложении в ряд Тейлора;
- 3) параболической интерполяции;
- 4) методе конечных элементов;
- 5) методе половинного деления.

№ 5 Что определяет уравнение?

$$\left[ \frac{\partial J}{\partial t} - H \right] \Big|_{t=\vartheta} \delta \vartheta = 0$$

- 1) выражение для оптимального управления;
- 2) функцию Гамильтона;
- 3) условие трансверсальности по фазовым координатам;
- 4) условие трансверсальности по времени;
- 5) условие трансверсальности по управлению.

№ 6 Как должны соотноситься весовые коэффициенты в функционале вида:

$$J = k_x \cdot (x(\vartheta) - x_{\text{зад}})^2 + k_v \cdot (V(\vartheta) - V_{\text{зад}})^2 + k_\Theta \cdot (\Theta(\vartheta) - \Theta_{\text{зад}})^2$$

для решения задачи выведения ЛА в заданную область прицеливания (где  $x$  – дальность полета,  $V$  – скорость полета,  $\Theta$  – угол наклона вектора скорости)?

- 1)  $k_x > k_v > k_\Theta$ ;
- 2)  $k_x < k_v > k_\Theta$ ;
- 3)  $k_x > k_v = k_\Theta$ ;
- 4)  $k_x < k_v < k_\Theta$ ;
- 5)  $k_x = k_v = k_\Theta$ .

№ 7 При использовании принципа максимума Понтрягина функция Гамильтона имеет вид:

$$H = H_0 + H_1 \cdot \alpha.$$

Выберите **ошибочные** варианты управления:

- 1)  $\alpha = \alpha_{\max}$ , если  $H_1 > 0$ ;
- 2)  $\alpha = \alpha_{\max}$ , если  $H_1 < 0$ ;
- 3)  $\alpha = \alpha_{\min}$ , если  $H_1 > 0$ ;
- 4)  $\alpha = \alpha_{\min}$ , если  $H_1 < 0$ ;
- 5)  $\alpha = 0$ , если  $H_0 = 0$ .

№ 8 При полете ЛА на максимальную дальность оптимальный угол наклона вектора тяги в процессе движения должен:

- 1) принимать любое значение;
- 2) линейно увеличиваться от 0 до максимального значения;
- 3) оставаться постоянным;
- 4) линейно убывать от максимального значения до 0;
- 5) изменяться ступенчато от 0 до максимального значения в момент времени  $t^*$ .

№ 9 При каком методе пропорциональной навигации при равномерном и прямолинейном полете цели и ракеты текущий промах на протяжении всего времени движения ракеты равен нулю (этот метод на практике в чистом виде не используется)?

- 1) PPN;
- 2) TPN;
- 3) IPN;
- 4) PPN-I;
- 5) параллельного сближения.

№ 10 Необходимые условия в определении области достижимости ЛА следующие:

- 1) заданный момент времени;
- 2) заданное ограничение на управление;
- 3) заданная программа управления;
- 4) заданная начальная точка;
- 5) заданная конечная точка.

#### ПСК-2

Вопросы открытого типа:

