

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ»

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель дисциплины – усвоение основ и принципов работы систем управления летательными аппаратами.

Задачи дисциплины – научить студентов методикам и средствам решения задач по соответствующей области систем управления летательными аппаратами; изложить принципы работы систем управления летательными аппаратами; научить создавать математические модели движения летательных аппаратов и работы их систем управления; научить разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты систем управления.

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)
ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием работы с компьютером как средством управления информацией	Знать: основные методы получения сигналов с использованием имитационного и полунатурного моделирования
	Уметь: выполнять теоретический анализ математических моделей систем управления летательными аппаратами
	Владеть: навыками математического и полунатурного моделирования СУЛА
ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Знать: принципы построения систем управления ЛА; основные элементы системы управления: датчики, управляющие устройства, исполнительные механизмы
	Уметь: проводить анализ установившихся и переходных режимов работы системы ее устойчивости и показателей качества; синтезировать управляющие и корректирующие устройства СУ
	Владеть: навыками проверки работоспособности оборудования системы управления и его настройки; методикой проведения натурных испытаний
ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Знать: характеристики ЛА как объекта управления
	Уметь: рассчитывать или определять экспериментально характеристики элементов и всей системы управления
	Владеть: методами математического и полунатурного моделирования СУЛА

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	ЛА как объект управления	32	16	16	0
2	Системы управления и навигации ЛА	80	32	32	16
3	Управление и наведение ЛА	96	16	48	32

## ЛЕКЦИИ

Таблица 3

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Цели и задачи дисциплины. Особенности ЛА как объекта управления. Ограниченность классической теории управления. Новые методы. Имитационное и полунатурное моделирование	2
2	1	Классификация ЛА: баллистические ракеты; ракеты-носители, КЛА; самолеты и самолеты-снаряды; беспилотные ЛА и др. Особенности СУ, обусловленные целью управления, условиями полета, конструкцией и т. д. Авиационные и ракетные комплексы. Типовые структуры систем управления	2
3	1	ЛА как объект управления. Силы и моменты, действующие на ЛА: сила тяги двигательной установки; сила притяжения; аэродинамическая сила и момент. Силы и моменты, создаваемые органами управления. Способы управления. Уравнения движения, их особенности. Способы определения сил и моментов. Стандартная атмосфера. Возмущенное и невозмущенное движение	2
4	1	Методы интегрирования уравнений движения. Характеристики траекторий (орбит). Упрощение уравнений. Линеаризация. Передаточные функции и частотные характеристики. Моделирование ЛА на аналоговых и цифровых вычислительных машинах	2
5	1	Датчики систем инерциальной навигации. Акселерометры, датчики угловой скорости, сравнительная характеристика ИНС и БИНС, датчики и системы инерциальной навигации на основе MEMS технологии. Современные системы инерциальной навигации и перспективы их развития	2
6	1	Датчики систем спутниковой навигации. ГЛОНАСС и GPS приемники. Алгоритмы обработки сигнала	2
7	1	Управляющие устройства СУЛА. Логическое, аналоговое и цифровое управление. Бортовые цифровые управляющие вычислительные машины. Специализированные информационно вычислительные системы	2
8	1	Исполнительные механизмы систем управления ЛА	2
9	2	Проблемы навигационного обеспечения подвижных объектов в	2

		автономных, командных или комбинированных системах управления	
10	2	Инерциальные радиолокационные, оптические или инфракрасные (тепловые) системы навигации. Корреляционные и интегрированные системы обработки измерительной информации	2
11	2	Параметры ориентации ЛА: направляющие косинусы, углы Эйлера и Крылова, вектор конечного поворота, параметры Родрига - Гамильтона и Кейли – Клейна.	6
12	2	Кинематические и динамические уравнения вращения ЛА. Системы управления углами тангажа, крена, и рысканья (курса)	6
13	2	Системы стабилизации движения ЛА	6
14	2	Задача стабилизации движения ЛА и трудности ее решения. Стабилизация слабо демпфированных или условно устойчивых объектов. Грубые или самонастраивающиеся системы управления? Идентификация параметров объекта управления и алгоритм настройки. Системы с моделью	6
15	2	СУРТ как метод повышения энергоэффективности. Принципы построения и структурные схемы. Алгоритмы управления	4
16	3	Наведение как задача управления движением центра масс и ориентацией ЛА. Методы наведения на неподвижные, программно и случайно движущиеся цели. Кинематические траектории и перегрузки	4
17	3	Возмущенное и невозмущенное движение. Устойчивость по Ляпунову. Методы анализа. Точность САУ. Влияние цифровых управляющих устройств на устойчивость и качество САУ	2
18	3	Автоколебания. Влияние нелинейных элементов на параметры колебаний. Методы исследования	2
19	3	САУ статически неустойчивого упругого ЛА. Математическая модель объекта. Методы подавления колебаний. Выбор и расположение датчиков	2
20	3	Устойчивость контура стабилизации при наличии упругих колебаний. Синтез автомата стабилизации, учитывающего несколько тонов колебаний	2
21	3	Управление ракетой-носителем	2
22	3	Управление КЛА. Изменение параметров орбиты, сближение и стыковка, межпланетные перелеты и т.д.	2

