

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «МЕХАНИКА ПОЛЕТА»

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель дисциплины – изучить теоретические основы и конкретные методы математического описания и исследования движения летательных аппаратов.

Задачи дисциплины – научить студентов понимать и применять современные математические методы ТАУ для описания и исследования моделей движения летательных аппаратов.

Компетенции, достижение которых планируется по завершении изучения курса (см. табл. 1):

Таблица 1

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры	Знать:методы построения математических моделей летательных аппаратов с учетом дополнительных степеней свободы.
	Уметь:составлять на основе дифференциальных и алгебраических уравнений структурную схему системы
	Владеть:практическими навыками разработки математических моделей летательных аппаратов.
ПК-31 способностью на основе системного подхода разрабатывать модели и выполнять теоретические, лабораторные и натурные испытания и эксперименты для решения эксплуатационных задач с использованием современной аппаратуры	Знать:особенности математических моделей летательных аппаратов в различных условиях полета;
	Уметь:решать практические задачи на основе системного подхода
	Владеть:практическими навыками разработки математических моделей летательных аппаратов
ПК-35 способностью принимать в эксплуатацию приборы и агрегаты систем и обрабатывать эксплуатационную документацию	Знать:основные положения эксплуатации систем управления ЛА
	Уметь:проводить настройку приборов в соответствии со стандартами и ТУ
	Владеть:навыками использования измерительных приборов
ПК-36 способностью осуществлять эксплуатацию приборов и агрегатов в соответствии с эксплуатационной документацией, принимать решения о соответствии фактических характеристик эксплуатационного качества принимаемой в эксплуатацию и эксплуатируемой техники требуемым значениям	Знать:способы проверки приборов и устройств СУ движением ЛА
	Уметь:использовать методы проверки приборов и устройств СУ движением ЛА
	Владеть:навыками проведения расчёта и выполнения анализа эксплуатационных характеристик ЛА

ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов систем управления движением летательных аппаратов, включая разработку их архитектуры, математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования	Знать:назначение основных элементов бортового вычислительного комплекса
	Уметь:разрабатывать математические модели ЛА
	Владеть:приемами формирования облика бортовых вычислительных комплексов

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение в авиационную и космическую технику: история развития авиации, ракетной техники и космонавтики. Типы летательных аппаратов.	6	2	4	0
2	Системы управления полетом; автоматические и автоматизированные системы.	8	2	4	2
3	Аэродинамические схемы, органы управления.	12	2	8	2
4	Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете.	14	4	8	2
5	Уравнения пространственного движения летательных аппаратов. Разделение уравнений на уравнения продольного и бокового движений, на движение центра масс и вращение вокруг центра масс.	14	4	8	2
6	Баллистика летательных аппаратов. Параболическая теория, определение промахов по дальности, баллистические коэффициенты, баллистическая функция. Управление дальностью полета в общей постановке.	16	6	8	2
7	Уравнения движения космических летательных аппаратов. Определение основных характеристик полета в рамках эллиптической теории. Задачи управления движением. Коррекция траекторий. Гоманов-ские переходы между орбитами.	14	4	8	2
8	Линеаризация уравнений движения летательного аппарата. Передаточные функции, частотные характеристики, устойчивость и управляемость летательных аппаратов.	14	4	8	2
9	Влияние упругих деформаций корпуса летательного аппарата и колебаний жидкости в баках на динамику движения летательного аппарата в центральном гравитационном поле. Методы стабилизации движения.	14	4	8	2

