

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЛЛИСТИКА

| | |
|--|---|
| Направление/специальность подготовки | 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Системы управления беспилотными летательными аппаратами |
| Уровень высшего образования | Специалитет |
| Форма обучения | Очная |
| Факультет | А Ракетно-космическая техника |
| Выпускающая кафедра | А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ |
| Кафедра-разработчик рабочей программы | А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) | | | | | | | | | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ | | | | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА | | | | |
| | | | | ВСЕГО | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ | |
| 5 | 9 | 3 | 108 | 51 | 17 | 0 | 34 | 57 | 0 | 0 | 57 | зач. |

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.05.06 Системы управления летательными аппаратами

год набора группы: 2026

Программу составил:

Кафедра А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ _____

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

А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Петрова И.Л., к.т.н., доц. _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЛЛИСТИКА

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-8 — Способен проводить динамические расчеты систем управления летательными аппаратами, применять методики математического и полунатурного моделирования динамических систем "подвижный объект - система управления (система ориентации, стабилизации, навигации, управления движением)"

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

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-8

знания:

на уровне представлений:

- виды измерений, измерительные средства для определения параметров движения ракет;
- методы оптимального планирования измерений параметров движения ракет и космических аппаратов;
- методы определения параметров движения ракет и космических аппаратов по результатам лётно-баллистических экспериментов;

экспериментов;

- методы прогнозирования движения космических аппаратов;

измерений;

- методы определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;

- методы планирования лётного баллистического эксперимента;

на уровне воспроизведения и понимания:

- статистические методы обработки результатов измерений;
- методы определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- методы фильтрации параметров движения при движении в атмосфере;

умения:

теоретически и практически:

- использовать методы экспериментальной баллистики для определения параметров движения ракет и космических аппаратов по результатам лётно-баллистических экспериментов;

- применять основные методы прогнозирования движения космических аппаратов;
- использовать статистические методы обработки результатов измерений;
- применять методы определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- использовать методы определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;

траекторных измерений;

- применять методы фильтрации для определения параметров движения ракет и космических аппаратов;

навыки:

иметь навыки и владеть:

- формализации и решения практических задач в области экспериментальной баллистики;
- применения основных методов прогнозирования движения космических аппаратов;
- использования статистических методов обработки результатов измерений;
- применения методов определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- использования методов определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;

траекторных измерений;

- применения методов фильтрации для определения параметров движения ракет и космических аппаратов.

ПК-2

знания:

на уровне представлений:

- виды измерений, измерительные средства для определения параметров движения ракет;
- методы оптимального планирования измерений параметров движения ракет и космических аппаратов;
- методы определения параметров движения ракет и космических аппаратов по результатам лётно-баллистических экспериментов;

экспериментов;

- методы прогнозирования движения космических аппаратов;

измерений;

- методы определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;

- методы планирования лётного баллистического эксперимента;

на уровне воспроизведения и понимания:

- статистические методы обработки результатов измерений;
- методы определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- методы фильтрации параметров движения при движении в атмосфере;

умения:

теоретически и практически:

- использовать методы экспериментальной баллистики для определения параметров движения ракет и космических аппаратов по результатам лётно-баллистических экспериментов;

- применять основные методы прогнозирования движения космических аппаратов;
- составлять программы оптимального планирования измерений параметров движения ракет и космических аппаратов;

аппаратов;

- использовать статистические методы обработки результатов измерений;
- применять методы определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- использовать методы определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;
- применять методы фильтрации для определения параметров движения ракет и космических аппаратов;

навыки:

иметь навыки и владеть:

- формализации и решения практических задач в области экспериментальной баллистики;
- применения основных методов прогнозирования движения космических аппаратов;
- составления программ оптимального планирования измерений параметров движения ракет и космических аппаратов;
- использования статистических методов обработки результатов измерений;
- применения методов определения аэродинамических характеристик ракет при движении в атмосфере;
- использования методов определения начальных условий движения ракет и космических аппаратов по результатам траекторных измерений;
- применения методов фильтрации для определения параметров движения ракет и космических аппаратов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

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

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности, для решения инженерных задач
- ПК-2 — Способен к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов

