

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20 ____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Направление/специальность подготовки	24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование и оценка эффективности ракетно-космических систем
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
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)**

24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика

год набора группы: 2025

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 Петрова И.Л., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

Заведующий кафедрой Бородавкин В.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:

ПК-1.4 — Способен планировать и организовывать разработку КД на ЛА, его агрегаты, узлы, комплексы и подсистемы ЛА

ПК-1.5 — Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании ракет и космических аппаратов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПК-1.4

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.

ПК-1.5

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.

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 *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ПРИБОРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**.

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-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники, включая управление проектами создания новых образцов техники и утилизации устаревших
- ПК-1.3 — Способен организовывать разработки технического предложения, аванпроекта, эскизного проекта, макета и технического проекта летательного аппарата, его модернизации или модификации

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-1.4	ПК-1.5
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.	6	2	2	0	4	5	20
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 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.	11	6	2	4	5	20	15
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.	24	12	4	8	12	15	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.	23	11	3	8	12	15	15
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.	24	12	4	8	12	35	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	8	2	6	12	10	15
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.	4
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.	5
3	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	Изучение предусмотренных программой дидактических	12

		единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2.	
4	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №3.	12
5	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4.	12
6	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5.	12
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. . 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 - 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 *24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика*. 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-1.4 Способен планировать и организовывать разработку КД на ЛА, его агрегаты, узлы, комплексы и подсистемы ЛА;

ПК-1.5 Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании ракет и космических аппаратов.

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. 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) А. С. Шалыгин, С. А. Кабанов, В. А. Санников. . Автоматизация расчёта траектории ЛА: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (Глава 1)	4
Итого по разделу 1		4
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)	5
Итого по разделу 2		5
Раздел 3. Обратные задачи динамики.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №2.	. Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 4) А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Машиностроение, 2005 (Подраздел 6.2)	12
Итого по разделу 3		12
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) . Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 3) Ю. Г. Сихарулидзе. . Баллистика летательных аппаратов: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982 (Глава 2)	12
Итого по разделу 4		12
Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №4.	. Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 5) 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) 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)	12
Итого по разделу 5		12

Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение практической работы №5.	<p>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)</p> <p>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)</p> <p>. Баллистическое проектирование беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (Л/р 2)</p>	12
Итого по разделу 6		12

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.

Основаниями для снижения количества баллов 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 обучающимся за посещение занятий, выполнение диагностических работ и за выполнение практических работ.

Критерии оценивания дифференцированного зачета :

- оценка «зачтено - отлично» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое баллов, полученных им за посещение занятий, выполнение диагностических работ и выполнение пяти практических работ более 85%;
- оценка «зачтено - хорошо» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое баллов, полученных им за посещение занятий, выполнение диагностических работ и за выполнение пяти практических работ находится в пределах 75 - 85%;
- оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся, если среднее арифметическое баллов, полученных им за посещение занятий, выполнение диагностических работ и выполнение пяти практических работ менее 50%;
- 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-1.4	ПК-1.5	
6	11	Раздел 1. Численные и приближенные аналитические методы решения задач внешней баллистики.	6	2	2	0	4	5	20	Вопросы для текущего контроля
6	11	Раздел 2. Краевые задачи баллистики и методы их решения.	11	6	2	4	5	20	15	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 3. Обратные задачи динамики.	24	12	4	8	12	15	10	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 4. Методы оптимального управления в баллистике.	23	11	3	8	12	15	15	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 5. Баллистическое проектирование ЗУР.	24	12	4	8	12	35	25	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 6. Баллистическое проектирование космических систем.	20	8	2	6	12	10	15	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	

ПК-1.4 - Способен планировать и организовывать разработку КД на ЛА, его агрегаты, узлы, комплексы и подсистемы ЛА

- № 1 Прочитайте текст и установите последовательность
Перечислите основные операций алгоритма решения задачи внешней баллистики с использованием метода последовательных приближений Крылова-Черноусько.
- 1) Интегрирование в прямом направлении времени системы дифференциальных уравнений движения ЛА, запись параметров движения.
 - 2) Задание начального приближения управления.
 - 3) Вычисление коэффициентов функции Гамильтона.
 - 4) Интегрирование в обратном направлении времени сопряженной системы дифференциальных уравнений.
 - 5) Выбор нового приближения управления.
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Какие оптимальные программы работы двигателя получаются при решении модельной задачи об оптимальном выведении ЛА на орбиту?
- № 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
При каком условии дифференциально - игровые методы наведения имеют преимущество перед методом пропорциональной навигации?
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Траектория, удовлетворяющая заданным граничным условиям с учетом конструктивных ограничений, накладываемых разработчиками на выбор формы траектории, под которую «настраивают» установочные данные системы управления называется:
- 1) попадающая траектория;
 - 2) возмущенная траектория;
 - 3) параболическая траектория;
 - 4) программная траектория;
 - 5) оптимальная траектория.
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой интерполяционный многочлен определяет уравнение?

