

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Макуев Валентин Анатольевич

Должность: Заместитель директора по учебной работе

Дата подписания: 07.07.2025 15:37:54

Уникальный программный ключ:

a0887579b7e63594c87851bc1bb030c7c4482fa1

Мытищинский филиал

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

(МФ МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Кафедра К1 «Системы автоматического управления»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Системы управления летательными аппаратами

Автор программы:

Шлопак А.А., доцент (к.н.), кандидат технических наук, shlopak@bmstu.ru

Утверждена на заседании кафедры «Системы автоматического управления»
Протокол № 09.04.11-04/10 от 16.04.2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

с.

1. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	6
3. Объем дисциплины	7
4. Содержание дисциплины, структурированное по модулям учебной дисциплины с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и видов учебных занятий	8
5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	18
6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации студентов по дисциплине	19
7. Перечень учебной литературы и дополнительных материалов, необходимых для освоения дисциплины	20
8. Перечень ресурсов сети интернет, рекомендуемых для самостоятельной работы при освоении дисциплины	22
9. Методические указания для студентов по освоению дисциплины	23
10. Перечень информационных технологий, используемых при изучении дисциплины, включая перечень программного обеспечения, информационных справочных систем и профессиональных баз данных	25
11. Описание материально-технической базы, необходимой для изучения дисциплины ..	26

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Настоящая рабочая программа дисциплины устанавливает требования к знаниям и умениям студента, а также определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа разработана в соответствии с:

- Самостоятельно устанавливаемым образовательным стандартом (СУОС 3++) по специальности (уровень специалитета): 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами»;
- Основной профессиональной образовательной программой по специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами»;
- Учебным планом МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами».

При освоении дисциплины планируется формирование компетенций, предусмотренных основной профессиональной образовательной программой (ОПОП) на основе СУОС 3++ по специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» (уровень специалитета)

Шифр компетенции, код направления подготовки/специальности по СУОС 3++	Формулировка компетенции
	Общепрофессиональные компетенции собственные
ОПКС-8 (24.05.06)	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)"

Для освоения компетенций, входящих в ОПОП, предусмотрены следующие индикаторы достижения компетенций (таблица 1).

Таблица 1. Индикаторы достижения компетенции

1	2	3
Шифр компетенции, код направления подготовки/специальности по СУОС 3++, формулировка	Индикаторы достижения компетенции	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
ОПКС-8 (24.05.06) 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)"	ЗНАТЬ - принципы динамических расчетов систем управления летательными аппаратами, применять методики математического и полунатурного моделирования динамических систем "подвижный объект - система управления (система ориентации, стабилизации, навигации, управления движением)" УМЕТЬ - 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)" ВЛАДЕТЬ - принципами динамических расчетов систем управления летательными аппаратами, применять методики математического и полунатурного моделирования динамических систем "подвижный объект - система управления (система ориентации, стабилизации, навигации, управления движением)"	Формы обучения: Фронтальная и групповая формы. Методы обучения: Словесный метод обучения (Лекции) Методы практической работы (Семинары) Наблюдение и Исследовательский метод (Лабораторные работы) Метод проблемного обучения (Самостоятельная работа) (в том числе выполнение курсового проекта) Активные и интерактивные методы обучения: обсуждение практических примеров на лекциях и семинарах

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в Блок Б1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы специалитета по специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами».

Изучение дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин учебного плана:

- Системы аналитических вычислений
- Специальные главы теории автоматического управления
- Теория автоматического управления

Освоение учебной дисциплины связано с формированием компетенций с учетом матрицы компетенций ОПОП для специальности (уровень специалитета): 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами».

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общий объем дисциплины составляет 12 зачетных единиц (з.е.), которые состоят из 432 академических часа (ак.ч.) или 324 астрономических часа. В том числе: 1 семестр – 5 з.е. (180 ак.ч.), 2 семестр – 7 з.е. (252 ак.ч.).

Таблица 2. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в ак.ч.)