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 | | ОПК-8 | ПК-2 |
| 5 | 9 | Раздел 1. Формулировка задач экспериментальной баллистики. Ведение. Цели и задачи экспериментальной баллистики. Летные характеристики БПЛА. Планирование проведения экспериментов. Статистические методы обработки результатов измерений. Полигонные летные испытания и лабораторные испытания. Баллистические трассы для определения динамических характеристик БПЛА. | 8 | 2 | 2 | 0 | 6 | 10 | 10 |
| 5 | 9 | Раздел 2. Определение параметров движения ЛА по результатам измерений без использования математических моделей движения. Особенности определения параметров движения центра масс ЛА на основе аналитических зависимостей между измеряемыми величинами и параметрами движения. Определение положения ЛА по измеренным угловым координатам, по измеренным дальностям. Определение скоростных параметров движения. Определение элементов орбиты КА. | 19 | 12 | 2 | 10 | 7 | 10 | 10 |
| 5 | 9 | Раздел 3. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания измеренных параметров движения. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания экспериментальных данных. Основные методы сглаживания. Графический метод. Метод наименьших квадратов. Аппроксимация на основе метода наименьших квадратов с постоянным шагом измерения. | 14 | 8 | 2 | 6 | 6 | 20 | 20 |
| 5 | 9 | Раздел 4. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе динамической модели. Применение метода наименьших квадратов для оценки вектора начальных условий интегрирования уравнений движения центра масс ЛА. Применение метода наименьших квадратов в случае линейной зависимости измеряемых параметров от искомым. Определение параметров орбиты КА на основе метода наименьших квадратов. Метод максимального правдоподобия. Безытерационный алгоритм определения орбитального движения. Общая характеристика алгоритма. Декомпозиция задачи оценивания параметров эллиптической траектории. Измерительная информация, используемая для оценивания параметров эллиптической орбиты. Оценивание параметров ориентации плоскости траектории. Оценивание параметров траектории, характеризующих ее форму, размеры и ориентацию фокальной плоскости. Оценивание времени прохождения КА перигея. Оценивание начальных условий движения. | 19 | 12 | 2 | 10 | 7 | 10 | 10 |
| 5 | 9 | Раздел 5. Методы прогнозирования движения КА. Прогнозирование движения КА на длительных временных интервалах. Решение уравнений движения КА с помощью разложения в ряды по степеням малого параметра. Метод поворотного суммирования возмущений. Прогнозирование движения межпланетных КА. | 9 | 3 | 3 | 0 | 6 | 10 | 10 |
| 5 | 9 | Раздел 6. Определение и анализ вращательного движения ЛА. Особенности определения и анализа вращательного движения ЛА. Исходная информация и математические модели, используемые для анализа вращательного движения ЛА. | 10 | 4 | 4 | 0 | 6 | 10 | 10 |
| 5 | 9 | Раздел 7. Определение параметров движения ЛА на атмосферном участке полета. Задача определения и анализа движения на атмосферном участке полета. Декомпозиция задачи спуска по времени, по состоянию и по структуре. Уравнения движения спуска. Параметры, измеряемые при спуске. Методы фильтрации, используемые при спуске. Фильтрация параметров движения с использованием фильтра Калмана. Минимаксная фильтрация параметров движения. Моделирование задачи фильтрации параметров движения спускаемого ЛА. | 16 | 10 | 2 | 8 | 6 | 10 | 15 |
| 5 | 9 | Раздел 8. Оптимальное планирование измерений. Задача оптимального планирования измерений. Методы повышения точности экспериментального определения движения ЛА. План летного эксперимента. Критерии оптимальности плана эксперимента. Наблюдаемость. Выбор моделей движения и измерения. Оптимальное расположение дальнометров. | 7 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 5 |
| 5 | 9 | Раздел 9. Определение параметров движения по результатам лабораторных испытаний. Баллистические трассы. Определение скорости. Экспериментальное определение аэродинамических коэффициентов. | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 |
| Всего за 9 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. Определение параметров движения ЛА по результатам измерений без использования математических моделей движения. | Определение положения ЛА по измеренным угловым координатам, измеренным дальностям, определение скоростных параметров движения ЛА, определение элементов орбиты КА. | 10 |
| 2 | Раздел 3. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания измеренных параметров движения. | Аппроксимация на основе метода наименьших квадратов с постоянным шагом измерения. | 6 |
| 3 | Раздел 4. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе динамической модели. | Определение параметров орбиты КА, начальных условий интегрирования уравнений движения КА в центральном гравитационном поле. Оценивание параметров ориентации плоскости траектории и оценивание параметров траектории. | 10 |
| 4 | Раздел 7. Определение параметров движения ЛА на атмосферном участке полета. | Фильтрация параметров движения с использованием фильтра Калмана. Минимаксная фильтрация параметров движения. | 8 |
| Всего за 9 семестр | | | 34 |

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

| № | Номер и наименование раздела дисциплины | Содержание учебного задания | Объем, |
|---|---|-----------------------------|--------|
|---|---|-----------------------------|--------|

| п/п | | | часов |
|---------------------------|--|---|-----------|
| 1 | Раздел 1. Формулировка задач экспериментальной баллистики. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| 2 | Раздел 2. Определение параметров движения ЛА по результатам измерений без использования математических моделей движения. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение первого домашнего задания. | 7 |
| 3 | Раздел 3. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания измеренных параметров движения. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| 4 | Раздел 4. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе динамической модели. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение второго домашнего задания. | 7 |
| 5 | Раздел 5. Методы прогнозирования движения КА. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| 6 | Раздел 6. Определение и анализ вращательного движения ЛА. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| 7 | Раздел 7. Определение параметров движения ЛА на атмосферном участке полета. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| 8 | Раздел 8. Оптимальное планирование измерений. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 7 |
| 9 | Раздел 9. Определение параметров движения по результатам лабораторных испытаний. | Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | 6 |
| Всего за 9 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 |
| 9 | | | | | ТекК, ДЗ | ДР | | | | ДР | | | | | ТекК, ДЗ | ДР | зач. |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- ДЗ – домашнее задание;
- зач. – зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. С. Шалыгин, Л. Н. Лысенко, О. А. Толпегин. . Методы моделирования ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 2012, 50 экз.
2. Е. А. Микрин, Ф. В. Звягин. . Введение в механику полёта и управление космическими аппаратами. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, 20 экз.
3. И. Л. Петрова, П. Д. Горохова, П. Ю. Литвинова. . Основы статистических методов в динамике полёта. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 44 экз.
4. Л. Н. Лысенко. . Наведение баллистических ракет. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020, 50 экз.
5. Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018, 100 экз.
6. О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015, 60 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://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;;
2. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;;
3. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;;
4. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;;
5. <http://library.voenmeh.ru/> - Электронная библиотека университета; — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

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 2015a SP1.