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Таблица 4

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия	Кол-во часов
1	1	Структурная схема ЛА, как твердого тела. Математические модели и структурные схемы силы притяжения, стандартной атмосферы и силы аэродинамического сопротивления, движения тела переменной массы	2
2	1	Структурная схема ЛА как объекта управления. Математические модели датчиков, органов управления и исполнительных механизмов	2
3	1	Траектории движения ЛА на активном и пассивном участке траектории	2
4	1	Математические модели и структурные схемы датчиков угловой скорости	2
5	1	Структурная схема акселерометра. Статические и динамические характеристики	2
6	1	Математические модели и структурные схемы исполнительных механизмов	2
7	1	ИНС на основе ГСП. Структурная схема	2
8	1	Структурные схемы БИНС	2
9	2	Спутниковая навигация	2
10	2	Параметры ориентации ЛА. Преобразование одних параметров в другие	6
11	2	Кинематические уравнения вращения ЛА	6
12	2	Динамические уравнения вращения ЛА	6
13	2	Управляющие и корректирующие и исполнительные устройства систем стабилизации	6
14	2	Структурные схемы систем стабилизации. Частотные характеристики	6
15	3	Нелинейные и оптимальные алгоритмы стабилизации	6
16	3	Функциональные схемы СУРТ. Алгоритмы управления	6
17	3	Уравнения и структурные схемы методов наведения	6
18	3	Располагаемые и допустимые перегрузки. Наведение при ограничении перегрузок. Влияние кинематических схем на динамические характеристики систем наведения	6
19	3	Свободные и вынужденные колебания. Определение параметров	6
20	3	Структурная схема системы стабилизации неустойчивого упругого ЛА	6
21	3	Структурная схема системы управления ракетой-носителем	6
22	3	Расчет управляющих воздействий для осуществления маневров КЛА	6

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Таблица 5

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	2	Определение параметров элементов системы управления ЛА по результатам стендовых и летных испытаний	4
2	2	Статические и динамические характеристики систем управления ЛА	4
3	2	Исследование точностных характеристик БИНС на двухступенном моделирующем стенде	4
4	2	Измерение частотных характеристик системы стабилизации продольного движения ЛА	4
5	3	Одноосная система стабилизации углового положения объекта на качающемся основании	4
6	3	Исследование траекторий и перегрузок при различных методах наведения	4
7	3	Определение параметров автоколебаний ЛА при релейном управлении	4
8	3	Применение систем управления с переменной структурой для обеспечения устойчивости структурно неустойчивых ЛА	4
9	3	Исследование алгоритмов управления неустойчивым ЛА	4
10	3	Сравнение методов оптимального управления движением ракеты-носителя	4
11	3	Исследование траекторий КЛА при одно, двух и трех импульсных воздействиях	4
12	3	Исследование траекторий спуска КЛА с орбиты	4

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Таблица 6

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Изучение отдельных разделов дисциплины (7 семестр)	Основная - 1 (с.7-184); 3 (с. 24-39); 4 (с. 79)	16
Изучение отдельных разделов дисциплины (8 семестр)	Основная - 2 (с. 34-563); 1 (с. 254-271)	64
Подготовка к зачету	Основная 1-3. Дополнительная - 1	24
Подготовка к экзамену (8 семестр)	Основная 1-3. Дополнительная - 2	36
Выполнение курсового проекта на тему "Управление угловым положением космического ЛА"	Основная - 1 (с. 7-155); 4-6. Дополнительная - 1-3	84
Подготовка к экзамену (9 семестр)	Основная 2-6. Дополнительная - 1-2	36

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Таблица 7

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием работы с компьютером как средством управления информацией	Защита курсового проекта	1
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Защита курсового проекта	2
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Защита курсового проекта	3
Все разделы	ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием работы с компьютером как средством управления информацией	Зачет	1
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Зачет	1
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Зачет	1
Все разделы	ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием работы с компьютером как средством управления информацией	Экзамен (8 семестр)	1
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Экзамен (8 семестр)	2
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы	Экзамен	1

	управления движением летательных аппаратов	(8 семестр)	
Все разделы	ОПК-2 владением основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, наличием работы с компьютером как средством управления информацией	Экзамен (9 семестр)	1
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Экзамен (9 семестр)	2
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Экзамен (9 семестр)	1

## ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

### 1. Защита курсового проекта

В начале семестра студенту выдается индивидуальное задание на управление угловым положением космического летательного аппарата. Студент выполняет все необходимые расчеты и представляет на защиту оформленную пояснительную записку. Преподаватель задает уточняющие вопросы по содержанию работы.

