

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(подпись) ФИО
«___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Направление/специальность подготовки	24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика
Специализация/профиль/программа подготовки	Физическое и вычислительное моделирование теплоаэродинамических и теплогидравлических процессов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
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	
6	11	3	108	51	17	0	34	57	0	0	57	диф. зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.04.03 Баллистика и гидроэроэродинамика

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

А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

**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:

ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач
ПСК-1/24.1 — способность определять состав и назначение систем управления летательных аппаратов в АРКТ, разрабатывать их структуру и алгоритмы работы, формулировать логику их функционирования, проводить анализ и выбор бортовой аппаратуры

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-94

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-1/24.1

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 **части**, формируемой участниками образовательных отношений блока 1, программы подготовки по направлению 24.04.03 *Баллистика и гидроаэродинамика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ БАЛЛИСТИКИ И ГИДРОАЭРОДИНАМИКИ, УПРАВЛЕНИЕ ПРИ НАЛИЧИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте
- ОПК-2 — Способен ставить и решать задачи по проектированию, конструированию и производству объектов профессиональной деятельности при использовании современных информационных технологий
- ОПК-3 — Способен применять на практике новые научные принципы и методы исследований на основе анализа научной и патентной литературы
- ПСК-1/24.1 — Способен определять состав и назначение систем управления летательных аппаратов в АРКТ, разрабатывать их структуру и алгоритмы работы, формулировать логику их функционирования, проводить анализ и выбор бортовой аппаратуры
- ПСК-1/24.2 — Способен применять программы и методики проведения экспериментов и компьютерного моделирования, разрабатывать модели и алгоритмы решения задач динамики движения, аэродинамики, баллистики и управления полетом космических и летательных аппаратов с учетом сложности систем на основе применения современных научных знаний

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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-94	ПСК-1/24.1
6	11	Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики. 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.	9	2	2	0	7	10	10
6	11	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения. 2.1 Особенности краевых задач баллистики и методы их решения. Метод Ньютона, градиентные методы, метод Стеффенсона. 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.	16	6	2	4	10	10	10
6	11	Раздел 3. Обратные задачи динамики. 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.	20	10	2	8	10	10	10
6	11	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике. 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.	21	11	3	8	10	20	20
6	11	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР. 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.	22	12	4	8	10	30	25
6	11	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем. 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.	20	10	4	6	10	20	25
Всего за 11 семестр			108	51	17	34	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	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	4
2	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	Определение оптимальной программы управления на основе обратной задачи динамики	8
3	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	Оптимальная программа управления спускаемого летательного аппарата при наведении в заданную точку прицеливания	8
4	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	Игровой метод наведения ЗУР на маневрирующую цель	8
5	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	Управление космическим аппаратом на участке дальнего наведения	6
Всего за 11 семестр			34

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.	7
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.	10
3	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2.	10
4	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №3.	10
5	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4.	10
6	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5.	10
Всего за 11 семестр			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
11				ТекК, Отч. по ПЗ		ДР				ДР			Отч. по ПЗ, ТекК			ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- 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.

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. . Дифференциально-игровые методы управления движением беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009, 10 экз.
9. О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 70 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> — 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 - 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 **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению **24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика**. 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*:

ПК-94 способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач;

ПСК-1/24.1 способность определять состав и назначение систем управления летательных аппаратов в АРКТ, разрабатывать их структуру и алгоритмы работы, формулировать логику их функционирования, проводить анализ и выбор бортовой аппаратуры.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с процедурой определения предварительных параметров летательного аппарата или космического аппарата на основе упрощённых 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.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 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.
Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Глава 5) А. С. Шалыгин, 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)	7
Итого по разделу 1		7
Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №1.	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)	10
Итого по разделу 2		10
Раздел 3. Обратные задачи динамики.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2.	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)	10
Итого по разделу 3		10
Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №3.	А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Подраздел 6.4) 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)	10
Итого по разделу 4		10
Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4.	О. А. Толпегин. . Дифференциально-игровые методы управления движением беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (Подраздел 4.5) О. А. Толпегин. . Области достижимости летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (Глава 3) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 5) А. С. Шалыгин, Л. Н. Лысенко, О. А. Толпегин. . Методы моделирования ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов: М.: Машиностроение, 2012 (Подраздел 8.2, 8.3)	10
Итого по разделу 5		10
Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5.	. 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) А. С. Шалыгин, В. А. Санников, И. Л. Петрова. . Динамика и навигация космических аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007 (Глава 1, 2)	10
Итого по разделу 6		10

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- 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.

