


УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета


(подпись) Юнаков Л. П.
ФИО
« 31 » 05 20 22

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТАУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Направление/специальность
подготовки

24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения
космической техники

Специализация/профиль/программа
подготовки

Проектная баллистика ракет и космических систем

Уровень высшего образования

Специалитет

Форма обучения

Очная

Факультет

А Ракетно-космической техники

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	
4	7	5	180	85	34	17	34	95	36	0	59	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Петрова Ирина Леонидовна, к.т.н., доцент



Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТАУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ 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:

ОПК-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности
ПСК-5 — Способность к разработке структуры систем управления БПЛА
ПСК-6 — Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-1

знания:

на уровне представлений:

- знать назначение и задачи нелинейных систем управления летальных и космических аппаратов;
- знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;

на уровне воспроизведения и понимания:

- знать назначение и задачи нелинейных систем управления летальных и космических аппаратов;
- знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;
- знать принципы и методы построения математических моделей нелинейных систем автоматического управления (САУ), передаточные функции и частотные характеристики нелинейных САУ летательных и космических аппаратов;

• знать основы метода пространства состояний: управляемость и наблюдаемость, синтез наблюдающих устройств полного и неполного порядка;

• знать метод фазового пространства, типы состояний равновесия, особые траектории;

• знать методы анализа устойчивости и точности нелинейных САУ при детерминированных и случайных воздействиях, синтез корректирующих устройств (метод гармонической линеаризации, алгебраические и частотные методы определения параметров и устойчивости периодических решений);

умения:

теоретически и практически уметь –

- составлять математические модели нелинейных САУ; строить фазовые портреты нелинейных

САУ;

• выполнять анализ нелинейных САУ частотными методами;

• проводить исследование нелинейных САУ методами математического моделирования;

• выполнять анализ устойчивости и качества нелинейных САУ;

• уметь исследовать автоколебания, возникающие в нелинейных системах управления летальных и космических аппаратов;

• производить оценку установившихся режимов в нелинейных системах управления летательными аппаратами;

навыки:

иметь навыки и владеть –

основными методами анализа и синтеза систем автоматического управления движением

объектов:

• математическим аппаратом теории непрерывных нелинейных САУ;

• методами анализа устойчивости и точности непрерывных нелинейных САУ.

ПСК-5

знания:

на уровне представлений:

- знать назначение и задачи нелинейных систем управления летальных и космических аппаратов;
- знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;

на уровне воспроизведения и понимания:

- знать назначение и задачи нелинейных систем управления летальных и космических аппаратов;
- знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;
- знать принципы и методы построения математических моделей нелинейных систем автоматического управления (САУ), передаточные функции и частотные характеристики нелинейных САУ летательных и космических аппаратов;

• знать основы метода пространства состояний: управляемость и наблюдаемость, синтез наблюдающих устройств полного и неполного порядка;

• знать метод фазового пространства, типы состояний равновесия, особые траектории;

• знать методы анализа устойчивости и точности нелинейных САУ при детерминированных и случайных воздействиях, синтез корректирующих устройств (метод гармонической линеаризации,

алгебраические и частотные методы определения параметров и устойчивости периодических решений);

умения:

теоретически и практически уметь –

• составлять математические модели нелинейных САУ; строить фазовые портреты нелинейных САУ;

• выполнять анализ нелинейных САУ частотными методами;

• проводить исследование нелинейных САУ методами математического моделирования;

• выполнять анализ устойчивости и качества нелинейных САУ;

• уметь исследовать автоколебания, возникающие в нелинейных системах управления летательных и космических аппаратов;

• производить оценку установившихся режимов в нелинейных системах управления летательными аппаратами;

навыки:

иметь навыки и владеть –

основными методами анализа и синтеза систем автоматического управления движением объектов:

• математическим аппаратом теории непрерывных нелинейных САУ;

• методами анализа устойчивости и точности непрерывных нелинейных САУ.