5.6. Информационные технологии:

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

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

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

6.2. Практические занятия:

1. образцы РКТ;
2. Matlab 2015a SP1.

6.3. Прочее:

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

Аннотация рабочей программы

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

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-8 Способен проводить динамические расчеты систем управления летательными аппаратами, применять методики математического и полунатурного моделирования динамических систем "подвижный объект - система управления (система ориентации, стабилизации, навигации, управления движением)";

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

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с видами измерений и измерительными средствами для определения параметров движения ракет, методами оптимального планирования измерений параметров движения ракет и космических аппаратов, методами определения и анализа параметров движения ракет и космических аппаратов по результатам лётно-баллистических экспериментов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- 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. Формулировка задач экспериментальной баллистики. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | И. Л. Петрова, П. Д. Горохова, П. Ю. Литвинова. . Основы статистических методов в динамике полёта: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (Глава 2) О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Введение, Глава 1) | 6 |
| Итого по разделу 1 | | 6 |
| Раздел 2. Определение параметров движения ЛА по результатам измерений без использования математических моделей движения. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение первого домашнего задания. | Л. Н. Лысенко. . Наведение баллистических ракет: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (Глава 4) О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 2) Е. А. Микрин, Ф. В. Звягин. . Введение в механику полёта и управление космическими аппаратами: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (Глава 4) | 7 |
| Итого по разделу 2 | | 7 |
| Раздел 3. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания измеренных параметров движения. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 3) | 6 |
| Итого по разделу 3 | | 6 |
| Раздел 4. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе динамической модели. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. Выполнение второго домашнего задания. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 4) Е. А. Микрин, Ф. В. Звягин. . Введение в механику полёта и управление космическими аппаратами: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020 (Глава 2) | 7 |
| Итого по разделу 4 | | 7 |
| Раздел 5. Методы прогнозирования движения КА. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 5) | 6 |
| Итого по разделу 5 | | 6 |
| Раздел 6. Определение и анализ вращательного движения ЛА. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 6) Л. Н. Лысенко. . Внешняя баллистика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018 (Глава 2) | 6 |
| Итого по разделу 6 | | 6 |
| Раздел 7. Определение параметров движения ЛА на атмосферном участке полета. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | А. С. Шалыгин, Л. Н. Лысенко, О. А. Толпегин. . Методы моделирования ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов: М.: | 6 |

| | | |
|---|---|---|
| | Машиностроение, 2012 (Глава 9) О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 7) | |
| Итого по разделу 7 | | 6 |
| Раздел 8. Оптимальное планирование измерений. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 8) | 7 |
| Итого по разделу 8 | | 7 |
| Раздел 9. Определение параметров движения по результатам лабораторных испытаний. | | |
| Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по конспектам лекций и рекомендуемой литературе. | О. А. Толпегин. . Экспериментальная баллистика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2015 (Глава 9) | 6 |
| Итого по разделу 9 | | 6 |

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- домашнее задание;
- 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) Баллистические трассы для определения динамических характеристик БПЛА.
- 2) Экспериментальное определение скорости ЛА.
- 3) Экспериментальное определение коэффициента лобового сопротивления ЛА.
- 4) Экспериментальное определение нормальной силы и опрокидывающего момента.
- 5) Определение положения ЛА по измеренным угловым координатам.
- 6) Определение положения ЛА по измеренным дальностям.
- 7) Определение скоростных параметров движения.
- 8) Определение элементов орбиты КА.
- 9) Графический метод сглаживания.
- 10) Метод наименьших квадратов.
- 11) Аппроксимация на основе метода наименьших квадратов с постоянным шагом измерения.
- 12) Применение метода наименьших квадратов для оценки вектора начальных условий интегрирования уравнений движения центра масс ЛА.
- 13) Применение метода наименьших квадратов в случае линейной зависимости измеряемых параметров от искомым.
- 14) Определение параметров орбиты КА на основе метода наименьших квадратов.
- 15) Метод максимального правдоподобия.
- 16) Безытерационный алгоритм определения орбитального движения. Общая характеристика алгоритма.
- 17) Оценивание параметров ориентации плоскости траектории.
- 18) Оценивание параметров траектории, характеризующих ее форму, размеры и ориентацию фокальной плоскости.
- 19) Оценивание времени прохождения КА перигея. Оценивание начальных условий движения.
- 20) Прогнозирование движения КА на длительных временных интервалах.
- 21) Решение уравнений движения КА с помощью разложения в ряды по степеням малого параметра.
- 22) Метод повиткового суммирования возмущений.
- 23) Прогнозирование движения межпланетных КА.
- 24) Особенности определения и анализа вращательного движения ЛА.
- 25) Фильтрация параметров движения спускаемого летательного аппарата с использованием фильтра Калмана.
- 26) Минимаксная фильтрация параметров движения спускаемого летательного аппарата.