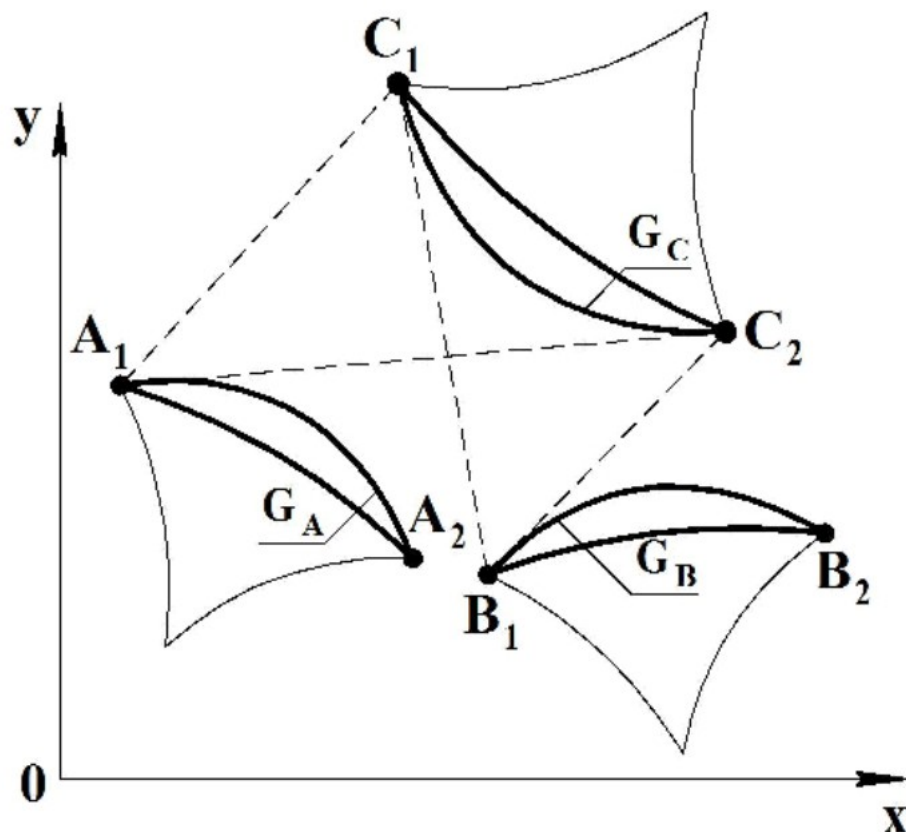
№ 1 Чему равен коэффициент пропорциональности при реализации метода погони в методе пропорциональной навигации?

№ 2 Как вычислить наиболее точные границы области достижимости ЛА?

№ 3 Разновидность метода пропорциональной навигации, при котором требуемое нормальное ускорение ракеты формируется ортогонально вектор относительной скорости цели?

№ 4 На рисунке изображены по две точки на областях достижимости двух БПЛА ( $G_A$  и  $G_B$ ) и цели ( $G_C$ ) для текущего момента времени. Выберите гипотетические промахи БПЛА (А и В) при наведении на цель (С) для коалиционной дифференциально-игровой задачи сближения, если

$$\begin{aligned} A_1C_1 &= 50 \text{ м}; & A_1C_2 &= 70 \text{ м}; \\ A_2C_1 &= 80 \text{ м}; & A_2C_2 &= 60 \text{ м}; \\ B_1C_1 &= 100 \text{ м}; & B_1C_2 &= 40 \text{ м}; \\ B_2C_1 &= 120 \text{ м}; & B_2C_2 &= 90 \text{ м}. \end{aligned}$$



№ 5 Какой метод пропорциональной навигации определяет уравнение требуемого управляющего ускорения

$$\overline{W}_y^{тр} = K_M \cdot V_p \cdot \overline{\Omega} \times \overline{I}_r.$$

$V_p$  – скорость ракеты;

$\overline{I}_r$  – единичный вектор относительной дальности цели;

$\overline{\Omega}$  – вектор скорости вращения линии визирования.

№ 6 Перечислите основные операций алгоритма решения дифференциально - игровой задачи «сближения-уклонения» БПЛА с целью.

№ 7 Перечислите несколько способов построения внешней границы области достижимости.

№ 8 Какие оптимальные программы работы двигателя получаются при решении модельной задачи об оптимальном выведении ЛА на орбиту?

№ 9 Перечислите основные виды и дайте краткую характеристику маневров орбитального перехода.

№ 10 Какие основные этапы входят в схему баллистического расчета ЛА?

*Вопросы закрытого типа:*

№ 1 Приближенное представление сложной или заданной в виде таблицы функции более простой функциональной зависимостью, имеющей минимальное отклонение от исходной функции в заданных узлах называется:

- 1) интерполяция;
- 2) аппроксимация;
- 3) дифференцирование;
- 4) экстраполяция;
- 5) дискретизация.

№ 2 Какую формулу применяют для интерполирования в конце таблицы с заданными значениями?

- 1) интерполяционный многочлен Лагранжа;
- 2) первая интерполяционная формула Ньютона;
- 3) вторая интерполяционная формула Ньютона;
- 4) первая интерполяционная формула Гаусса;
- 5) вторая интерполяционная формула Гаусса.