Виды учебной работы	Объем по семестрам, ак. ч.		
	Всего	Количество семестров освоения дисциплины	
		1	2
Объем дисциплины	432	180	252
Аудиторная работа*	198	108	90
Лекции (Л)	90	54	36
Семинары (С)	36	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	72	36	36
Самостоятельная работа (СР)	234	72	162
Проработка учебного материала лекций	11.25	6.75	4.5
Подготовка к семинарам	4.5	2.25	2.25
Подготовка к лабораторным работам	34	16	18
Выполнение домашнего задания	9	9	0
Выполнение расчетно-графической работы	27	27	0
Подготовка к экзамену	30	0	30
Подготовка к рубежному контролю	6	0	6
Выполнение курсового проекта	54	0	54
Другие виды самостоятельной работы	58.25	11	47.25
Вид промежуточной аттестации		Зачёт	Экзамен ДЗчт

*в том числе, в форме практической подготовки

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО МОДУЛЯМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

Таблица 3. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование модуля	Виды занятий*, ак.ч.					Шифр компетенций, закрепленных за модулем (код по СУОС 3++)	Текущий контроль		
		Л	С	ЛР	ДР	СР		Срок (неделя)	Контрольные мероприятия	Баллы (мин/макс)
1 семестр										
1	Введение, основные понятия и определения; математические модели объектов и систем управления ЛА; задачи построения и оптимизации систем управления ЛА.	18	6	15	0	24	ОПКС-8	6	Домашнее задание 1	9/15
									Лабораторные работы	9/15
									ИТОГО:	18/30
2	Оптимизация систем методами классического вариационного исчисления; принцип максимума в задачах оптимизации систем управления ЛА. Динамическое программирование в задачах оптимизации систем.	18	6	15	0	24	ОПКС-8	12	Расчетно-графическая работа 1	9/15
									Лабораторные работы	9/15
									ИТОГО:	18/30
3	Оптимальные по быстродействию и по расходу ресурсов системы управления ЛА. Системы управления, оптимальные по точности и расходу энергии; аналитическое конструирование оптимальных регуляторов; многокритериальная оптимизация СУ ЛА.	18	6	6	0	24	ОПКС-8	18	Расчетно-графическая работа 2	18/30
									Лабораторные работы	6/10
									ИТОГО:	24/40
	ИТОГО за семестр	54	18	36	0	72	-	-	-	60/100
2 семестр										

4		18	10	20	0	39	ОПКС-8	9	Рубежный контроль 1	3/5
									Лабораторные работы	15/25
									ИТОГО:	18/30
5		18	8	16	0	39	ОПКС-8	18	Рубежный контроль 2	12/20
									Лабораторные работы	12/20
									ИТОГО:	24/40
6	Курсовой проект	-	-	-	-	54	ОПКС-8	-	Дифф.зачет	60/100
7	Экзамен	-	-	-	-	30	ОПКС-8	-	Экзамен	18/30
	ИТОГО за семестр	36	18	36	0	162	-	-	-	60/100

*в том числе, в форме практической подготовки

Содержание дисциплины, структурированное по темам (модулям)

№, п/п	Наименование модуля, содержание	Часы
	1 семестр	
1	Введение, основные понятия и определения; математические модели объектов и систем управления ЛА; задачи построения и оптимизации систем управления ЛА.	
	Лекции	18
1.1	Основы теории и особенности нестационарных систем управления; применение неавтономных обыкновенных дифференциальных уравнений, нормальная форма Коши, векторная запись.	2
1.2	Математическое описание линейных нестационарных объектов и систем управления в переменных вход-выход и в пространстве состояний с помощью линейных скалярных и векторных дифференциальных уравнений с переменными параметрами; представление этих уравнений с помощью дифференциальных операторов.	2
1.3	Операторная алгебра и структурные преобразования.	2
1.4	Переходные, импульсные переходные и параметрические передаточные функции нестационарных линейных звеньев и систем управления, методы определения этих функций.	2
1.5	Теория оптимального управления и ее задачи. Содержательная и математическая постановка задач об оптимальном управлении; объекты управления, критерии качества, функционалы, ограничения.	2
1.6	Классы задач оптимального управления, типы оптимальных систем управления.	2
1.7	Оптимальное программное управление, оптимальный закон управления, оптимальный регулятор.	2
1.8	Основные методы решения задач об оптимальном управлении.	2
1.9	Алгоритмы оптимальных систем управления летательными аппаратами.	2
	Семинары	6
С1.1	Исследование динамики нестационарных систем управления	2
С1.2	Расчёт оптимальных систем управления с помощью классического вариационного исчисления	2
С1.3	Расчёт оптимальных систем управления с помощью классического вариационного исчисления	2
	Лабораторные работы	15
ЛР1.1	Лабораторная работа №1. [Локально-оптимальное управление нестационарным объектом]	5
ЛР1.2	Лабораторная работа №2. [Минимизация расхода энергии на управление]	5
ЛР1.3	Лабораторная работа №3. [Оптимальная по точности система управления линейным объектом]	5
	Самостоятельная работа	24
СР1.1	Выполнение домашнего задания №1	9
СР1.2	Проработка учебного материала лекций	2.25
СР1.3	Подготовка к семинарам	0.75
СР1.4	Подготовка к лабораторным работам	6
СР1.5	Другие виды самостоятельной работы	6