*Критерии оценивания:*

*Отлично:* Правильно выполнены все 3 главы работы, студент отвечает на все вопросы.

*Хорошо:* Выполнены все 3 главы работы, но имеются некоторые неточности, студент отвечает на большинство задаваемых вопросов.

*Удовлетворительно:* Выполнены только 2 главы работы, студент слабо подготовлен и не отвечает на вопросы.

*Неудовлетворительно:* Выполнено менее 2 глав работы.

*Задание на курсовое проектирование*

Задан объект управления:

$$W_1(s) = \frac{1 + T_2 s^2}{1 + s + T_1 s^2}$$

$$W_2(s) = \frac{T_1 s}{1 + s + T_2 s^2 + T_1 s^3}$$

Параметры объекта:  $T_1=0,2$ ;  $T_2=0.8$ .



## **2. Зачет**

Студенту задается 1 вопрос из перечня. Если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы

*Критерии оценивания:*

*Зачтено:* Правильный ответ на вопрос, допускаются неточности.

*Не зачтено:* Неправильный ответ на вопрос.

*Вопросы*

1. Общие сведения о баллистических ракетах.
2. Траектории баллистических ракет (основные понятия, элементы траектории).
3. Уравнения движения баллистической ракеты на пассивном участке траектории.
4. Формы траекторий баллистических ракет (математическое описание, характерные особенности).
5. Способы управления дальностью полета баллистической ракеты.
6. Уравнения движения баллистической ракеты на заключительном участке траектории при входе в атмосферу.
7. Энергетика активного участка траектории баллистической ракеты (уравнение Циолковского, понятие удельного импульса силы).
8. Способы увеличения конечной скорости баллистической ракеты на активном участке.
9. Общие сведения об органах управления полетом баллистической ракеты.
10. Принципы действия, типы акселерометров, уравнения движения.

## **3. Экзамен (8 семестр)**

Студенту задаются 2 вопроса из 1 и 2 частей. В случае, если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы по этой части

*Критерии оценивания:*

*Отлично:* Правильный ответ на 2 вопроса.

*Хорошо:* Правильный ответ на 2 вопроса, допускаются незначительные ошибки.

*Удовлетворительно:* Правильный ответ на 1 вопрос.

*Неудовлетворительно:* Ответ менее, чем на 1 вопрос.

*Вопросы*

**I ЧАСТЬ**

1. Общие сведения о баллистических ракетах.
2. Траектории баллистических ракет (основные понятия, элементы траектории).
3. Уравнения движения баллистической ракеты на пассивном участке траектории.

4. Формы траекторий баллистических ракет (математическое описание, характерные особенности).
5. Эллиптическая дальность и время полета баллистической ракеты.
6. Коэффициенты ошибок эллиптической дальности.
7. Способы управления дальностью полета баллистической ракеты.
8. Уравнения движения баллистической ракеты на заключительном участке траектории при входе в атмосферу.
9. Энергетика активного участка траектории баллистической ракеты (уравнение Циолковского, понятие удельного импульса силы).

## II ЧАСТЬ

1. Способы увеличения конечной скорости баллистической ракеты на активном участке.
2. Программа угла наклона траектории баллистической ракеты.
3. Общие сведения об органах управления полетом баллистической ракеты.
4. Системы автоматического управления дальностью полета баллистической ракеты.
5. Принципы действия, типы акселерометров, уравнения движения.
6. Система стабилизации угла крена баллистической ракеты.
7. Система боковой стабилизации баллистической ракеты. Уравнения бокового возмущенного движения.
8. Система стабилизации угла рыскания БР (уравнения движения, законы управления, оценка устойчивости и качества динамики).
9. Влияние упругого изгиба корпуса баллистической ракеты на устойчивость системы стабилизации.
10. Влияние колебаний жидких компонентов на динамику ракеты

## 4. Экзамен (9 семестр)

Студенту задаются 2 вопроса из 1 и 2 частей. В случае, если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы по этой части

*Критерии оценивания:*

*Отлично:* Правильный ответ на 2 вопроса.

*Хорошо:* Правильный ответ на 2 вопроса, допускаются незначительные ошибки.

*Удовлетворительно:* Правильный ответ на 1 вопрос.

*Неудовлетворительно:* Ответ менее, чем на 1 вопрос.