№ 3 Сопоставьте уравнения и метод численного интегрирования систем дифференциальных уравнений:

$$1 \quad y_{n+1} = y_n + \frac{h}{6} \cdot (k_1 + 2 \cdot k_2 + 2 \cdot k_3 + k_4);$$

$$2 \quad y_{n+1} = y_n + h \cdot k_1;$$

$$3 \quad y_{n+1} = y_n + \frac{h}{24} \cdot (9 \cdot f_{n+1} + 19 \cdot f_n - 5 \cdot f_{n-1} + f_{n-2});$$

$$4 \quad y_{n+1} = y_n + \frac{h}{24} \cdot (55 \cdot f_n - 59 \cdot f_{n-1} + 37 \cdot f_{n-2} - 9 \cdot f_{n-3});$$

$$5 \quad y_{n+1} = y_n + \frac{h}{2} \cdot (k_1 + k_2).$$

А – явный метод Адамса-Бошфорда;

Б – неявный метод Адамса-Моултона;

В – метод Рунге-Кутты;

Г – метод Эйлера улучшенный;

Д – метод Эйлера стандартный.

№ 4 В методе Крылова-Черноустько при численном интегрировании сопряженной системы дифференциальных уравнений параметры движения ЛА шаге интегрирования можно (выберите верные варианты):

- 1) они здесь не нужны;
- 2) взять постоянными, равными начальным условиям;
- 3) считать из памяти ЭВМ, записанной при интегрировании уравнений движения ЛА;
- 4) получать из условий трансверсальности;
- 5) получать из совместного интегрирования с уравнениями движения ЛА.

№ 5 Сколько условий имеет оптимальное управление при использовании принципа максимума Понтрягина для функции Гамильтона вида

$$H = H_0 + H_1 \cdot \alpha.$$

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4
- 5) зависит от  $H_0$ .

№ 6 При оптимальной программе выведения ЛА на орбиту в плоскопараллельном поле притяжения тангенс угла тангажа должен быть:

- 1) постоянным;
- 2) ступенчатой функцией;
- 3) линейной функцией времени;
- 4) квадратичной функцией времени;
- 5) любым.

№ 7 Оператор, определяющий эволюцию во времени динамической системы:

- 1) след матрицы;
- 2) матрица Гамильтона-Якоби;
- 3) корреляционная матрица;
- 4) скобки Пуассона;
- 5) характеристическое число.

№ 8 Метод Ньютона для решения задач оптимального управления основан на:

- 1) принципе максимума Понтрягина;
- 2) теории чувствительности;
- 3) методе одномерной минимизации;
- 4) теореме Бернштейна;
- 5) аппарате скобок Пуассона.

№ 9 Что определяет уравнение?

$$\bar{y} = \bar{x} \cdot \sum_{i=1}^n [A_i \cdot (1 - \bar{x})^i] + \frac{1}{2} \cdot k \cdot [\bar{x} \cdot (1 - \bar{x})]^2$$

- 1) интерполяционный многочлен Лагранжа;
- 2) попадающую траекторию;
- 3) настильную траекторию;
- 4) метод пропорциональной навигации;
- 5) параболическую траекторию.

№ 10 Для двухуровневой безкоалиционной дифференциально-игровой задачи сближения группы  $m$  БПЛА с группой  $n$  целей для игрока первого урс (командного пункта управления) сопоставьте условия для команд:

$$1 \sum_{j=1}^n \chi_{1j}(t) = 1;$$

$$2 \sum_{i=1}^m \chi_{i1}(t) = m;$$

$$3 \sum_{i=1}^m \chi_{ij}(t) = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$4 \quad 0 \leq \sum_{i=1}^m \chi_{ij}(t) \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

$$5 \quad 1 \leq \sum_{i=1}^m \chi_{ij}(t), \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

А –  $m < n$ ;

Б –  $m > n$ ;

В –  $m = 1$ ;

Г –  $n = 1$ ;

Д –  $m = n$ .