## ЛЕКЦИИ

Таблица 3

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение в авиационную и космическую технику: история развития авиации, ракетной техники и космонавтики. Типы летательных аппаратов.	2
2	2	Системы управления полетом; автоматические и автоматизированные системы.	2
3	3	Аэродинамические схемы, органы управления.	2
4	4	Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете.	4
5	5	Уравнения пространственного движения летательных аппаратов. Разделение уравнений на уравнения продольного и бокового движений, на движение центра масс и вращение вокруг центра масс.	2
6	5	Уравнения пространственного движения летательных аппаратов. Разделение уравнений на уравнения продольного и бокового движений, на движение центра масс и вращение вокруг центра масс.	2
7	6	Баллистика летательных аппаратов. Параболическая теория, определение промахов по дальности, баллистические коэффициенты, баллистическая функция. Управление дальностью полета в общей постановке.	4
8	6	Баллистика летательных аппаратов. Параболическая теория, определение промахов по дальности, баллистические коэффициенты, баллистическая функция. Управление дальностью полета в общей постановке.	2
9	7	Уравнения движения космических летательных аппаратов. Определение основных характеристик полета в рамках эллиптической теории. Задачи управления движением. Коррекция траекторий. Гомановские переходы между орбитами.	4
10	8	Линеаризация уравнений движения летательного аппарата. Передаточные функции, частотные характеристики, устойчивость и управляемость летательных аппаратов.	2
11	8	Линеаризация уравнений движения летательного аппарата. Передаточные функции, частотные характеристики, устойчивость и управляемость летательных аппаратов.	2
12	9	Влияние упругих деформаций корпуса летательного аппарата и колебаний жидкости в баках на динамику движения летательного аппарата в центральном гравитационном поле. Методы стабилизации движения.	4

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Таблица 4

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Введение в авиационную и космическую технику: история развития авиации, ракетной техники и космонавтики. Типы летательных аппаратов.	4
2	2	Системы управления полетом; автоматические и автоматизированные системы.	4
3	3	Аэродинамические схемы	4
4	3	Органы управления.	4
5	4	Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете	4
6	4	Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете	4
7	5	Уравнения пространственного движения летательных аппаратов.	4
8	5	Разделение уравнений на уравнения продольного и бокового движений, на движение центра масс и вращение вокруг центра масс.	4
9	6	Баллистика летательных аппаратов. Параболическая теория, определение промахов по дальности, баллистические коэффициенты, баллистическая функция.	4
10	6	Управление дальностью полета в общей постановке.	4
11	7	Уравнения движения космических летательных аппаратов. Определение основных характеристик полета в рамках эллиптической теории.	4
12	7	Задачи управления движением. Коррекция траекторий. Гомановские переходы между орбитами.	4
13	8	Линеаризация уравнений движения летательного аппарата.	4
14	8	Передаточные функции, частотные характеристики, устойчивость и управляемость летательных аппаратов.	4
15	9	Влияние упругих деформаций корпуса летательного аппарата и колебаний жидкости в баках на динамику движения летательного аппарата в центральном гравитационном поле.	4
16	9	Методы стабилизации движения.	4

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Таблица 5

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	2	Системы управления полетом; автоматические и автоматизированные системы.	2
2	3	Аэродинамические схемы, органы управления.	2
3	4	Силы и моменты, действующие на летательный аппарат в полете.	2
4	5	Уравнения пространственного движения летательных аппаратов.	2

5	6	Баллистика летательных аппаратов. Параболическая теория, определение промахов по дальности, баллистические коэффициенты, баллистическая функция.	2
6	7	Уравнения движения космических летательных аппаратов. Определение основных характеристик полета в рамках эллиптической теории.	2
7	8	Линеаризация уравнений движения летательного аппарата. Передаточные функции, частотные характеристики.	2
8	9	Влияние упругих деформаций корпуса летательного аппарата и колебаний жидкости в баках на динамику движения летательного аппарата в центральном гравитационном поле.	2

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Таблица 6

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	Осн. эл. 1,2,, доп.1	36
Выполнение курсовой работы. Результат выполнения работы представляется на защиту в виде оформленного в соответствии с требованиями отчета на 20-30 листах, который содержит описание ЛА, описание уравнений движения, определение параметров движения ЛА.	Осн.эл.1,2, Доп. печ. 1,2	56
Подготовка к практическим занятиям	Осн.эл.1,2	24
Подготовка к зачету	Осн. эл. 1,2,, доп.1	24

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Таблица 7

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры	Экзамен	1-5
Все разделы	ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов систем управления движением летательных аппаратов, включая	Экзамен	1-5