*Вопросы*

## I ЧАСТЬ

1. Система боковой коррекции траектории баллистической ракеты.
2. Система нормальной стабилизации баллистической ракеты.
3. Уравнения движения одноосной системы управления ориентацией КЛА.
4. Уравнения углового движения КЛА.

5. Основные функции системы управления движением КЛА. Характеристики орбиты КЛА. Системы координат.

6. Принципы построения систем управления ориентацией и стабилизации КЛА.

7. Гравитационная стабилизация космического летательного аппарата.

8. Аэродинамическая стабилизация КЛА.

9. Стабилизация КЛА с помощью сил светового давления.

10. Стабилизация КЛА с помощью вращения.

11. Типичные задачи стабилизации и управления КЛА при помощи активных систем.

## II ЧАСТЬ

1. Чувствительные элементы КЛА (гироскопические, электронно-оптические датчики ориентации, приборы ориентации относительно планет, Солнца и звезд).

2. Основные характеристики двигателей постоянной тяги для управления космическим летательным аппаратом.

3. Инерционные маховичные двигатели. Силовые гироскопы (область применения, особенности, основные характеристики, законы управления).

4. Моментный магнитопривод применительно к управлению КЛА.

5. Типичные задачи управления угловым движением КЛА при помощи активных систем.

6. Стабилизация углового положения КЛА с помощью линейных алгоритмов управления.

7. Исследование устойчивости углового движения КЛА методом фазовой плоскости.

8. Исследование устойчивости системы стабилизации КЛА методом точечных преобразований. Устойчивость «в большом».

9. Исследование быстроты затухания переходных процессов методом фазовой плоскости. Скользящий режим.

10. Система угловой стабилизации КЛА с логическим алгоритмом формирования управления.

11. Система угловой стабилизации КЛА с использованием секционированного датчика углового отклонения.

12. Программы управления КЛА (режимы гашения угловой скорости, поиска опорных ориентиров, стабилизации углового положения и др.).

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Печатная литература

#### *а) основная литература:*

1. Разоренов, Г. Н. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями) Учеб. для вузов по специальности "Системы упр. летат. аппаратами" направления подгот. дипломир. специалистов "Системы упр. движением и навигация" Г. Н. Разоренов, Э. А. Бахрамов, Ю. Ф. Титов; Под ред. Г. Н. Разоренова. - М.: Машиностроение, 2003. - 581, [1] с. ил.

2. Лысенко, Л. Н. Наведение и навигация баллистических ракет [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению "Ракетостроение и космонавтика" и "Гидроаэродинамика и динамика полета" Л. Н. Лысенко. - М.: Издательство МГТУ, 2007. - 669, [1] с. ил. 22 см.

3. Кузовков, Н. Т. Системы стабилизации летательных аппаратов (баллистических и зенитных ракет) Учеб. пособие для студентов авиац. спец. вузов Н. Т. Кузовков. - М.: Высшая школа, 1976. - 304 с. ил.

4. Колесников, К. С. Динамика ракет Учеб. по специальностям "Ракетостроение" и "Косм. летат. аппараты и разгон. блоки" К. С. Колесников. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Машиностроение, 2003. - 519 с. ил.

5. Дмитриевский, А. А. Внешняя баллистика Учеб. для вузов по специальности "Баллистика" направления подгот. "Гидроаэродинамика и динамика полета" А. А. Дмитриевский, Л. Н. Лысенко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 2005. - 607, [1] с. ил.

6. Долбенков, В. И. Simulink в задачах систем автоматического управления Учеб. пособие В. И. Долбенков; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Системы управления; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. - 101, [2] с.

#### *б) дополнительная литература:*

1. Чембровский, О. А. Общие принципы проектирования систем управления [Текст] О. А. Чембровский, Ю. И. Топчеев, Г. В. Самойлович. - М.: Машиностроение, 1972. - 414 с. черт.

2. Вермишев, Ю. Х. Основы автоматизации проектирования. - М.: Радио и связь, 1988. - 278 с. ил.

3. Ануфриев, И. Е. MATLAB 7 Наиболее полное рук. И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, Е. Н. Смирнова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 1104 с.

4. Остославский, И. В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов [Текст] учеб. для авиац. вузов и фак. И. В. Остославский, И. В. Стражева. - М.: Оборонгиз, 1963. - 430 с. ил.

*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

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Общие сведения.....	1
Содержание дисциплины.....	2
Лекции .....	2
Практические занятия.....	4
Лабораторные работы .....	5
Самостоятельная работа студента .....	5
Паспорт фонда оценочных средств .....	6
Типовые задания, процедуры проведения, критерии оценивания .....	7
1. Защита курсового проекта .....	7
2. Зачет .....	9
3. Экзамен (8 семестр).....	9
4. Экзамен (9 семестр).....	10
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	12