ПСК-6

знания:

на уровне представлений:

• знать назначение и задачи нелинейных систем управления летательных и космических аппаратов;

• знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;

на уровне воспроизведения и понимания:

• знать назначение и задачи нелинейных систем управления летательных и космических аппаратов;

• знать методы исследования нелинейных систем автоматического управления;

• знать принципы и методы построения математических моделей нелинейных систем автоматического управления (САУ), передаточные функции и частотные характеристики нелинейных САУ летательных и космических аппаратов;

• знать основы метода пространства состояний: управляемость и наблюдаемость, синтез наблюдающих устройств полного и неполного порядка;

• знать метод фазового пространства, типы состояний равновесия, особые траектории;

• знать методы анализа устойчивости и точности нелинейных САУ при детерминированных и случайных воздействиях, синтез корректирующих устройств (метод гармонической линеаризации, алгебраические и частотные методы определения параметров и устойчивости периодических решений);

умения:

теоретически и практически уметь –

• составлять математические модели нелинейных САУ; строить фазовые портреты нелинейных САУ;

• выполнять анализ нелинейных САУ частотными методами;

• проводить исследование нелинейных САУ методами математического моделирования;

• выполнять анализ устойчивости и качества нелинейных САУ;

• уметь исследовать автоколебания, возникающие в нелинейных системах управления летательных и космических аппаратов;

• производить оценку установившихся режимов в нелинейных системах управления летательными аппаратами;

навыки:

иметь навыки и владеть –

основными методами анализа и синтеза систем автоматического управления движением объектов:

• математическим аппаратом теории непрерывных нелинейных САУ;

• методами анализа устойчивости и точности непрерывных нелинейных САУ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТАУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ТАУ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ИНЖЕНЕРНЫЕ ПАКЕТЫ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БАЛЛИСТИКА, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА В СЕМЕСТРЕ, ТАУ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен проводить системный и критический анализ мировых достижений в области ракетостроения и космической техники, тенденций развития навигационно-баллистического обеспечения применения космической техники
- ОПК-6 — Способен разрабатывать физические и математические модели объектов космических и ракетно-транспортных систем, и процессов их управления
- ПСК-2 — Способность к разработке методик исследования баллистических и динамических характеристик при моделировании траекторий полетов
- ПСК-3 — Способность к проведению анализа летно-технических характеристик ЛА
- ПСК-5 — Способность к разработке структуры систем управления БПЛА
- ПСК-6 — Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ПСК-5	ПСК-6
4	7	Раздел 1. Элементы современной теории управления. 1.1. Понятия полной и частичной управляемости. Критерии управляемости. 1.2. Понятия полной и частичной наблюдаемости. Критерии наблюдаемости. 1.3. Постановка задачи оценивания состояния объекта управления. Наблюдатели состояния. 1.4. Идентификация внешних воздействий на систему. 1.5. Принципы построения модальных регуляторов по состоянию и по выходу объекта управления.	33	16	6	4	6	17	10	10	10
4	7	Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах. 2.1. Классификация нелинейностей. 2.2. Особенности процессов в нелинейных системах. Задачи и методы теории нелинейных систем. 2.3. Расчет процессов в нелинейных системах. Метод припасовывания. 2.4. Анализ нелинейных систем методами Ляпунова.	47	21	8	5	8	26	30	30	30
4	7	Раздел 3. Частотные методы анализа нелинейных систем. 3.1. Метод гармонической линеаризации: основные положения, способы вычисления коэффициентов гармонической линеаризации. 3.2. Алгебраический способ определения параметров периодических режимов и исследования их устойчивости. 3.3. Частотный способ определения параметров периодических режимов и исследования их устойчивости. 3.4. Понятие абсолютной устойчивости нелинейной системы. Критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова. 3.5. Исследование автоколебаний и абсолютной устойчивости.	52	26	12	4	10	26	30	30	30
4	7	Раздел 4. Метод фазового пространства. 4.1. Выбор базиса и построение фазовых портретов нелинейных систем. 4.2. Типы особых точек и особых линий, расчет и анализ устойчивости состояний равновесия системы. 4.3. Анализ и синтез нелинейных законов управления методом фазовой плоскости. 4.4. Системы с переменной структурой. Скользящие режимы в нелинейных системах. 4.5. Исследование системы с переменной структурой.	48	22	8	4	10	26	30	30	30
Всего за 7 семестр			180	85	34	17	34	95	100	100	100
Всего по дисциплине			180	85	34	17	34	95	100	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Элементы современной теории управления.	Контрольная работа № 1 по разд. 1.1-1.5	2
2		Понятия полной и частичной управляемости. Критерии управляемости. Понятия полной и частичной наблюдаемости. Критерии наблюдаемости.	2
3		Постановка задачи оценивания состояния объекта управления. Наблюдатели состояния. Идентификация внешних воздействий на систему. Принципы построения модальных регуляторов по состоянию и по выходу объекта управления.	2
4	Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах.	Классификация нелинейностей. Особенности процессов в нелинейных системах. Задачи и методы теории нелинейных систем	2
5		Расчет процессов в нелинейных системах. Метод припасовывания. Анализ нелинейных систем методами Ляпунова	6
6	Раздел 3. Частотные методы анализа	Метод гармонической линеаризации: основные положения, способы вычисления коэффициентов гармонической линеаризации.	2
7		Алгебраический способ определения параметров периодических режимов и исследования их устойчивости. Частотный способ определения параметров периодических режимов и исследования их	4