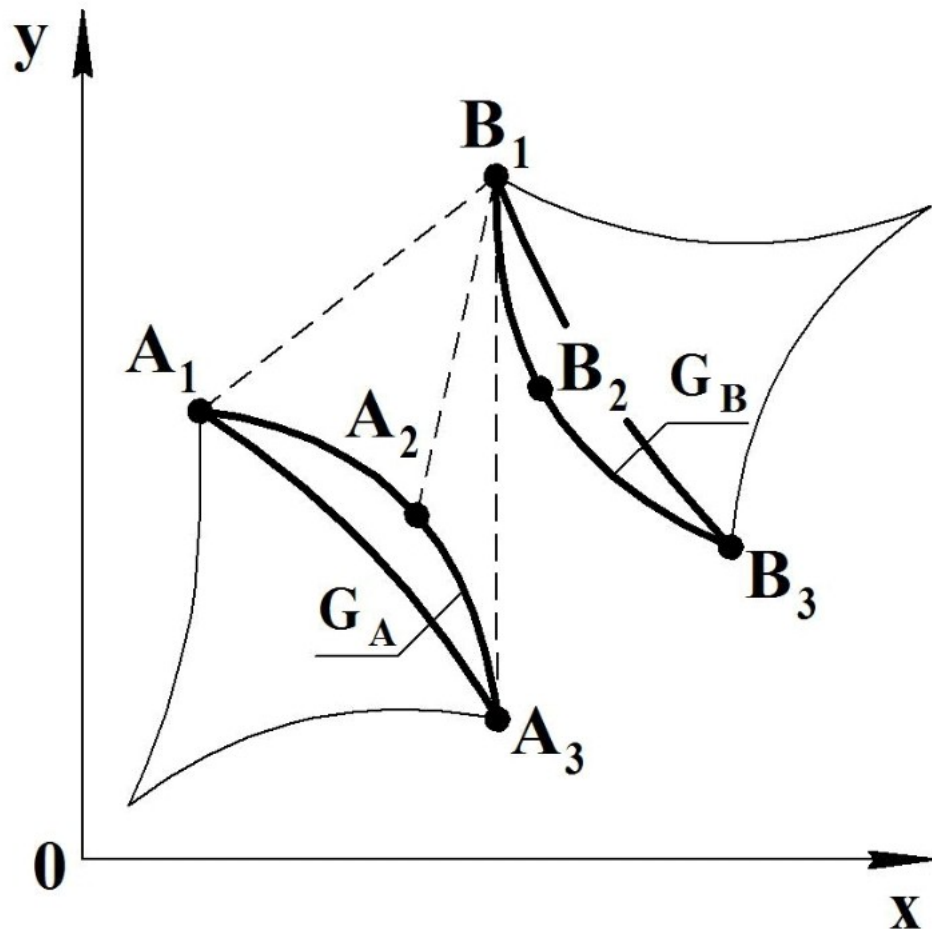
#### ПСК-3

Вопросы открытого типа:

№ 1 Метод \_\_\_\_\_ используется для решения задач оптимального управления при наличии неполного вектора начальных и граничных условий.

№ 2 На рисунке изображены области достижимости БПЛА (GA) и цели (GB) для текущего момента времени. Выберите максимум гипотетический прицел (В) при уклонении от БПЛА (А) при использовании метода экстремального прицеливания Красовского, если

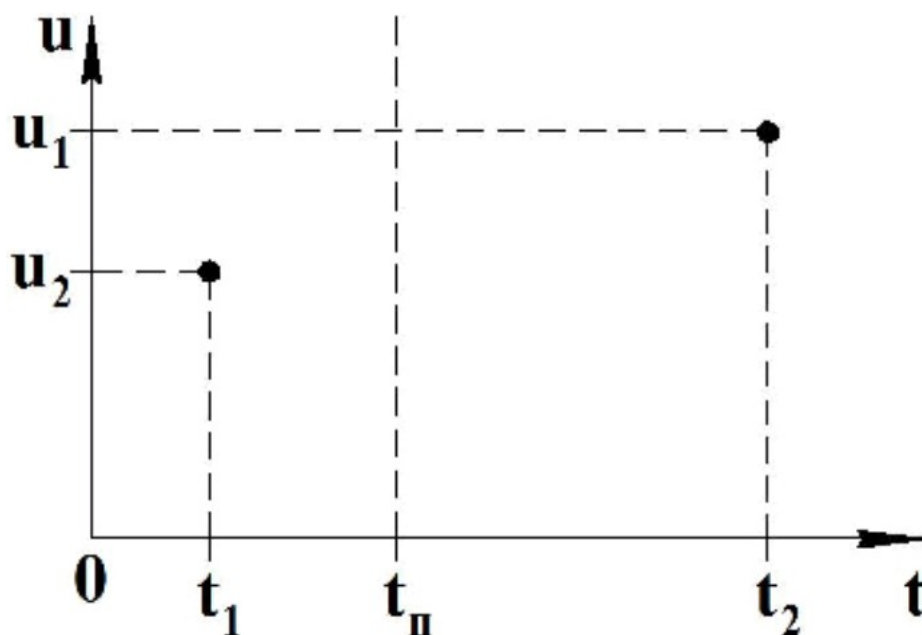
$B_1A_1=120$  м;  $B_1A_2=110$  м;  $B_1A_3=140$  м;  
 $B_2A_1=100$  м;  $B_2A_2=50$  м;  $B_2A_3=90$  м;  
 $B_3A_1=150$  м;  $B_3A_2=130$  м;  $B_3A_3=70$  м.