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.

Домашнее задание

Домашнее задание № 1 состоит в определении параметров летательного аппарата или космического аппарата по результатам измерений без использования уравнений движения.

Домашнее задание №2 включает вычисление параметров аппроксимирующего полинома на основе результатов измерений с использованием метода наименьших квадратов.

Отчет с домашним заданием представляется в печатном или электронном виде.

Защита домашнего задания проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Оценивается полнота оформления отчета, соответствие заданию, верность полученных результатов, способность их объяснить.

Отчет принимается, и работа считается выполненной при получении не менее 60% правильных ответов на заданные вопросы преподавателя

Варианты домашних заданий представлены в УМК дисциплины.

Зачет

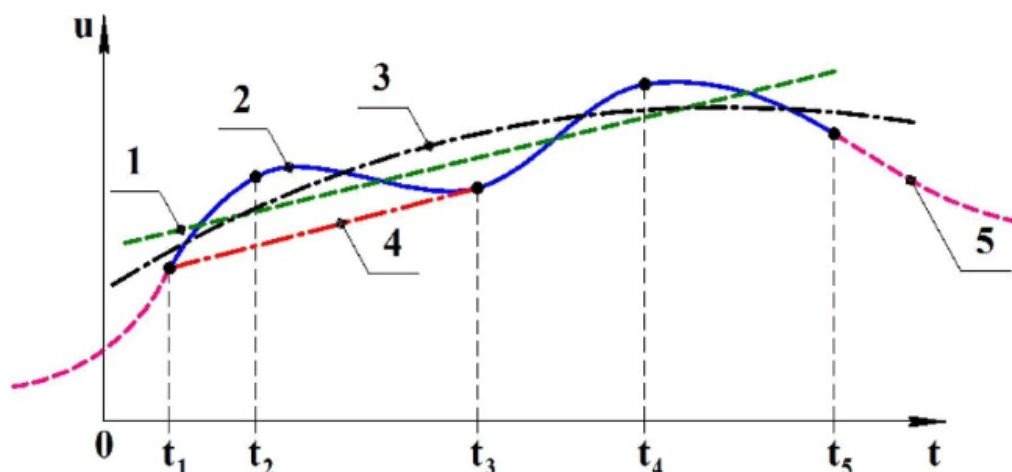
Итоговый контроль по дисциплине проходит в форме зачета. Зачет выставляется при условии полного выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий (вне зависимости от количества набранных студентом баллов), т.е. при выполнении и сдаче двух домашних заданий и прохождении трех диагностических работ. Зачёт выставляется по сумме баллов, полученных обучающимся за посещение занятий, выполнение трёх диагностических работ и сдачи двух домашних заданий.

Зачет проставляется без дополнительных вопросов при условии набора студентом в течение семестра 84 и более баллов. При наборе студентом в течение семестра менее 84 баллов сдается зачет в форме ответов на контрольные вопросы преподавателя (но только при условии сдачи студентом двух домашних заданий).

| 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-8 | ПК-2 | |
| | | | | | | | | | | |
| 5 | 9 | Раздел 1. Формулировка задач экспериментальной баллистики. | 8 | 2 | 2 | 0 | 6 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 2. Определение параметров движения ЛА по результатам измерений без использования математических моделей движения. | 19 | 12 | 2 | 10 | 7 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля, Домашнее задание |
| 5 | 9 | Раздел 3. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе сглаживания измеренных параметров движения. | 14 | 8 | 2 | 6 | 6 | 20 | 20 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 4. Определение параметров движения центра масс ЛА на основе динамической модели. | 19 | 12 | 2 | 10 | 7 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля, Домашнее задание |
| 5 | 9 | Раздел 5. Методы прогнозирования движения КА. | 9 | 3 | 3 | 0 | 6 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 6. Определение и анализ вращательного движения ЛА. | 10 | 4 | 4 | 0 | 6 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 7. Определение параметров движения ЛА на атмосферном участке полета. | 16 | 10 | 2 | 8 | 6 | 10 | 15 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 8. Оптимальное планирование измерений. | 7 | 0 | 0 | 0 | 7 | 10 | 5 | Вопросы для текущего контроля |
| 5 | 9 | Раздел 9. Определение параметров движения по результатам лабораторных испытаний. | 6 | 0 | 0 | 0 | 6 | 10 | 10 | Вопросы для текущего контроля |
| Всего за 9 семестр | | | 108 | 51 | 17 | 34 | 57 | 100 | 100 | |
| Всего по дисциплине | | | 108 | 51 | 17 | 34 | 57 | 100 | 100 | |