2	Оптимизация систем методами классического вариационного исчисления; принцип максимума в задачах оптимизации систем управления ЛА. Динамическое программирование в задачах оптимизации систем.	
	Лекции	18
2.1	Задачи исследования функционалов на экстремум; основные понятия и определения. Лемма Лагранжа. Вывод и применение систем уравнений Эйлера и Эйлера-Пуассона, расчет экстремалей. Условия Лежандра.	2
2.2	Вариационные задачи с подвижными границами. Оптимальное управление и вариационные задачи на условный экстремум, типы этих задач.	2
2.3	Теоремы об условном экстремуме функционалов. Вариационные задачи Больца, Лагранжа, Майера.	2
2.4	Уравнения Эйлера-Лагранжа и их применение для синтеза оптимальных систем управления. Решение примеров.	2
2.5	Особенности задач об оптимальном управлении в математической теории принципа максимума Л.С. Понтрягина, их типы и методы преобразования к форме задач Майера, приведение неавтономных динамических объектов к автономным. Формулировка и доказательство принципа максимума Л.С. Понтрягина, вывод сопряжённых и канонических дифференциальных уравнений.	2
2.6	Граничные условия, краевая задача. Учёт ограничений, накладываемых на управления и фазовые координаты, влияние разрывов допустимых управляющих воздействий. Расчёт оптимальных процессов и синтез оптимальных систем управления с помощью принципа максимума Л.С. Понтрягина, решение примеров.	2
2.7	Постановка задач оптимизации систем управления как задач динамического программирования. Принцип оптимальности Беллмана и его доказательство применительно к задачам оптимального управления непрерывными динамическими объектами.	2
2.8	Функция Беллмана и ее свойства. Вывод и применение функционально-дифференциального уравнения Беллмана. Решение задач синтеза оптимальных систем управления непрерывными динамическими объектами, примеры синтеза.	2
2.9	Дискретное динамическое программирование в задачах оптимизации систем; постановка и особенности задач о дискретном оптимальном управлении. Вывод рекуррентного уравнения Беллмана применительно к оптимизации дискретных систем управления. Синтез оптимальных дискретных систем управления, решение примеров.	2
	Семинары	6
С2.1	Применение принципа максимума для расчета оптимальных процессов и управлений	2
С2.2	Применение принципа максимума для расчета оптимальных процессов и управлений	2
С2.3	Синтез оптимальных систем управления методом динамического программирования	2
	Лабораторные работы	15
ЛР2.1	Лабораторная работа №4. [Оптимальная по быстродействию система управления линейным объектом]	5
ЛР2.2	Лабораторная работа №5. [Оптимальное управление нелинейным	5