	нелинейных систем.	устойчивости. Понятие абсолютной устойчивости нелинейной системы. Критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова.	
8	Раздел 4. Метод фазового пространства.	Исследование автоколебаний и абсолютной устойчивости.	2
9		Контрольная работа № 2 по разд. 3.1-3.5	2
10		Выбор базиса и построение фазовых портретов нелинейных систем.	2
11		Типы особых точек и особых линий, расчет и анализ устойчивости состояний равновесия системы.	4
12		Системы с переменной структурой. Скользящие режимы в нелинейных системах. Исследование системы с переменной структурой.	2
13		Контрольная работа № 3 по разд. 4.1-4.5	2
Всего за 7 семестр			34

3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Элементы современной теории управления.	Исследование линейной системы угловой стабилизации летательного аппарата. (Лабораторная работа №1)	4
2	Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах.	Исследование нелинейной системы угловой стабилизации летательного аппарата. Исследование влияния запаздывания в рулевом тракте. Исследование вида нелинейностей на качество управления. (Лабораторная работа №2)	5
3	Раздел 3. Частотные методы анализа нелинейных систем.	Исследование нелинейной системы угловой стабилизации летательного аппарата методом гармонической линеаризации. (Лабораторная работа №2).	4
4	Раздел 4. Метод фазового пространства.	Исследование нелинейной системы угловой стабилизации летательного аппарата на фазовой плоскости. (Лабораторная работа №2).	4
Всего за 7 семестр			17

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Элементы современной теории управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 1 и контрольной работе № 1	7
2		ЭТАП 1 выполнения курсового проекта (КП): Обзор литературы по теме курсового проекта. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 1. Обзор литературы по теме курсового проекта. Анализируя и обобщая сведения из литературных источников, приводятся данные об исследуемом прототипе ЛА: основные геометрические и тактико-технические характеристики, параметры траектории движения, системы наведения, аэродинамические коэффициенты и т.д. 2. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. 2.1 На основании общих математических моделей динамики движения ЛА, приведенных в рекомендуемой литературе, используя изученные методы упрощения и аналитического моделирования, выводятся математические модели, описывающие движение прототипа на заданном для исследования участке траектории. 2.2 По разработанным математическим моделям	10