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

- 1) интерполяционный многочлен Лагранжа;
 - 2) первая интерполяционная формула Ньютона;
 - 3) вторая интерполяционная формула Ньютона;
 - 4) первая интерполяционная формула Гаусса;
 - 5) вторая интерполяционная формула Гаусса.
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность
Перечислите основные операций алгоритма решения дифференциально - игровой задачи «сближения-уклонения» БПЛА с целью:
- 1) Находиться оптимальный гипотетический момент встречи.
 - 2) Определяется точка, соответствующая минимаксному гипотетическому промаху.
 - 3) Определяется программа управления БПЛА.
 - 4) Строятся областей достижимости БПЛА и цели.
 - 5) Задается гипотетический момент встречи.
- № 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте выражения и условия для оптимального управления, полученного на основе принципа максимума Понтрягина для функции Гамильтона вида

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

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

2 $\alpha_{\max} ;$

3 $-\alpha_{\max} ;$

4 $\pm \alpha_{\max} ;$

5 особое управление.

А – $H_1 \geq 0, H_2 < 0;$

Б – $H_1 < 0;$

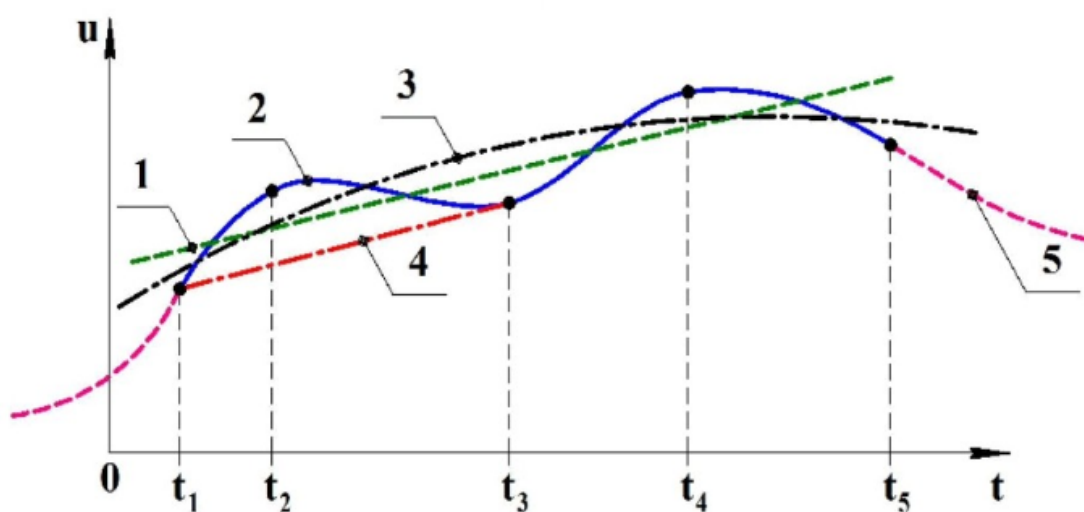
В – $H_1 = 0, H_2 = 0;$

Г – $H_1 \geq 0, H_2 > 0;$

Д – $H_1 \geq 0, H_2 = 0.$

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

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 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
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.

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
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.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
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.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
Получение значения произвольных точек из построенной функциональной зависимости, проходящей точно через дискретно заданные опытные точки:

1) интерполяция;

2) аппроксимация;

3) дифференцирование;

4) экстраполяция;

5) дискретизация.

ПК-1.5 - Способен вести поиск и внедрение перспективных технических решений и технологий при проектировании ракет и космических аппаратов

№ 1 Прочитайте текст и установите соответствие

Для двухуровневой безкоалиционной дифференциально-игровой задачи сближения группы m БПЛА с группой n целей для игрока первого уровня (командного пункта управления) сопоставьте условия для команд:

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

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

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

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

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

A – m

B – m > n;

B – m = 1;

Г – n = 1;

Д – m = n.

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте уравнения и метод численного интегрирования систем дифференциальных уравнений:

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

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

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

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

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

A – явный метод Адамса-Бошфорда;

B – неявный метод Адамса-Моултона;

B – метод Рунге-Кутты;

Г – метод Эйлера улучшенный;

Д – метод Эйлера стандартный.