	объектом]	
ЛР2.3	Лабораторная работа №6. [Робастное управление динамическим линейным объектом]	5
	Самостоятельная работа	24
СР2.1	Выполнение расчетно-графической работы №1	12
СР2.2	Проработка учебного материала лекций	2.25
СР2.3	Подготовка к семинарам	0.75
СР2.4	Подготовка к лабораторным работам	6
СР2.5	Другие виды самостоятельной работы	3
3	Оптимальные по быстродействию и по расходу ресурсов системы управления ЛА. Системы управления, оптимальные по точности и расходу энергии; аналитическое конструирование оптимальных регуляторов; многокритериальная оптимизация СУ ЛА.	
	Лекции	18
3.1	Постановка задач об оптимальном по быстродействию управлении. Принцип максимума Л.С. Понтрягина для задач о максимальном быстродействии. Анализ оптимального по быстродействию управления линейными и нелинейными объектами при различных видах ограничений вектора управления. Условия управляемости и общности положения. Нормальные и вырожденные задачи.	2
3.2	Теорема о числе интервалов постоянства оптимального по быстродействию управления линейным стационарным объектом. Синтез замкнутых оптимальных по быстродействию систем управления линейными стационарными объектами, решение примеров.	2
3.3	Синтез оптимального по быстродействию регулятора для объекта второго порядка. Синтез оптимальных по быстродействию систем управления нелинейными объектами управления с инвариантной нормой и другими подобными объектами при ограничении вектора управления гиперсферой.	2
3.4	Постановка задач оптимизации систем управления по условиям минимума расхода ресурсов (топлива, энергии). Анализ оптимальных по расходу ресурсов систем управления линейными и нелинейными объектами, нормальные и вырожденные управления.	2
3.5	Синтез и анализ систем управления, оптимальных в смысле минимума линейной комбинации времени движения и расхода на управление рабочего тела, для линейных стационарных динамических объектов. Оптимальные по расходу рабочего тела системы управления нелинейными объектами с инвариантной нормой вектора состояния при ограничении вектора управления гиперсферой.	2
3.6	Постановка задач о минимуме ошибок и расхода энергии на управление. Анализ оптимального по расходу энергии управления динамическими объектами. Синтез оптимальных по расходу энергии систем управления линейными объектами; учет времени движения системы. Оптимальное в смысле минимума расхода энергии управление нелинейным динамическим объектом с инвариантной нормой вектора состояния при ограничении управления гиперсферой. Построение систем, оптимальных в смысле минимума ошибок, выраженных интегральными квадратичными показателями качества управления.	2
3.7	Анализ и синтез оптимальных по этим критериям систем управления;	2

	учет дополнительных показателей. Особые оптимальные по точности управления в задачах с интегральными квадратичными по фазовым координатам функционалами; причины возникновения и основные свойства особых решений; методы вычисления и условия оптимальности особых управлений и процессов для линейных по управлению объектов.	
3.8	Постановка задач оптимизации по квадратичным критериям систем управления линейными объектами; условия разрешимости задач аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР). Решение задач аналитического конструирования оптимальных регуляторов состояния линейных стационарных объектов с неограниченным временем движения, вывод матричного алгебраического уравнения Риккати. Синтез оптимальных по квадратичным критериям регуляторов состояния линейных нестационарных и стационарных объектов с ограниченным временем движения. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов выхода линейных объектов управления.	2
3.9	Постановка задач многокритериальной (векторной) оптимизации систем управления. Парето-оптимальные, эффективные, неулучшаемые решения многокритериальных задач оптимизации систем управления. Построение обобщённых скалярных критериев оптимальности систем управления в виде линейных форм частных (локальных) критериев; способы выбора весовых коэффициентов таких критериев. Многокритериальный синтез оптимальных систем управления по методу максимального приближения к идеальной (утопической) точке в пространстве частных критериев. Синтез оптимального закона управления по условиям максимального удаления в области Парето от наихудшей точки пространства ограниченных потерь.	2
	Семинары	6
СЗ.1	Синтез оптимальных систем управления методом динамического программирования	2
СЗ.2	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов	2
СЗ.3	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов	2
	Лабораторные работы	6
ЛРЗ.1	Лабораторная работа №7. [Квазиоптимальная по быстродействию система управления линейным объектом]	5
ЛРЗ.2	Лабораторная работа №8. [Система управления нелинейным объектом, квазиоптимальная по быстродействию]	1
	Самостоятельная работа	24
СРЗ.1	Выполнение расчетно-графической работы №2	15
СРЗ.2	Проработка учебного материала лекций	2.25
СРЗ.3	Подготовка к семинарам	0.75
СРЗ.4	Подготовка к лабораторным работам	4
СРЗ.5	Другие виды самостоятельной работы	2
	2 семестр	
4	Принципы построения систем экстремального и адаптивного управления; методы построения и основные типы адаптивных систем управления. Методы синтеза основного контура адаптивных систем управления; синтез эталонных моделей адаптивных систем управления.	