№ 3 Получено измерение величины  $u(t)$  в двух точках:

- при  $t_1=1$  сек  $u_1=4$  ед;
- при  $t_2=7$  сек  $u_1=22$  ед.

Чему равняется значение величины  $u$  в момент времени  $t_p=3$  сек, полученное из интерполяции результатов измерений?



№ 4 Какой максимальной степени можно построить полином с использованием интерполяционного многочлена Лагранжа, если имеются результат измерений искомого параметра в 10 точках?

№ 5 Какой интерполяционный многочлен определяет уравнение?

$$L_n(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + \dots + a_n \cdot x^n$$

№ 6 Перечислите основные операций алгоритма решения задачи внешней баллистики с использованием метода Ньютона.

№ 7 Поясните назначение весовых коэффициентов и необходимости возведения в квадрат в критерии оптимальности (функционале), используемом в решении задачи о выведении ЛА в заданную область прицеливания:

$$J = k_x (x(\vartheta) - x_{\text{зад}})^2 + k_y (y(\vartheta) - y_{\text{зад}})^2 + k_\theta (\theta(\vartheta) - \theta_{\text{зад}})^2 + k_v (V(\vartheta) - V_{\text{зад}})^2$$

№ 8 При каком условии дифференциально - игровые методы наведения имеют преимущество перед методом пропорциональной навигации?

№ 9 Что такое эллипс Хомана?

№ 10 В чем сложность использования метода параллельного сближения?

*Вопросы закрытого типа:*

№ 1 Траектория, удовлетворяющая заданным граничным условиям с учетом конструктивных ограничений, накладываемых разработчиками на выбор траектории, под которую «настраивают» установочные данные системы управления называется:

- 1) попадающая траектория;
- 2) возмущенная траектория;
- 3) параболическая траектория;
- 4) программная траектория;
- 5) оптимальная траектория.

№ 2 Если в задаче расчета траектории размерность  $K$  вектора-столбца  $n$  установочных данных ЛА соответствует размерности  $L$  вектора-столбца  $q$  условий ЛА, то есть  $K=L$ , то:

- 1) решение задачи отсутствует;
- 2) имеем задачу поиска условного экстремума функции многих переменных;
- 3) имеем задачу оптимального управления;
- 4) имеем задачу синтеза облика ЛА;
- 5) имеем краевую задачу.

№ 3 Теорема Бернштейна используется для доказательства:

- 1) что для произвольной структуры математической модели ЛА может быть получено единственное решение краевой задачи;
- 2) что граничных условий движения ЛА достаточно для решения обратной задачи поиска недостающих начальных условий;
- 3) что установочных данных ЛА достаточно для расчета попадающей траектории;
- 4) что расчетная траектория выведения ЛА в заданную область прицеливания является оптимальной;
- 5) что принятые допущения в математической модели ЛА не вносят существенных искажений в результаты расчета.

№ 4 Модельные задачи оптимального управления ЛА решаются для:

- 1) предварительного определения необходимых начальных условий;
- 2) определения облика ЛА;
- 3) определения структуры оптимального управления;
- 4) определения коэффициентов функции Гамильтона;
- 5) определения характера попадающей траектории.

№ 5 Сопоставьте выражения и условия для оптимального управления, полученного на основе принципа максимума Понтрягина для функции Гами

$$H = H_0 + H_1 \cdot a^2 + H_2 \cdot a.$$

$$1 \quad a^*(t) = -H_2 / (2 \cdot H_1);$$

$$2 \quad a_{\max};$$

$$3 \quad -a_{\max};$$

$$4 \quad \pm a_{\max};$$

5 особое управление.

$$A - H_1 \geq 0, H_2 < 0;$$

$$Б - H_1 < 0;$$

$$В - H_1 = 0, H_2 = 0;$$

$$Г - H_1 \geq 0, H_2 > 0;$$

$$Д - H_1 \geq 0, H_2 = 0.$$

№ 6 Что относится к методам одномерной минимизации:

- 1) метод Крылова-Черноусько;
- 2) метод золотого сечения;
- 3) метод наименьших квадратов;
- 4) метод половинного деления;
- 5) метод Красовского.