	разработку их архитектуры, математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования		
Все разделы	ПК-31 способностью на основе системного подхода разрабатывать модели и выполнять теоретические, лабораторные и натурные испытания и эксперименты для решения эксплуатационных задач с использованием современной аппаратуры	Экзамен	6-10
Все разделы	ПК-35 способностью принимать в эксплуатацию приборы и агрегаты систем и обрабатывать эксплуатационную документацию	Экзамен	11-15
Все разделы	ПК-36 способностью осуществлять эксплуатацию приборов и агрегатов в соответствии с эксплуатационной документацией, принимать решения о соответствии фактических характеристик эксплуатационного качества принимаемой в эксплуатацию и эксплуатируемой техники требуемым значениям	Экзамен	16-20
Все разделы	ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры	Зачет	1-7
Все разделы	ПК-31 способностью на основе системного подхода разрабатывать модели и выполнять теоретические, лабораторные и натурные испытания и эксперименты для решения эксплуатационных задач с использованием современной аппаратуры	Зачет	8-31
Все разделы	ПК-35 способностью принимать в эксплуатацию приборы и агрегаты систем и обрабатывать эксплуатационную документацию	Зачет	8-31
Все разделы	ПК-36 способностью осуществлять эксплуатацию приборов и агрегатов в соответствии с эксплуатационной документацией, принимать решения о соответствии фактических характеристик эксплуатационного качества принимаемой в эксплуатацию и эксплуатируемой техники требуемым значениям	Зачет	1-7
Все разделы	ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов систем управления движением летательных аппаратов, включая разработку их архитектуры, математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования	Зачет	8-31
Все разделы	ПК-2 способностью самостоятельно выполнять теоретические, лабораторные и натурные исследования и эксперименты для решения конкурентоспособных научно-исследовательских и	Защита курсовой работы	1

	производственных задач с использованием современной аппаратуры		
Все разделы	ПК-31 способностью на основе системного подхода разрабатывать модели и выполнять теоретические, лабораторные и натурные испытания и эксперименты для решения эксплуатационных задач с использованием современной аппаратуры	Защита курсовой работы	1
Все разделы	ПК-35 способностью принимать в эксплуатацию приборы и агрегаты систем и обрабатывать эксплуатационную документацию	Защита курсовой работы	3
Все разделы	ПК-36 способностью осуществлять эксплуатацию приборов и агрегатов в соответствии с эксплуатационной документацией, принимать решения о соответствии фактических характеристик эксплуатационного качества принимаемой в эксплуатацию и эксплуатируемой техники требуемым значениям	Защита курсовой работы	3
Все разделы	ПСК-9.2 способностью формировать облик бортовых вычислительных комплексов систем управления движением летательных аппаратов, включая разработку их архитектуры, математических моделей и алгоритмов, необходимых для их функционирования	Защита курсовой работы	2

## **ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

### **1. Курсовая работа**

В начале семестра студенту выдается задание на курсовую работу. Отчет по выполненной работе объемом 20-30 листов представляется на защиту. При необходимости студенту задаются уточняющие вопросы.

*Критерии оценивания:*

**Отлично:** Правильно выполнено описание ЛА, описание уравнений движения, определение параметров движения ЛА.

**Хорошо:** Выполнено описание ЛА, описание уравнений движения, определение параметров движения ЛА, допускаются незначительные неточности.

**Удовлетворительно:** Выполнено описание ЛА, и описание уравнений движения, допускаются неточности.

**Неудовлетворительно:** Выполнено только описание ЛА, существенные ошибки в понимании материала.

*Курсовая работа должна содержать:*

Титульный лист. Оглавление.

Введение: Вводная часть. Описание цели курсовой работы. Вытекающие из цели задачи.

Описание ЛА (п. 1): Общая информация о ЛА (п.1.1): название ЛА; где и для чего используется; чертежи и фото ЛА. Основные летно-технические характеристики (п.1.2). Основные массо-геометрические характеристики (п. 1.3). Аэродинамические характеристики ЛА (1.4): формы и характеристики профилей используемых на ЛА.