	Лекции	18
4.1	Основные типы и особенности экстремальных объектов и систем управления. Структура и свойства экстремальных систем управления по производной, с поисковыми сигналами, с запоминанием экстремума. Дифференциальные и шаговые экстремальные системы. Улучшение шагового поиска экстремума методами прогнозирования. Многомерные экстремальные объекты, системы экстремальной навигации и корреляционно-экстремального управления, их свойства.	2
4.2	Методы определения градиента и организации движения к экстремуму в многомерных экстремальных системах. Многомерные системы экстремального управления с поисковыми сигналами и синхронным детектированием. Анализ динамики систем экстремального управления, применение функций Ляпунова.	2
4.3	Задачи адаптивного управления. Определение и классификация адаптивных систем. Построение систем управления с разомкнутыми, замкнутыми и комбинированными каналами адаптации; поисковые и беспойсковые системы. Самонастраивающиеся системы с информацией о частотных и временных характеристиках. Адаптивные системы управления со стабилизацией коэффициента демпфирования, метод двух фильтров.	2
4.4	Системы управления с прямой и непрямой адаптацией, с параметрической, сигнальной и комбинированной самонастройкой. Адаптация по характеристикам сигнальных и параметрических возмущений объектов управления. Самоорганизующиеся и самообучающиеся системы управления. Адаптивные системы управления с эталонными и обучающимися моделями.	2
4.5	Многоуровневая структура адаптивных систем управления. Методы синтеза основного контура адаптивных систем. Структура обобщённого настраиваемого объекта управления. Применение теории инвариантности для синтеза основного контура адаптивных систем. Оптимальный синтез основного контура адаптивных систем управления. Применение методов модального управления и методов теории систем с переменной структурой для синтеза основного контура и построения обобщённого настраиваемого объекта управления.	2
4.6	Синтез основного замкнутого контура адаптивной системы управления с помощью прямого метода Ляпунова. Методы синтеза эталонных моделей основных замкнутых контуров (обобщённых настраиваемых объектов) адаптивных систем управления. Синтез оптимальных эталонных моделей, примеры синтеза.	2
4.7	Применение метода модально управления для синтеза эталонных моделей основных замкнутых контуров адаптивных систем; построение эталонных моделей в классе низкочастотных фильтров Баттерворта. Метод стандартных коэффициентов в задачах построения эталонных моделей основного контура. Свойства адаптируемости основного контура; условия и анализ адаптируемости обобщённого настраиваемого объекта к его эталонной модели.	2
4.8	Условия согласованности основного контура и его эталонной модели. Условия структурной устойчивости и условия существования в пространстве настраиваемых параметров области адаптируемости обобщённого настраиваемого объекта управления к его эталонной	2

	модели.	
4.9	Основные принципы локальной адаптации, схемы первого приближения в задачах построения алгоритмов адаптации, градиентные самонастраивающиеся системы управления. Компенсационные самонастраивающиеся системы. Алгоритмы адаптации, выработанные на основе функций чувствительности. Метод вспомогательного оператора в задачах синтеза адаптивных систем управления и идентификации; синтез многомерных контуров параметрической самонастройки, обеспечивающих автоматическую минимизацию квадратичных критериев качества.	2
	Семинары	10
С4.1	Анализ устойчивости систем экстремального управления	2
С4.2	Синтез и анализ адаптивных систем управления	2
С4.3	Синтез и анализ адаптивных систем управления	2
С4.4	Синтез систем адаптивной идентификации параметров динамических объектов	2
С4.5	Синтез систем адаптивной идентификации параметров динамических объектов	2
	Лабораторные работы	20
ЛР4.1	Лабораторная работа №9. [Динамика системы экстремального управления]	4
ЛР4.2	Лабораторная работа №10. [Двухпараметрическая адаптивная система идентификации параметров линейного динамического объекта]	4
ЛР4.3	Лабораторная работа №11. [Прямое адаптивное управление линейным объектом первого порядка]	4
ЛР4.4	Лабораторная работа №12. [Непрямое адаптивное управление линейным объектом первого порядка.]	4
ЛР4.5	Лабораторная работа №13. [Прямое адаптивное управление нелинейным объектом первого порядка.]	4
	Самостоятельная работа	39
СР4.1	Подготовка к рубежному контролю №1	3
СР4.2	Проработка учебного материала лекций	2.25
СР4.3	Подготовка к семинарам	1.25
СР4.4	Подготовка к лабораторным работам	10
СР4.5	Другие виды самостоятельной работы	22.5
5	Методы и алгоритмы локальной адаптации систем управления ЛА; синтез адаптивных систем управления методом функций Ляпунова; синтез алгоритмов адаптации методом скоростного градиента. Оптимальные наблюдатели, фильтры Калмана-Бьюси. Адаптивные системы параметрической идентификации динамических объектов и систем. Адаптивное управление с эталонной моделью нелинейным объектом.	
	Лекции	18
5.1	Применение операторного метода к решению задач синтеза оптимальных систем управления и идентификации параметров методом вспомогательного оператора; применение методов теории чувствительности.	2
5.2	Проблема построения адаптивных систем управления, обладающих свойствами устойчивости в большом и целом, и решение её с помощью достаточных условий устойчивости в смысле Ляпунова.	2