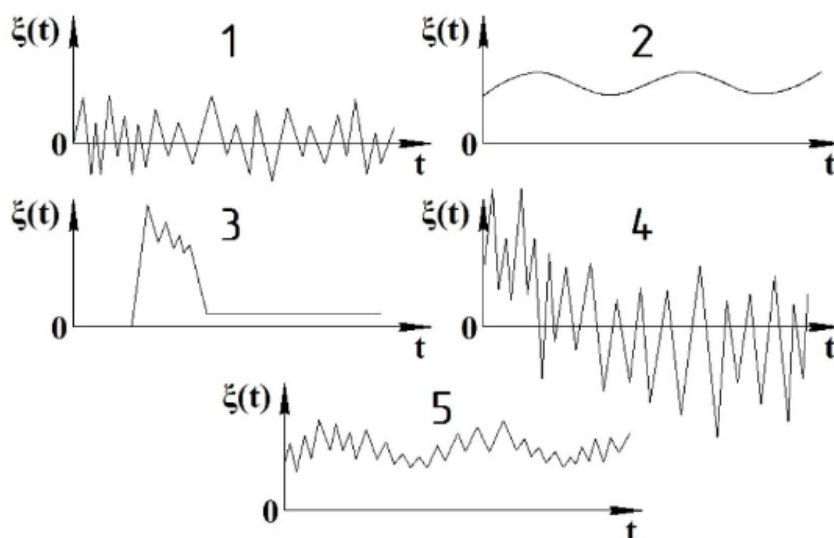
ОПК-8 - Способен проводить динамические расчеты систем управления летательными аппаратами, применять методики математического и полунатурного моделирования динамических систем "подвижный объект - система управления (система ориентации, стабилизации, навигации, управления движением)"

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Назовите основные способы определения положения ЛА в пространстве, необходимое минимальное число измерительных станций для этих способов, что измеряется и какие позиционные элементы используются.
- № 2 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.

- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие
Сопоставьте вид ошибок измерений с характерным графиком ошибок измерений.

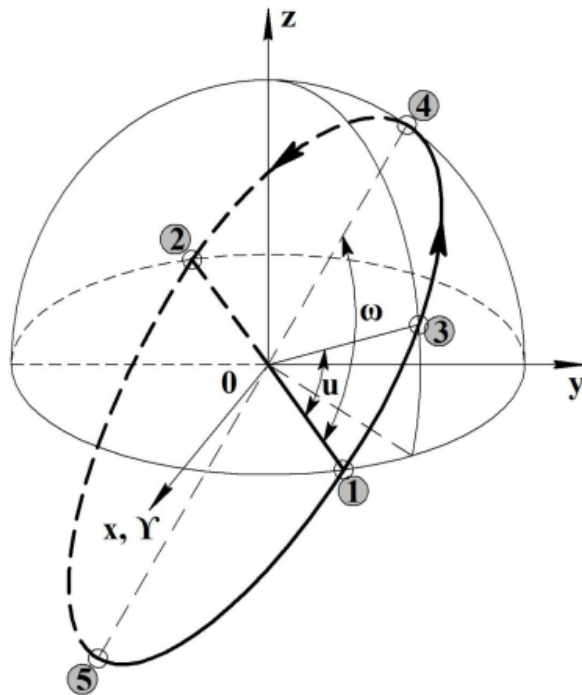


- А – аддитивные ошибки;
Б – неаддитивные ошибки;
В – систематические ошибки;
Г – случайные ошибки;
Д – грубые ошибки.

№ 4 Прочитайте текст и установите последовательность

В соответствии со схемой с характерными точками орбиты космического аппарата, определите последовательность позиций на рисунке, соответствующих:

- точке перигея;
- точке апогея;
- восходящему узлу орбиты;
- нисходящему узлу орбиты;
- текущему положению КА.



№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Расставьте последовательно основные шаги реализации алгоритма минимаксной фильтрации параметров движения ЛА.

- 1) В качестве оценки вектора состояния ЛА в момент времени $t+\Delta t$ используется чебышевский центр области $W(t+\Delta t)$, т.е. точка, наиболее удаленная от всех точек области;
- 2) для момента времени $t+\Delta t$ строят область достижимости $G(t+\Delta t)$ из области $W(t)$;
- 3) в момент времени t построена информационная область $W(t)$, совместимая с измеряемым сигналом $\chi(t)$;
- 4) информационная область $W(t+\Delta t)$ строится как пересечение областей $G(t+\Delta t)$ и $W\chi(t+\Delta t)$;
- 5) в момент времени $t+\Delta t$ измеряется текущее положение ЛА $\chi(t+\Delta t)$ и определяется область $W\chi(t+\Delta t)$, учитывающая возможный диапазон ошибок измерительного устройства.

№ 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
С использованием какого способа определения координат ЛА возможно реализовать однопунктную схему измерений?

- 1) угломерного;
- 2) дальномерного;
- 3) угломерно-дальномерного;
- 4) суммарно-дальномерного;
- 5) разностно-дальномерного.

№ 7 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Какие недостатки имеет фильтр Калмана?