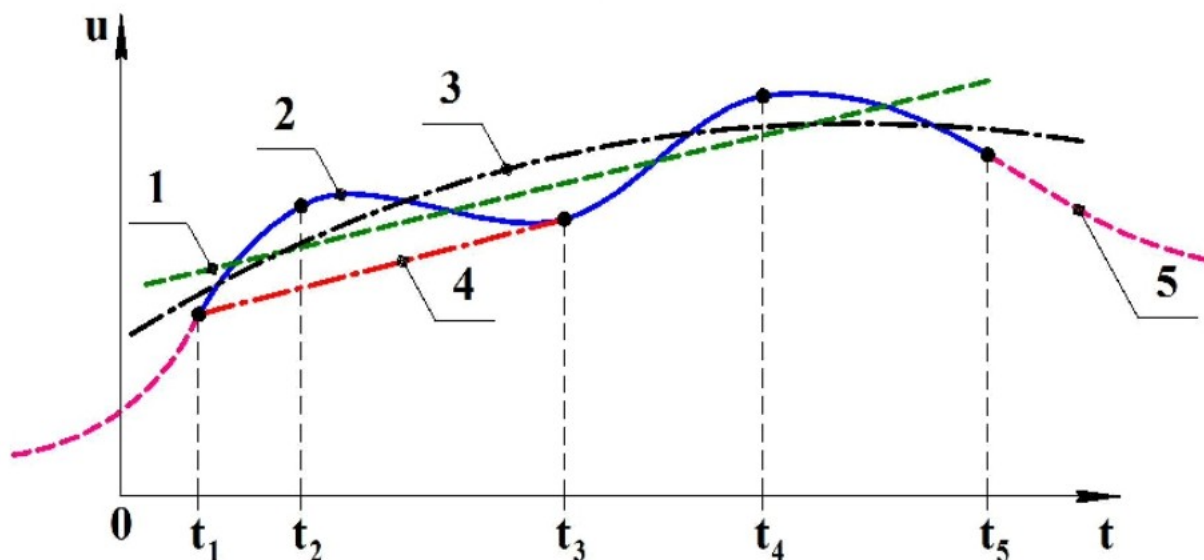
№ 7 Что определяет уравнение?

$$\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial z}$$

- 1) уравнение сопряженной системы;
- 2) функцию Гамильтона;
- 3) условие трансверсальности по фазовым координатам;
- 4) условие трансверсальности по времени;
- 5) особое управление.

№ 8 С использованием измерительных средств получено измерение величины  $u(t)$  в пяти точках. Сопоставьте графики функции, приведенных на рисунке, с используемым методом обработки результатов измерений.





А – экстраполяция;

Б – параболическая интерполяция;

В – линейная интерполяция;

Г – линейная аппроксимация;

Д – параболическая аппроксимация.

№ 9 Что лучше применить для интерполирования функции в середине таблицы с заданными значениями?

- 1) интерполяционный многочлен Лагранжа;
- 2) первая интерполяционная формула Ньютона;
- 3) вторая интерполяционная формула Ньютона;
- 4) первая интерполяционная формула Гаусса;
- 5) вторая интерполяционная формула Гаусса.

№ 10 Что служит условием сходимости итерации при решении задачи методом последовательных приближений Крылова-Черноусько:

- 1) увеличение критерия оптимальности;
- 2) уменьшение критерия оптимальности;
- 3) уменьшение значения параметра  $S$ ;
- 4) увеличение значения параметра  $S$ ;
- 5) окончание времени интегрирования.