Определение параметров движения ЛА (Case\_02) (п. 2): Оценка влияния кривизны Земли на дальность полета (п. 2.1): описать основные системы решаемых уравнений, методы и особенности их решения. Оценка влияния изменение ускорения свободного падения от высоты на движение ЛА по траектории (п.2.2): описать изменение уравнений и оценить влияние изменение ускорения свободного падения. Определение параметров взлета ЛА (Case\_04) (п. 2.3): описать основную систему уравнений; описать начальные данные; привести рассчитанные параметры. Определение параметров набора высоты (Case\_05) (п. 2.4): описать основную систему уравнений; описать начальные данные; привести рассчитанные параметры. Определение предельной высоты полета (Case\_06) (п. 2.5): описать основную систему уравнений; привести рассчитанные параметры. Определение параметров горизонтального полета (п. 2.6): описать основные расчетные зависимости; привести рассчитанные параметры. Вывод по главе (п. 2.7): провести общий сравнительный анализ полученных результатов на разных участках полета ЛА.

Определение параметров движения относительно центра масс с учетом моментов, действующих на ЛА (п. 3): Исходная система уравнений (п. 3.1). Исходные данные (п. 3.2.). Метод решения (п. 3.3.). Результаты (п. 3.4.).

Оценка точности полученного решения в п. 2.4. (п. 4). Метод оценки точности (п. 4.1). Исходные данные (п. 4.2). Результаты оценки точности (п. 4.3).



Выводы и заключение: описать общие выводы по каждой главе и сделать подведение итогов полученных результатов.

Список литературы.

## **2. Зачет**

Студенту задается по 2 вопроса из перечня (1-7 и 8-31). В случае, если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы.

*Критерии оценивания:*

Зачтено: правильный ответ на 2 вопроса, показаны систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение использовать материалы изученной дисциплины.

Не зачтено: ответ только на 1 вопрос, серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины.

*Вопросы*

1. Назовите типы управляющих органов летательных аппаратов.
2. Как формируются управляющие силы и моменты газодинамических органов управления?
3. Определите возможные области применения комбинированных органов управления.
4. Как вычисляются управляющие силы и моменты при движении в атмосфере?
5. Как вычисляются управляющие силы и моменты при движении в безвоздушном пространстве?
6. Как проявляется действие ветра на движение летательного аппарата?
7. Назовите возмущающие факторы, действующие на летательный аппарат (кроме ветра).
8. Запишите уравнения Мещерского для движения тела переменной массы.
9. Запишите уравнения для движения тела переменного состава. Уравнения для движения центра масс и уравнения для вращательного движения вокруг центра масс.
10. Определите физический смысл составляющих, входящих в уравнения движения тела переменного состава?
11. Какие системы координат используются в полной системе дифференциальных уравнений? Определите матрицы направляющих косинусов для систем координат?
12. При каких условиях возможно разбиение движения летательного аппарата на продольное и боковое?
13. При каких условиях возможно разбиение движения летательного аппарата на движение центра масс и вращение вокруг центра масс?

14. Запишите общую форму линеаризованных уравнений нелинейной динамической системы. Какие особенности эта форма имеет для математической модели летательного аппарата?

15. Определите область применения параболической теории.

16. Каков физический смысл и как вычисляются баллистические производные?

17. Как определяется промах по дальности? Какие факторы влияют на его величину?

18. Что такое кажущееся ускорение и как оно измеряется?

19. Как формируется приборный состав системы управления дальностью? Определите область применения эллиптической теории.

20. Определите исходные данные, при которых реализуются различные типы траекторий?

21. Как вычисляются основные параметры движения баллистической ракеты при использовании эллиптической теории?

22. Как вычисляются баллистические производные в эллиптической теории?

23. Дайте определение передаточной функции летательного аппарата по управляющим и возмущающим воздействиям.

24. Запишите передаточные функции, полученные при линеаризации «укороченной» системы дифференциальных уравнений.

25. На примере канала тангажа определите условия, при которых возможно упрощение передаточных функций.

26. Сформулируйте основные критерии устойчивости линейных динамических систем.

27. Определите физический смысл понятия «статически неустойчивый летательный аппарат».

28. Определите характерные особенности структурных схем и частотных характеристик устойчивых и неустойчивых летательных аппаратов.