		производится численное моделирование движения ЛА. При расчете на траектории выбирается точка, соответствующая невозмущенному движению (динамические коэффициенты при конкретном, заданном руководителем КП, числе Маха)	
3		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2	16
4	Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах.	ЭТАП 1 выполнения КП: Обзор литературы по теме курсового проекта. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 3. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 3.1 Применяя методы теории автоматического управления, разработанные в п.2 математические модели (в виде системы дифференциальных уравнений) должны быть представлены в виде передаточных функций. Для этого выводятся формулы и рассчитываются динамические коэффициенты, с помощью которых и осуществляется переход от дифференциальных уравнений к передаточным функциям. 3.2 Динамические коэффициенты и параметры передаточных функций объекта исследования рассчитываются для конкретного числа Маха, соответствующего числу Маха в выбранной точке на траектории (п.2)	10
5		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2 и контрольной работе № 2	18
6	Раздел 3. Частотные методы анализа нелинейных систем.	ЭТАП 2 выполнения КП: Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 4. Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). 4.1 Обосновывается выбор контура стабилизации, как наиболее значимого при исследовании движения ЛА на заданном участке траектории. 4.2 Выводятся передаточные функции выбранного контура стабилизации. На основании метода D–разбиения, осуществляется построение области устойчивости и выбор из этой области передаточных чисел автопилота. Границы области устойчивости определяются аналитически, их построение в пакетах математического моделирования возможно лишь для проверки правильности вычислений. 4.3 Производится построение логарифмических амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик разомкнутой системы двумя способами: методами аналитического и математического моделирования. 4.4 Производится определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе на основании результатов построенных графиков АЧХ и ФЧХ и аналитическим методом	8
7	Раздел 4. Метод фазового пространства.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2 и контрольной работе № 3	18
8		ЭТАП 2 выполнения КП: Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 5. Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. 5.1 Расчет переходных процессов производится с учетом выбранных чисел автопилота путем реализации программы расчета на языке программирования или с применением пакетов математического моделирования. Переходные процессы необходимо рассчитать для трех вариантов чисел автопилота из найденной области устойчивости. 5.2 Оценка качества осуществляется по всем изученным критериям: по временным характеристикам, по корням характеристического полинома, по частотным характеристикам. 6. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 6.1 Расчет характерной траектории выбранного прототипа ЛА с учетом управления производится при найденных передаточных числах автопилота. 6.2	8

	Исследование траекторий движения заключается в выборе оптимальных параметров системы управления для получения требуемых показателей устойчивости и точности разрабатываемой системы	
Всего за 7 семестр		95

3.5. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
<p>Этап 1. Название КП: «Разработка математической модели и исследование динамических характеристик летательного аппарата типа «.....» (ЛА выбирается по согласованию с руководителем КП) ЭТАП 1 Обзор литературы по теме курсового проекта. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 1. Обзор литературы по теме курсового проекта. Анализируя и обобщая сведения из литературных источников, приводятся данные об исследуемом прототипе ЛА: основные геометрические и тактико-технические характеристики, параметры траектории движения, системы наведения, аэродинамические коэффициенты и т.д. 2. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. 2.1 На основании общих математических моделей динамики движения ЛА, приведенных в рекомендуемой литературе, используя изученные методы упрощения и аналитического моделирования, выводятся математические модели, описывающие движение прототипа на заданном для исследования участке траектории. 2.2 По разработанным математическим моделям производится численное моделирование движения ЛА. При расчете на траектории выбирается точка, соответствующая невозмущенному движению (динамические коэффициенты при конкретном, заданном руководителем КП, числе Маха). 3. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 3.1 Применяя методы теории автоматического управления, разработанные в п.2 математические модели (в виде системы дифференциальных уравнений) должны быть представлены в виде передаточных функций. Для этого выводятся формулы и рассчитываются динамические коэффициенты, с помощью которых и осуществляется переход от дифференциальных уравнений к передаточным функциям. 3.2 Динамические коэффициенты и параметры передаточных функций объекта исследования рассчитываются для конкретного числа Маха, соответствующего числу Маха в выбранной точке на траектории (п.2)</p>	1 - 8	20
<p>Этап 2. ЭТАП 2 Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 4. Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). 4.1 Обосновывается выбор контура стабилизации, как наиболее значимого при исследовании движения ЛА на заданном участке траектории. 4.2 Выводятся передаточные функции выбранного контура стабилизации. На основании метода D-разбиения, осуществляется построение области устойчивости и выбор из этой области передаточных чисел автопилота. Границы области устойчивости определяются аналитически, их построение в пакетах математического моделирования возможно лишь для проверки правильности вычислений. 4.3 Производится построение логарифмических амплитудно-частотной и фазо-</p>	9 - 17	16