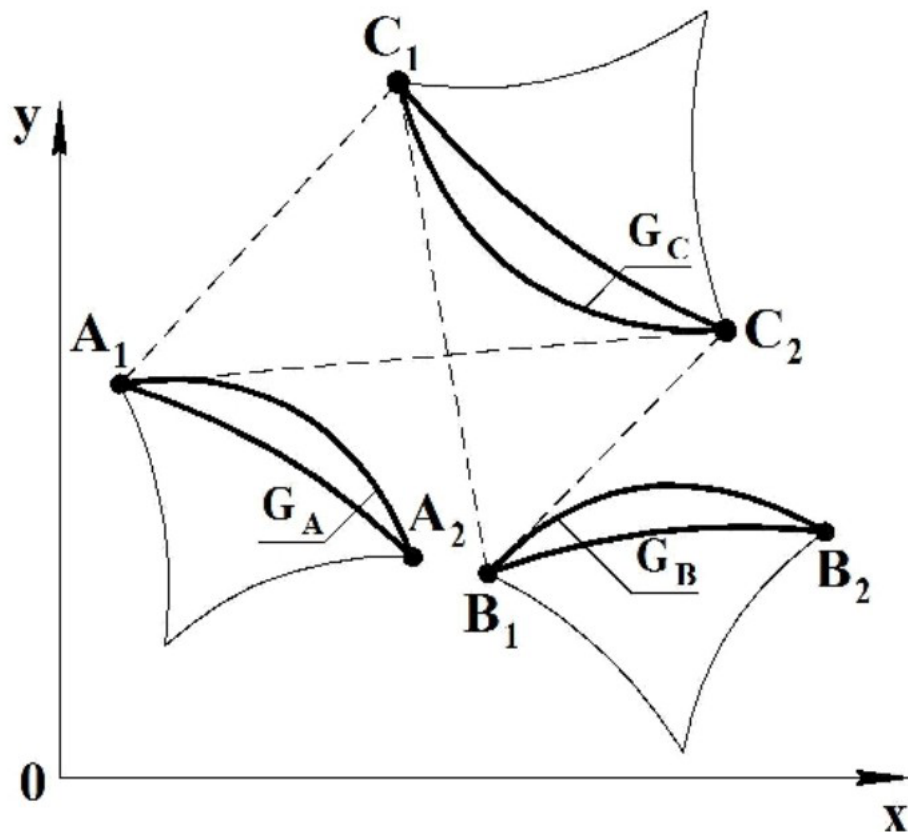
#### ПСК-4

Вопросы открытого типа:

№ 1 Сколько всего существует условий трансверсальности для поиска граничных условий сопряженной системы дифференциальных уравнений?

№ 2 На рисунке изображены по две точки на областях достижимости двух БПЛА (GA и GB) и цели (GC) для текущего момента времени. Выберите minmax гипотетические промахи БПЛА (A и B) при наведении на цель (C) для бескоалиционной дифференциально-игровой задачи сближения, если

$A_1C_1=50$  м;  $A_1C_2=70$  м;  
 $A_2C_1=80$  м;  $A_2C_2=60$  м;  
 $B_1C_1=100$  м;  $B_1C_2=40$  м;  
 $B_2C_1=120$  м;  $B_2C_2=90$  м.



№ 3 Какой интерполяционный многочлен определяет уравнение?

$$\begin{aligned}
 P_n(x) = & a_0 + a_1 \cdot (x - x_0) + a_2 \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) + \dots \\
 & + a_n \cdot (x - x_0) \cdot (x - x_1) \cdot \dots \cdot (x - x_{n-1})
 \end{aligned}$$

№ 4 Сколько интегрирований исходной системы уравнений движения ЛА необходимо выполнить на одной итерации при использовании метода Ньютона для решения прямой краевой задачи внешней баллистики, если в начальных условиях неизвестны 3 параметра?

№ 5 В работах Н.Н. Красовского для решения задач «сближения – уклонения» разработан метод «\_\_\_\_\_», основанный на построении областей достижимости.

№ 6 Перечислите основные операции алгоритма решения коалиционной дифференциально - игровой задачи сближения двух БПЛА с маневрирующей целью.

№ 7 Что такое баллистическое проектирование ЛА?

№ 8 Что называется игровой задачей «сближения-уклонения» с полной информацией?

№ 9 Опишите способ упрощенного расчета внутренней границы области достижимости ЛА, который описывается дифференциальными уравнениями движения только центра масс, управление ЛА ограничено.

№ 10 В чем заключается метод пропорциональной навигации?

Вопросы закрытого типа:

№ 1 Методы пропорциональной навигации, для реализации которых требуется радиолокационная головка самонаведения:

1) PPN;

2) TPN;

3) IPN;

4) PPN-I;

5) параллельного сближения.