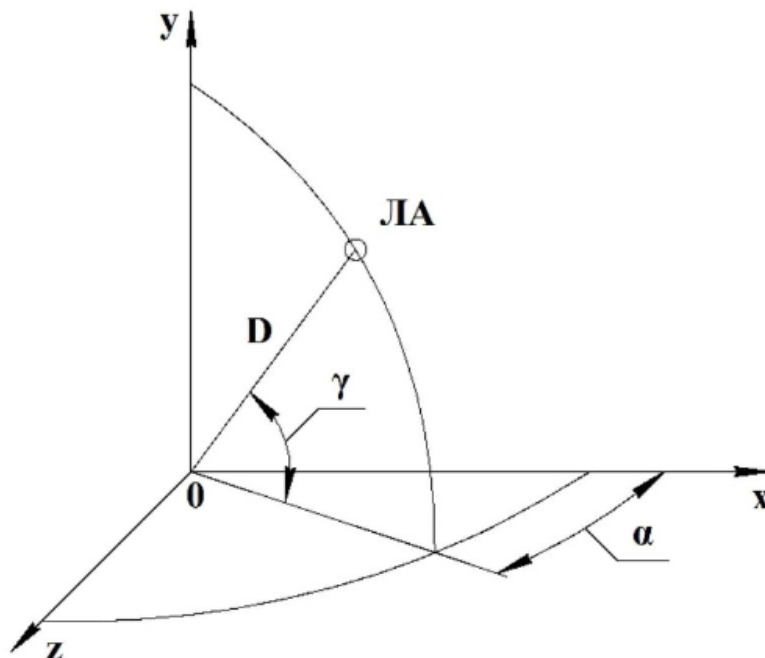
№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Приближенное представление сложной или заданной в виде таблицы функции более простой функциональной зависимостью, имеющей минимальные отклонения от исходной функции в заданных узлах:

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

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

Определите прямоугольные координаты ЛА если станция измерила: дальность до ЛА 2000 м, угол азимута 60° град, угол места 30° .



- 1) $x=866$ м, $y=1732$ м, $z=1500$ м;
- 2) $x=1500$ м, $y=1000$ м, $z=866$ м;
- 3) $x=866$ м, $y=1000$ м, $z=1500$ м;
- 4) $x=500$ м, $y=1732$ м, $z=866$ м;
- 5) $x=500$ м, $y=1000$ м, $z=866$ м.

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

Какие параметры движения космического аппарата определяют размеры, форму и положение орбиты космического аппарата в плоскости орбиты?

- 1) фокальный параметр орбиты;
- 2) аргумент широты перигея;
- 3) долгота восходящего узла орбиты;
- 4) эксцентриситет орбиты;
- 5) наклонение орбиты.

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

Что относится к методам фильтрации, используемым для оценки вектора состояния управляемой системы?

- 1) метод наименьших квадратов;
- 2) метод статистик Вальда;
- 3) метод Винера;
- 4) метод Крылова-Черноушко;
- 5) метод Калмана.

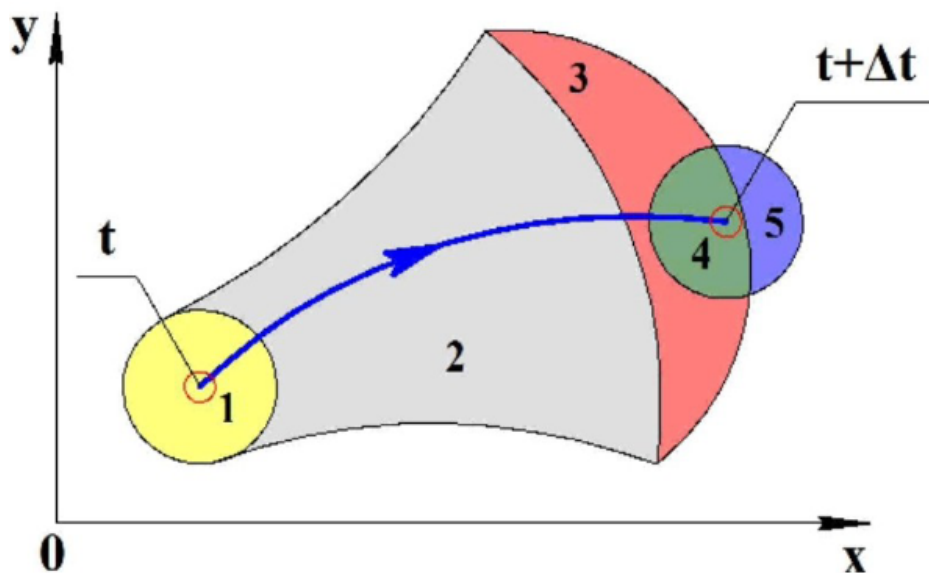
№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Для инерциальной геоцентрической системы координат выберите верные утверждения:

- 1) начало системы координат в измерительном пункте;
- 2) ось X направлена на север;
- 3) ось X направлена в точку весеннего равноденствия Земли;
- 4) ось X направлена по нулевому меридиану;
- 5) ось Y лежит в плоскости экватора.