№ 3 Прочитайте текст и установите последовательность

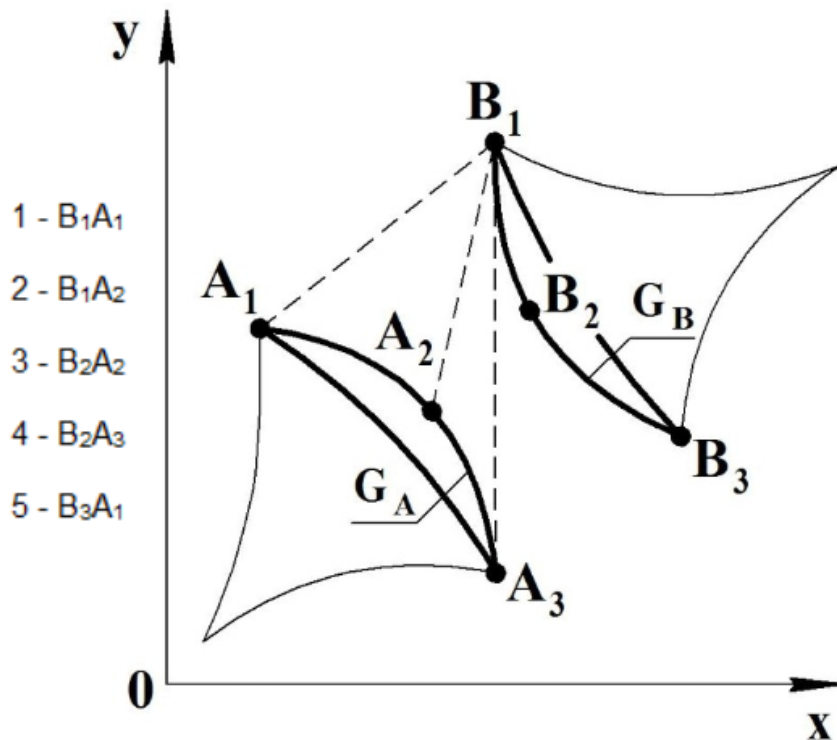
Расставьте последовательно основные операций алгоритма решения задачи внешней баллистики с использованием метода Ньютона:

- 1) $(n+1)$ - интегрирование системы дифференциальных уравнений движения ЛА с приращениями по неизвестным начальным условиям.
- 2) Расчет коэффициентов матрицы влияния Z .
- 3) Выбор начальных приближений ξ^0 недостающих n - начальных условий.
- 4) Расчет новых приближений ξ^1 недостающих n - начальных условий.
- 5) Расчет поправок $\Delta\xi$ к начальным приближениям недостающих начальных условий по формуле Ньютона:

$$z(\xi^0) + Z_{\xi}(\xi^0)\Delta\xi = 0$$

- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
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.
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
В методе Крылова-Черноусько при численном интегрировании сопряженной системы дифференциальных уравнений параметры движения ЛА на каждом 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.
- № 6 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Что называется оптимальной программой выведения ЛА на орбиту?
- № 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Какие основные этапы входят в схему баллистического расчета ЛА?
- № 8 Прочитайте текст и установите последовательность
Расставьте последовательно основные операций алгоритма решения двухуровневой некооперационной дифференциально - игровой задачи сближения группы БПЛА с группой целей:
- 1) Находится оптимальная матрица команд игрока первого уровня (командного пункта управления).
 - 2) Определяется управление наведения БПЛА на выбранную цель.
 - 3) Решается $m \times n$ минимаксных задач наведения каждого БПЛА на каждую цель.
 - 4) Каждому БПЛА назначается своя цель.
 - 5) Составляется матрица гипотетических промахов размерности $m \times n$.
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
На рисунке изображены области достижимости БПЛА (GA) и цели (GB) для текущего момента времени. Выберите $\max \min$ гипотетический промах цели (B) при уклонении от БПЛА (A) при использовании метода экстремального прицеливания Красовского, если

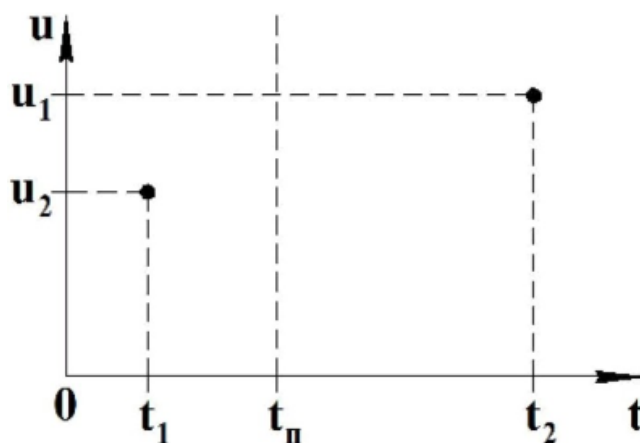
$B_1A_1=120$ м; $B_1A_2=110$ м; $B_1A_3=140$ м;
 $B_2A_1=100$ м; $B_2A_2=50$ м; $B_2A_3=90$ м;
 $B_3A_1=150$ м; $B_3A_2=130$ м; $B_3A_3=70$ м.



№ 10 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
 Получено измерение величины $u(t)$ в двух точках:

- при $t_1=1$ сек $u_1=4$ ед;
- при $t_2=7$ сек $u_2=22$ ед.

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



- 1 - $u=10$ ед;
- 2 - $u=16$ ед;
- 3 - $u=13$ ед;
- 4 - $u=6$ ед;
- 5 - $u=12$ ед.

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
 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 $H_0 = 0$.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
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.