№ 2 Выберите преимущества многошаговых методов численного интегрирования дифференциальных уравнений над одношаговыми:

1) требуют расчета «разгонных» точек;

2) реже обращаются к расчету правых частей уравнения на одном шаге;

3) имеют однотипную вычислительную схему;

4) позволяют легко изменять шаг интегрирования в процессе расчета;

5) повышают точность расчетов за счет использования нескольких предыдущих точек.

№ 3 От чего зависит скорость сходимости метода Ньютона для решения краевой задачи внешней баллистики?

1) от выбора начального приближения неизвестных параметров движения;

2) от величины шага интегрирования уравнений движения;

3) от скорости движения ЛА;

4) от программы управления ЛА;

6) от величины приращения при вычислении частных производных.

№ 4 Параметр  $S$ , используемый для улучшения сходимости метода Крылова-Черноусько в уравнении:

$$\alpha^{i+1}(t) = \alpha^i(t) + S \cdot (\tilde{\alpha}(t) - \alpha^i(t))$$

в начале каждой итерации расчета оптимального управления принимает значение равное:

1) 0;

2) 1;

3) значения с предыдущей итерации;

4) значение на каждой последующей итерации в два раза меньше;

5) 0,0001.

№ 5 Какие условия верны для поиска оптимального управления с использованием принципа максимума Понтрягина при отсутствии ограничения на управление ЛА (где  $u$  – управление):

$$1) \left. \frac{\partial H}{\partial u} \right|_{u=\tilde{u}} = 0; \left. \frac{\partial^2 H}{\partial u^2} \right|_{u=\tilde{u}} > 0;$$

$$2) \left. \frac{\partial H}{\partial u} \right|_{u=\tilde{u}} = 0; \left. \frac{\partial^2 H}{\partial u^2} \right|_{u=\tilde{u}} < 0;$$

$$3) \left. \frac{\partial H}{\partial u} \right|_{u=\tilde{u}} > 0; \left. \frac{\partial^2 H}{\partial u^2} \right|_{u=\tilde{u}} = 0;$$

$$4) \left. \frac{\partial H}{\partial u} \right|_{u=\tilde{u}} < 0; \left. \frac{\partial^2 H}{\partial u^2} \right|_{u=\tilde{u}} > 0;$$

$$5) \left. \frac{\partial H}{\partial u} \right|_{u=\tilde{u}} = 0; \left. \frac{\partial^2 H}{\partial u^2} \right|_{u=\tilde{u}} = 0;$$

№ 6 Численный метод, используемый для поиска оптимального управления на основе принципа максимума Понтрягина:

1) метод Крылова-Черноусько;

2) метод динамического программирования;

3) метод Ньютона;

4) метод Красовского;

5) метод одномерной минимизации.

№ 7 Что определяет уравнение?

$$\left[ \frac{\partial J}{\partial z} + \Psi \right] \bigg|_{t=\vartheta} \delta z_{\vartheta} = 0$$

- 1) выражение для оптимального управления;
- 2) функцию Гамильтона;
- 3) условие трансверсальности по фазовым координатам;
- 4) условие трансверсальности по времени;
- 5) условие трансверсальности по управлению.

№ 8 Условия, выполняемые при реализации выпуклой траектории настильного типа ЗУР:

- 1) в зоне встречи с целью траектория близка к баллистической;
- 2) на большей части пути потребные перегрузки достигают значительных величин;
- 3) на большей части пути полет осуществляется по баллистической траектории;
- 4) в зоне встречи с целью потребная перегрузка достигает значительных величин;
- 5) полет по траектории до зоны встречи должен быть близок к прямой.

№ 9 Обратные задачи внешней баллистики ЛА относятся к классу:

- 1) вспомогательных программных задач;
- 2) задач поиска условного экстремума функции многих переменных;
- 3) задач оптимального управления;
- 4) задач синтеза облика ЛА;
- 5) краевых задач.

№ 10 В дифференциально - игровом алгоритме «сближения-уклонения» с полной информацией БПЛА - преследователю неизвестны:

- 1) момент времени встречи с целью;
- 2) управление цели;
- 3) текущие параметры движения цели;
- 4) ограничение на управление цели;
- 5) математическая модель движения цели.