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

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Перечислите основные виды ошибок измерений и дайте их краткую характеристику.
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Перечислите часто употребляемые критерии оптимальности планов экспериментов.
- № 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Эффект Доплера основан на том, что:
- 1) частота принимаемого сигнала отличается от частоты переданного на величину пропорциональную относительной скорости;
 - 2) фазовый сдвиг любого гармонического колебания при распространении до ЛА обратно пропорционален времени запаздывания;
 - 3) время между зондирующими импульсами, отражаемыми от ЛА, пропорциональны скорости ЛА;
 - 4) фазовый сдвиг колебаний, принимаемых двумя антеннами от ЛА, обратно пропорционален скорости ЛА;
 - 5) частота принимаемого сигнала отличается от частоты переданного на величину пропорциональную времени запаздывания сигнала.
- № 4 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какое оптическое измерительное средство позволяет измерять дальность до ЛА:
- 1) кинотеодолит;
 - 2) кинотелескоп;
 - 3) фототеодолит;
 - 4) лазерный кинотеодолит;
 - 5) теодолит.
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
Положение плоскости орбиты космического аппарата определяется:
- 1) углом наклона;
 - 2) фокальным параметром;
 - 3) долготой восходящего узла орбиты;
 - 4) истинной аномалией;
 - 5) аргументом широты.
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
Если измерения проведены независимо друг от друга с одинаковой точностью и ошибки измерений подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, метод наименьших квадратов позволяет получить:
- 1) смещенные оценки;
 - 2) несмещенные оценки;
 - 3) состоятельные оценки;
 - 4) несостоятельные оценки;
 - 5) эффективные оценки.
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
На схеме работы минимаксного фильтра на одном шаге по времени выберите области, соответствующие области достижимости летательного аппарата.



1) 1;

2) 2;

3) 3;

4) 4;

5) 5.

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте обозначения и наименования матриц в уравнениях фильтра Калмана:

$$B(t) = R(t) \cdot C^T(t) \cdot Q^{-1}(t);$$

$$\frac{dR}{dt} = A \cdot R + R \cdot A^T - R \cdot C^T \cdot Q^{-1} \cdot C \cdot R + G.$$

1) A;

2) B;

3) C;

4) Q;

5) G;

A – матрица интенсивностей шумов наблюдений;

B – матрица коэффициентов усиления;

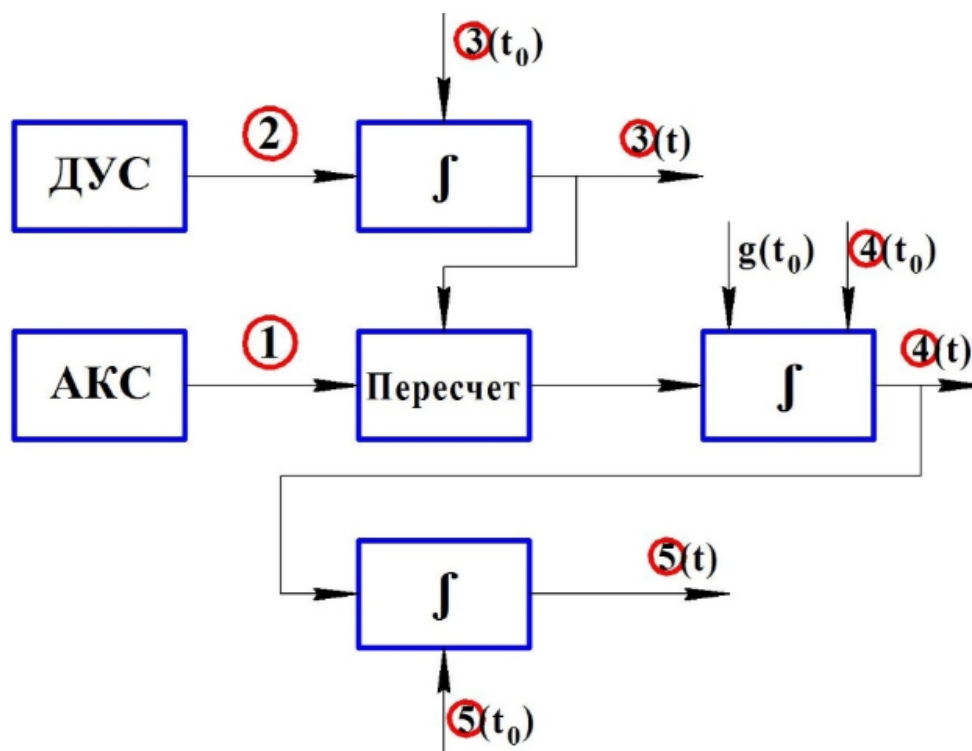
B – матрица интенсивностей шумов в системе;

Г – матрица динамических коэффициентов;

Д – матрица наблюдения параметров движения.

№ 9 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте номера позиций на схеме бесплатформенной инерциальной навигационной системы и получаемые параметры.