<p>частотной характеристик разомкнутой системы двумя способами: методами аналитического и математического моделирования. 4.4 Производится определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе на основании результатов построенных графиков АЧХ и ФЧХ и аналитическим методом. 5. Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. 5.1 Расчет переходных процессов производится с учетом выбранных чисел автопилота путем реализации программы расчета на языке программирования или с применением пакетов математического моделирования. Переходные процессы необходимо рассчитать для трех вариантов чисел автопилота из найденной области устойчивости. 5.2 Оценка качества осуществляется по всем изученным критериям: по временным характеристикам, по корням характеристического полинома, по частотным характеристикам. 6. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 6.1 Расчет характерной траектории выбранного прототипа ЛА с учетом управления производится при найденных передаточных числах автопилота. 6.2 Исследование траекторий движения заключается в выборе оптимальных параметров системы управления для получения требуемых показателей устойчивости и точности разрабатываемой системы</p>	
Всего за 7 семестр	36

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
7			Контр.Р.			ДР	ЛР, Отч. по ЛР	КП		ДР					Контр.Р.	ДР	КП, ЛР, Отч. по ЛР

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- курсовой проект.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. С. Шалыгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
2. В. Ю. Емельянов, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина. . Теория управления. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 93 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

1. Автоматизация процессов управления;
2. 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. <http://www.tnt-ebook.ru> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
4. <https://ibooks.ru> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. <http://library.voenmeh.ru> — 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;
2. Microsoft Office;
3. ANSYS 2020 R2;
4. Bloodshed Dev-C++;
5. 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;
3. Microsoft Office;
4. Bloodshed Dev-C++.

6.3. Лабораторные занятия:

1. образцы РКТ;
2. Труба больших скоростей Малая сверхзвуковая труба;
3. Matlab 2015a SP1;
4. Microsoft Office;
5. ANSYS 2020 R2;
6. Bloodshed Dev-C++;
7. MATLAB R 2015a.

6.4. 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 **ТАУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.04 Навигационно-баллистическое обеспечение применения космической техники*. 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*:

ОПК-1 способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, навыки теоретического и экспериментального исследования для решения различных задач профессиональной деятельности;

ПСК-5 Способность к разработке структуры систем управления БПЛА;

ПСК-6 Способность к разработке и исследованию алгоритмов функционирования системы управления БПЛА.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами анализа и синтеза комплексов и систем управления ракет и космических аппаратов, позволяющими определять основные параметры систем автоматического управления, обеспечивающие требуемое качество управления.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- курсовой проект.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 з.е., **180 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**95 ч**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 180 ч., из них 85 ч. аудиторных занятий, и 95 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. Элементы современной теории управления.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 1 и контрольной работе № 1	В. Ю. Емельянов, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина. . Теория управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (Лекции №№ 1 - 2)	7
ЭТАП 1 выполнения курсового проекта (КП): Обзор литературы по теме курсового проекта. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 1. Обзор литературы по теме курсового проекта. Анализируя и обобщая сведения из литературных источников, приводятся данные об исследуемом прототипе ЛА: основные геометрические и тактико-технические характеристики, параметры траектории движения, системы наведения, аэродинамические коэффициенты и т.д. 2. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. 2.1 На основании общих математических моделей динамики движения ЛА, приведенных в рекомендуемой литературе, используя изученные методы упрощения и аналитического моделирования, выводятся математические модели, описывающие движение прототипа на заданном для исследования участке траектории. 2.2 По разработанным математическим моделям производится численное моделирование движения ЛА. При расчете на траектории выбирается точка, соответствующая невозмущенному движению (динамические коэффициенты при конкретном, заданном руководителем КП, числе Маха)	А. С. Шальгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (Раздел 3)	10
Итого по разделу 1		17
Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2	В. Ю. Емельянов, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина. . Теория управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (Лекция 3)	16
ЭТАП 1 выполнения КП: Обзор литературы по теме курсового проекта. Расчет характерной траектории движения, выбранного прототипа ЛА. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 3. Расчет динамических коэффициентов и параметров передаточных функций объекта исследования. 3.1 Применяя методы теории автоматического управления, разработанные в п.2 математические модели (в виде		10