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		ПК-94	ПСК-1/24.1	
6	11	Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.	9	2	2	0	7	10	10	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.	16	6	2	4	10	10	10	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	20	10	2	8	10	10	10	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	21	11	3	8	10	20	20	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	22	12	4	8	10	30	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	20	10	4	6	10	20	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
Всего за 11 семестр			108	51	17	34	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	100	

Критерии оценивания

ПК-94

Вопросы открытого типа:

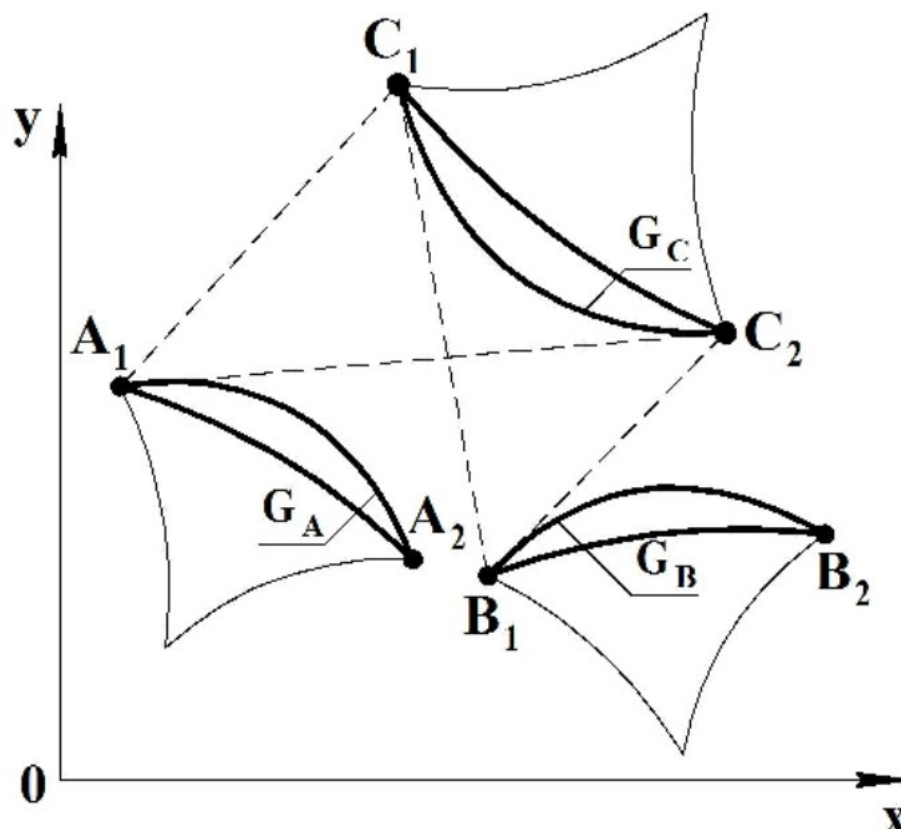
- № 1 Чему равен коэффициент пропорциональности при реализации метода погони в методе пропорциональной навигации?
 № 2 Как вычислить наиболее точные границы области достижимости ЛА?
 № 3 Разновидность метода пропорциональной навигации, при котором требуемое нормальное ускорение ракеты формируется ортогонально 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

$$A_1C_1=50 \text{ м}; \quad A_1C_2=70 \text{ м};$$

$$A_2C_1=80 \text{ м}; \quad A_2C_2=60 \text{ м};$$

$$B_1C_1=100 \text{ м}; \quad B_1C_2=40 \text{ м};$$

$$B_2C_1=120 \text{ м}; \quad B_2C_2=90 \text{ м}.$$



- № 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-Черноуцкого 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 некооперативной 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 – $m = n$.