29. Определите передаточные функции баллистической ракеты при учете изгибных колебаний корпуса.

30. Определите передаточные функции баллистической ракеты при учете колебаний жидкого наполнения баков.

31. Назовите характерные особенности структурных схем при учете дополнительных степеней свободы.

### **3. Экзамен**

Студенту задается 5 вопросов. В случае, если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы по данной теме.

*Критерии оценивания:*

*Отлично:* правильный ответ на 5 вопросов, показаны систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение использовать материалы изученной дисциплины.

*Хорошо:* правильный ответ на 4 вопроса, показаны систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение использовать материалы изученной дисциплины, но допущены при этом непринципиальные ошибки.

*Удовлетворительно:* правильный ответ на 3 вопроса, знание материалов изученной дисциплины не в полном объеме.

*Неудовлетворительно:* ответ менее, чем на 3 вопроса, серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины.

#### *Вопросы*

1. Назовите типы управляющих органов летательных аппаратов.
2. Как формируются управляющие силы и моменты газодинамических органов управления?
3. Определите возможные области применения комбинированных органов управления.
4. Как вычисляются управляющие силы и моменты при движении в атмосфере?
5. Как вычисляются управляющие силы и моменты при движении в безвоздушном пространстве?
6. Как проявляется действие ветра на движение летательного аппарата?
7. Назовите возмущающие факторы, действующие на летательный аппарат (кроме ветра).
8. Запишите уравнения Мещерского для движения тела переменной массы.
9. Запишите уравнения для движения тела переменного состава. Уравнения для движения центра масс и уравнения для вращательного движения вокруг центра масс.
10. Определите физический смысл составляющих, входящих в уравнения движения тела переменного состава?
11. Какие системы координат используются в полной системе дифференциальных уравнений?
12. Определите матрицы направляющих косинусов для систем координат?
13. При каких условиях возможно разбиение движения летательного аппарата на продольное и боковое?
14. При каких условиях возможно разбиение движения летательного аппарата на движение центра масс и вращение вокруг центра масс?
15. Запишите общую форму линеаризованных уравнений нелинейной динамической системы. Какие особенности эта форма имеет для математической модели летательного аппарата?
16. Определите область применения параболической теории.
17. Каков физический смысл и как вычисляются баллистические производные?
18. Как определяется промах по дальности? Какие факторы влияют на его величину?
19. Что такое кажущееся ускорение и как оно измеряется?
20. Как формируется приборный состав системы управления дальностью?

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Печатная литература

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) дополнительная литература:

1. Абгарян, К. А. Динамика ракет Учеб. для вузов Под ред. В. П. Мишина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 463 с. ил.

2. Сидельников, Р. В. Динамика полета [Текст] учеб. пособие Р. В. Сидельников, А. В. Демьянцев, В. И. Донцов ; Юж.-Урал гос. ун-т ; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 1997. - 67 с. 20 ил., табл.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Ракетная техника и космонавтика
2. Теория и системы управления

Электронная учебно-методическая документация (табл. 8):

Таблица 8

№	Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Основная литература	Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика: Учебник для студентов вузов. [Электронный ресурс] / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лысенко. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2005. — 608 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/767">http://e.lanbook.com/book/767</a> — Загл. с экрана.	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный
2	Основная литература	Ефремов, А.В. Динамика полета: учебник для студентов высших учебных заведений. [Электронный ресурс] / А.В. Ефремов, В.Ф. Захарченко, В.Н. Овчаренко, В.Л. Суханов. — Электрон. дан. — М. : Машиностроение, 2011. — 776 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/2013">http://e.lanbook.com/book/2013</a> — Загл. с экрана.	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие сведения.....	1
Содержание дисциплины.....	2
Лекции .....	3
Практические занятия.....	4
Лабораторные занятия .....	4
Самостоятельная работа студента .....	5
Паспорт фонда оценочных средств.....	5
Типовые задания, процедуры проведения, критерии оценивания.....	7
1. Курсовая работа.....	7
2. Зачет .....	9
3. Экзамен .....	10
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	12