системы дифференциальных уравнений) должны быть представлены в виде передаточных функций. Для этого выводятся формулы и рассчитываются динамические коэффициенты, с помощью которых и осуществляется переход от дифференциальных уравнений к передаточным функциям. 3.2 Динамические коэффициенты и параметры передаточных функций объекта исследования рассчитываются для конкретного числа Маха, соответствующего числу Маха в выбранной точке на траектории (п.2)	А. С. Шалыгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (Раздел 5)	
Итого по разделу 2		26
Раздел 3. Частотные методы анализа нелинейных систем.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2 и контрольной работе № 2	В. Ю. Емельянов, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина. . Теория управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (Лекции №№ 4 - 6)	18
ЭТАП 2 выполнения КП: Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 4. Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). 4.1 Обосновывается выбор контура стабилизации, как наиболее значимого при исследовании движения ЛА на заданном участке траектории. 4.2 Выводятся передаточные функции выбранного контура стабилизации. На основании метода D–разбиения, осуществляется построение области устойчивости и выбор из этой области передаточных чисел автопилота. Границы области устойчивости определяются аналитически, их построение в пакетах математического моделирования возможно лишь для проверки правильности вычислений. 4.3 Производится построение логарифмических амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик разомкнутой системы двумя способами: методами аналитического и математического моделирования. 4.4 Производится определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе на основании результатов построенных графиков АЧХ и ФЧХ и аналитическим методом	А. С. Шалыгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (Раздел 5)	8
Итого по разделу 3		26
Раздел 4. Метод фазового пространства.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по лекциям и рекомендуемой литературе. Подготовка к лабораторной работе № 2 и контрольной работе № 3	А. С. Шалыгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.	18
ЭТАП 2 выполнения КП: Анализ контура стабилизации (по заданию руководителя). Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 5. Расчет переходных процессов контура стабилизации, оценка показателей качества. 5.1 Расчет переходных процессов производится с учетом выбранных чисел автопилота путем реализации программы расчета на языке программирования или с применением пакетов математического моделирования. Переходные процессы необходимо рассчитать для трех вариантов чисел автопилота из найденной области устойчивости. 5.2 Оценка качества осуществляется по всем изученным критериям: по	А. С. Шалыгин, В. А. Бородавкин, В. А. Зазимко. . Синтез управления в системах стабилизации беспилотных летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.	8

временным характеристикам, по корням характеристического полинома, по частотным характеристикам. 6. Исследование характерной траектории движения ЛА с учетом управления. 6.1 Расчет характерной траектории выбранного прототипа ЛА с учетом управления производится при найденных передаточных числах автопилота. 6.2 Исследование траекторий движения заключается в выборе оптимальных параметров системы управления для получения требуемых показателей устойчивости и точности разрабатываемой системы	Устинова, 2005 (Раздел 5.) В. Ю. Емельянов, А. Ю. Захаров, О. А. Мишина. . Теория управления: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (Лекции 7, 8, 9.)
Итого по разделу 4	26

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- курсовой проект;
- контрольная работа;
- лабораторная работа;
- отчет по ЛР;
- экзамен.