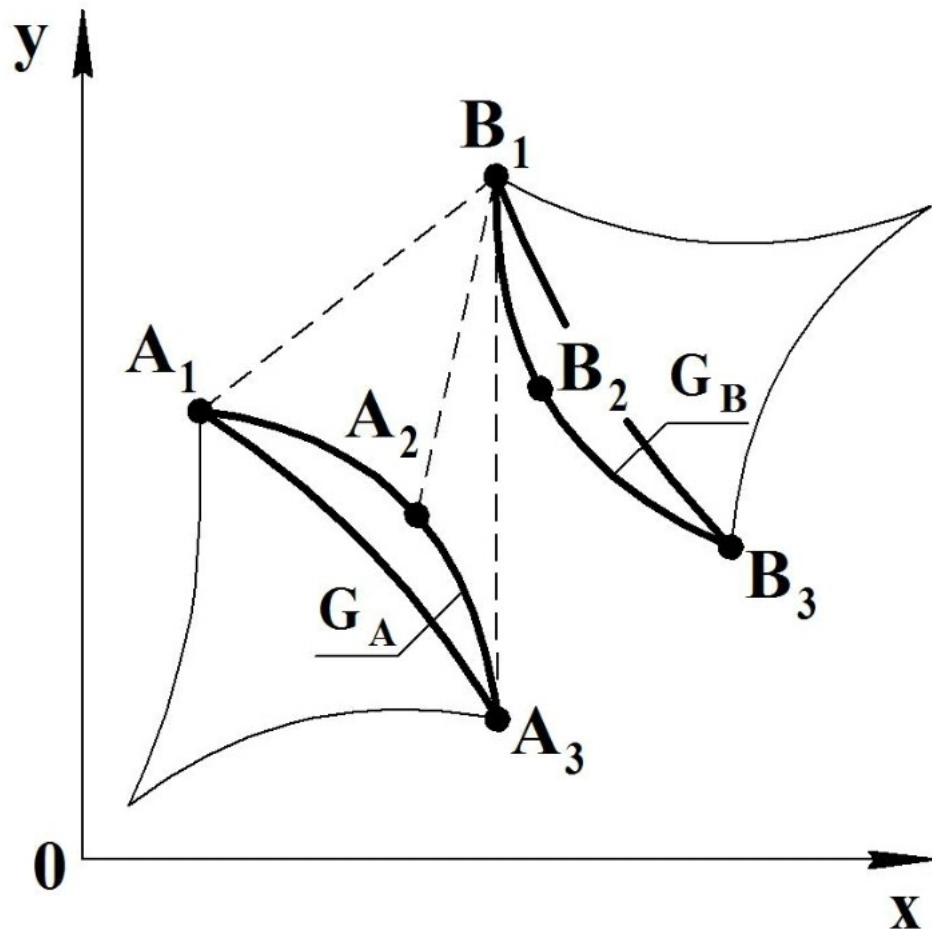
ПСК-1/24.1

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

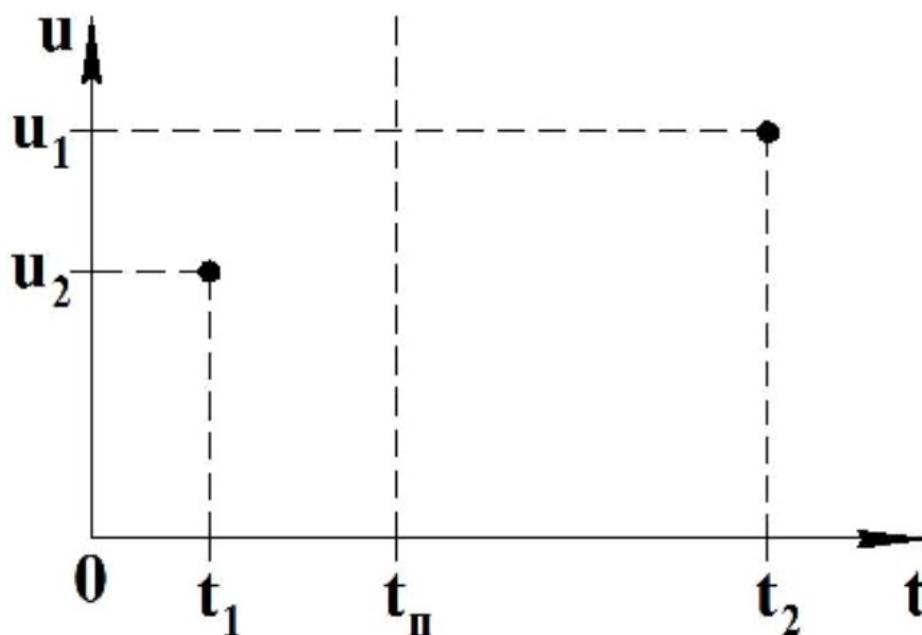
$B_1A_1=120$ м; $B_1A_2=110$ м; $B_1A_3=140$ м;
 $B_2A_1=100$ м; $B_2A_2=50$ м; $B_2A_3=90$ м;
 $B_3A_1=150$ м; $B_3A_2=130$ м; $B_3A_3=70$ м.