	Решение задач синтеза алгоритмов адаптации с помощью функций Ляпунова; применение функций Ляпунова, представляющих собой квадратичные формы параметрических и сигнальных рассогласований обобщённого настраиваемого объекта и его эталонной модели.	
5.3	Условия асимптотической устойчивости синтезированных с помощью функций Ляпунова адаптивных систем управления. Решение примеров синтеза устойчивых по Ляпунову контуров самонастройки систем адаптивного управления и идентификации параметров линейных динамических объектов.	2
5.4	Алгоритмы скоростного градиента в адаптивных системах управления динамическими объектами. Свойства алгоритмов скоростного градиента; условия достижимости цели адаптации, идентифицирующие свойства алгоритмов скоростного градиента. Работоспособность алгоритмов скоростного градиента в нестационарных условиях. Процедура синтеза адаптивных систем управления и параметрической идентификации с помощью метода скоростного градиента. Решение задач синтеза адаптивных систем управления с явными и неявными моделями.	2
5.5	Условия устойчивости адаптивных систем управления и идентификации, синтезированных методами скоростного градиента. Проблема неполноты информации о состоянии объектов управления. Идентификация состояния динамических объектов, детерминированные задачи построения наблюдателей. Простейшие идентификаторы состояния (наблюдатели) объектов управления; применения сигнальной самонастройки. Модальный синтез наблюдателей, синтез оптимальных наблюдателей. Оптимальное оценивание состояния стохастических объектов управления, построение фильтров Калмана-Бьюси для непрерывных объектов управления. Структурные преобразования фильтра Калмана-Бьюси, позволяющие исключить дифференцирование сигналов обратной связи.	2
5.6	Задачи параметрической идентификации динамических объектов. Условия идентифицируемости линейных динамических систем. Адаптивная параметрическая идентификация с помощью настраиваемой модели объекта идентификации, синтез систем идентификации. Условия устойчивости процессов самонастройки модели. Адаптивный идентификатор-наблюдатель. Идентификация параметров динамических объектов при внешних возмущениях и помехах.	2
5.7	Прямое адаптивное управление с эталонной моделью нелинейным объектом. Непрямое адаптивное управление с эталонной моделью нелинейным объектом первого порядка. Прямое адаптивное управление с эталонной моделью нелинейным объектом второго порядка для систем SISO. Непрямое адаптивное управление с эталонной моделью нелинейным объектом второго порядка. Прямое адаптивное управление с эталонной моделью для систем ММО.	2
5.8	Непрямое адаптивное управление с эталонной моделью для систем ММО. Робастное адаптивное управление. Проблемы робастности адаптивного управления. Дрейф коэффициентов адаптации. Неминимально-фазовые адаптивные системы. Адаптивные системы с	2