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.

Курсовой проект

Для допуска к защите КП в комиссию необходимо представить:

1. Заполненный бланк задания на КП.
2. Расчетно-пояснительную записку, оформленную в соответствии с положением о курсовых проектах и курсовых работах, подписанную руководителем («допускается к защите») и преподавателями, курирующими выполнение КП.
(Информация об оформлении КП представлена на САЙТЕ БГТУ «ВОЕНМЕХ»: <http://www.voenmeh.ru/> Обучающемуся ► Студенту ► Нормативные документы: Положение по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ),
3. Графические материалы (при наличии).
4. Презентацию (с элементами визуализации).
5. Разработанную программу представить на внешнем носителе для проверки ее работоспособности (демонстрация работоспособности составленной программы обязательна).

Критерии оценки защиты КП:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП и ответил на все вопросы комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП и ответил на 50% вопросов комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он решил все задачи, поставленные перед ним в КП, но не ответил на вопросы комиссии, организованной на кафедре для защиты КП, связанные с материалами, изложенными в пояснительной записке к КП.
- оценка «не защитил» выставляется обучающемуся, если он не решил все задачи, поставленные перед ним в КП.

Перечень тем курсовых проектов представлен в УМК дисциплины

Контрольная работа

Успешное написание контрольной работы подразумевает правильное решение хотя бы одной задачи.

Типовые задачи для выполнения контрольной работы приведены в УМК по дисциплине.

Лабораторная работа

Допуск к лабораторной работе (ЛР) не требуется. Студент обязан выполнять все ЛР в срок, сдать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

ЛР считается выполненной, если студент полностью выполнил все задания, указанные в задании для ЛР

Отчет по ЛР

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе.

Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

При оформлении лабораторных работ требуется руководствоваться следующими рекомендациями: ЛР выполняются на листах бумаги формата А4.

На титульном листе указываются название дисциплины, тема ЛР, 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 ЛР, 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 ЛР студент должен представить выводы на основании выполненных расчетов.

Студент обязан выполнять все ЛР в срок и сдавать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала

Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме сдачи экзамена.

Критерии оценивания:

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он правильно решил задачу, подобную задачам из выполненных контрольных работ и полностью ответил на 4 вопроса экзаменационного билета.
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он правильно решил задачу, подобную задачам из выполненных контрольных работ, полностью ответил на 3 вопроса экзаменационного билета.
- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он неправильно решил задачу и ответил только на 1 вопрос экзаменационного билета или не решил задачу и ответил на только на 2 вопроса экзаменационного билета.
- во всех других случаях обучающемуся выставляется оценка «удовлетворительно».

Для получения оценки «удовлетворительно», по выбору обучающегося, возможно написание Тестового задания по дисциплине.

Оценка «удовлетворительно» проставляется при правильном ответе хотя бы на 3 вопроса Тестового задания из 5.

Тестовые задания по дисциплине приедены в УМК по дисциплине.

Экзаменационные билеты приведены в УМК по дисциплине.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %			НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ПСК-5	ПСК-6	
4	7	Раздел 1. Элементы современной теории управления.	33	16	6	4	6	17	10	10	10	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по ЛР, Курсовой проект
4	7	Раздел 2. Анализ процессов в нелинейных системах.	47	21	8	5	8	26	30	30	30	Лабораторная работа, Отчет по ЛР, Курсовой проект
4	7	Раздел 3. Частотные методы анализа нелинейных систем.	52	26	12	4	10	26	30	30	30	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по ЛР, Курсовой проект
4	7	Раздел 4. Метод фазового пространства.	48	22	8	4	10	26	30	30	30	Контрольная работа, Лабораторная работа, Отчет по ЛР
Всего за 7 семестр			180	85	34	17	34	95	100	100	100	
Всего по дисциплине			180	85	34	17	34	95	100	100	100	