№ 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:

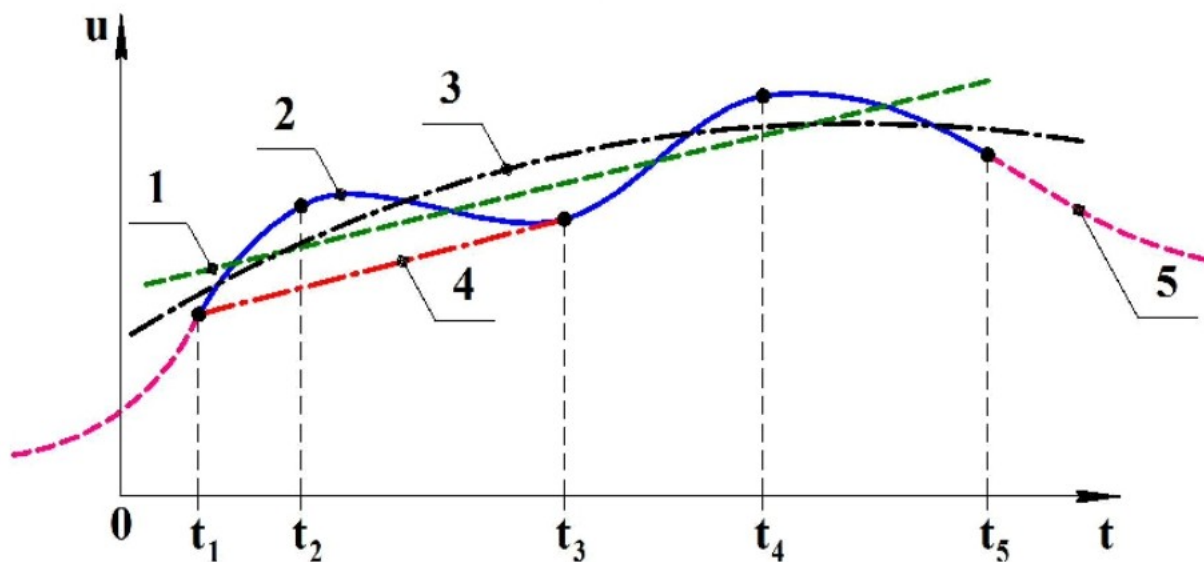
- 1) метод Крылова-Черноусько;
- 2) метод золотого сечения;
- 3) метод наименьших квадратов;
- 4) метод половинного деления;
- 5) метод Красовского.

№ 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.