А – $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$;

Б – v_{x0}, v_{y0}, v_{z0} ;

В – $\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1}$;

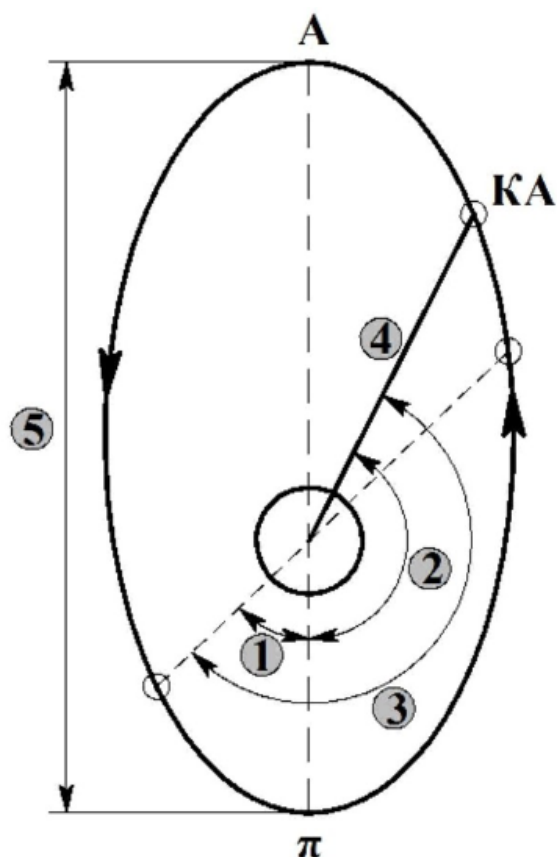
Г – x_0, y_0, z_0 ;

Д – A_{x1}, A_{y1}, A_{z1} .

№ 10 Прочитайте текст и установите последовательность

В соответствии со схемой с параметрами, описывающими движение космического аппарата, определите последовательность позиций на рисунке, соответствующих:

- радиус-вектор r ;
- большая ось орбиты $2a$;
- аргумент широты u ;
- аргумент широты перигея ω ;
- истинная аномалия θ .



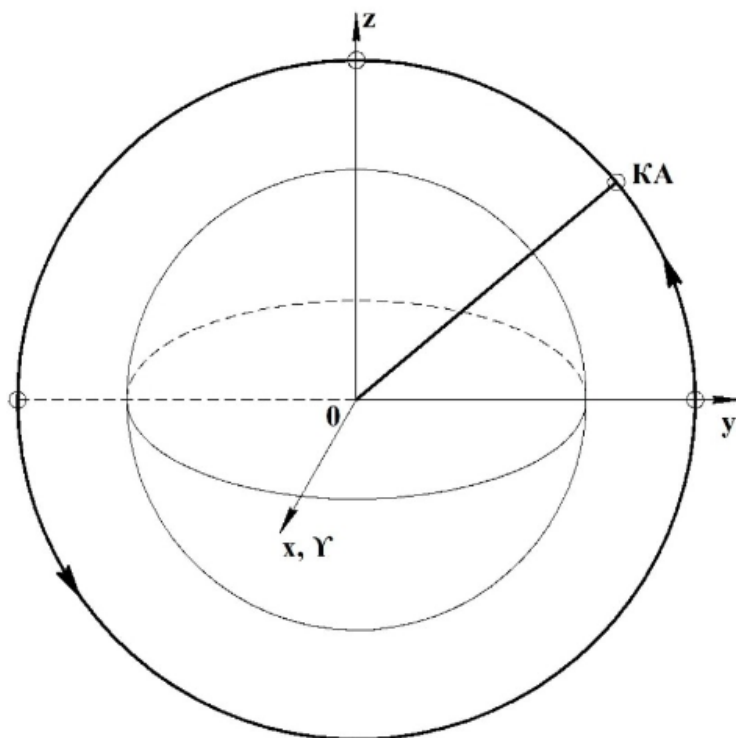
№ 11 Прочитайте текст и установите последовательность

Расставьте последовательно основные этапы решения задачи оценивания параметров эллиптической орбиты космического аппарата (КА) с использованием безитерационного алгоритма:

- 1) Используя уравнение эллиптической траектории, записанное в линейном относительно ее параметров виде, и применяя модифицированный метод наименьших квадратов, находят оценки элементов орбиты, характеризующих ее ориентацию, форму и размеры (аргумент широты перигея ω , фокальный параметр p , эксцентриситет e).
- 2) С наземной станции наблюдения измеряются дальность до КА, углы азимута и углы места для разных моментов времени.
- 3) Начальные условия движения КА для динамической модели движения определяют посредством использования соотношений, связывающих элементы орбиты с параметрами движения КА в геоцентрической системе координат.
- 4) С помощью метода статистик Вальда оценивают параметры плоскости орбиты и затем определяют оценки восходящего узла (Ω) и наклона орбиты (i).
- 5) Оценивание времени прохождения перигея (t_p) осуществляют путем применения уравнения Кеплера, связывающего положение КА на орбите с временем.

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

Чему равняется долгота восходящего узла орбиты и угол наклона орбиты космического аппарата, изображенного на схеме?



- 1) $\Omega = 0^\circ$ и $i = 0^\circ$;
- 2) $\Omega = 90^\circ$ и $i = 0^\circ$;
- 3) $\Omega = 270^\circ$ и $i = 90^\circ$;
- 4) $\Omega = 90^\circ$ и $i = 90^\circ$;
- 5) $\Omega = 180^\circ$ и $i = 90^\circ$.