	запаздыванием. Адаптивные системы с неопределенностью динамики. Быстрая адаптация.	
5.9	Методы улучшения робастности адаптивных систем управления: метод зоны нечувствительности, σ - модификация закона адаптации, e - модификация закона адаптации, модификация закона адаптации с использованием методов оптимального управления.	2
	Семинары	8
С5.1	Построение нелинейных робастных систем управления	2
С5.2	Построение нелинейных робастных систем управления	2
С5.3	Расчёт систем адаптивной идентификации возмущений	2
С5.4	Расчёт систем адаптивной идентификации возмущений	2
	Лабораторные работы	16
ЛР5.1	Лабораторная работа №14. [Прямое адаптивное управление нелинейным объектом второго порядка]	4
ЛР5.2	Лабораторная работа №15. [Непрямое адаптивное управление нелинейным объектом второго порядка]	4
ЛР5.3	Лабораторная работа №16. [Прямое адаптивное управление для систем МИМО.]	4
ЛР5.4	Лабораторная работа №17. [Робастное адаптивное управление с модифицированным законом адаптации]	4
	Самостоятельная работа	39
СР5.1	Подготовка к рубежному контролю №2	3
СР5.2	Проработка учебного материала лекций	2.25
СР5.3	Подготовка к семинарам	1
СР5.4	Подготовка к лабораторным работам	8
СР5.5	Другие виды самостоятельной работы	24.75
6	Курсовой проект	54
	Самостоятельная работа	54
СР6.1	Получение задания на выполнение курсового проекта	10
СР6.2	Выполнение первой части курсового проекта	16
СР6.3	Выполнение второй части курсового проекта	13
СР6.4	Выполнение расчетно-пояснительной записки	10
СР6.5	Подготовка к защите и защита курсового проекта	5
7	Экзамен	30
СР7.1	Подготовка к экзамену	30

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов по дисциплине обеспечивается следующими учебно-методическими материалами:

1. Рабочая программа дисциплины.
2. Перечень учебной литературы и дополнительных материалов, необходимых для освоения дисциплины [Раздел 7 Рабочей программы дисциплины].
3. Перечень ресурсов сети Интернет, рекомендуемых для самостоятельной работы при освоении дисциплины [Раздел 8 Рабочей программы дисциплины].
4. Методические указания для студентов по освоению дисциплины [Раздел 9 Рабочей программы дисциплины].
5. Перечень информационных технологий, используемых при изучении дисциплины, включая перечень программного обеспечения, информационных справочных систем и профессиональных баз данных [Раздел 10 Рабочей программы дисциплины].

Студенты получают доступ к указанным материалам начиная с первого занятия по дисциплине, в соответствии с ОПОП.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине базируется на перечне компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. ФОС обеспечивает объективный контроль достижения всех результатов обучения, запланированных для дисциплины.

ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

7. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Литература

1. Ванько В. И., Ермошина О. В., Кувыркин Г. Н. Вариационное исчисление и оптимальное управление : учебник для вузов / Ванько В. И., Ермошина О. В., Кувыркин Г. Н. ; ред. Зарубин В. С., Крищенко А. П. - 2-е изд. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 487 с. - (Математика в техническом университете ; вып. 15). - Библиогр.: с. 475-479. - ISBN 5-7038-1370-0. <https://library.bmstu.ru/Catalog/Details/82875>
2. Малахов А. А. Расчет параметров системы «летательный аппарат — автопилот» с использованием MATLAB и SIMULINK (продольное движение) : учебное пособие / Малахов А. А. - Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. - 201 с. - ISBN 978-5-7038-5463-1. <https://ibooks.ru/bookshelf/378373/reading>
3. Малахов А. А. Расчёт параметров системы «летательный аппарат – автопилот» с использованием MATLAB и SIMULINK (продольное движение) : учеб. пособие / Малахов А. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский ун-т). - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2020. - 202 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 144. - ISBN 978-5-7038-5463-1. <https://press.bmstu.ru/catalog/item/6912/>

Дополнительные материалы

4. Ачильдиев В.М. Инерциальные навигационные системы летательных аппаратов: Учебно-метод. пособие к выпол. расч.-граф. работ для студ. спец. 220100 "Системный анализ и упр." и спец. 160403 "Системы управления летат. аппаратами". – М.: МГУЛ, 2007. – 47 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 14 экз.; читальный зал № 2 – 5 экз.
5. Есаков В.А. Высокочастотные информационные приборы в системах управления автономных летательных аппаратов: Учеб. пособие для студ. обуч. по направ. спец. 220100 "Системный анализ и управ." и спец. 160403 "Системы управ. летат. аппаратами" / В.Д. Матыцин. – М.: МГУЛ, 2007. – 59 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 13 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.; читальный зал №2 – 3 экз.
6. Теория автоматического управления: Учебник для студ. вузов обуч. по направ. подгот. бакалавров и магистров "Автоматиз. и управ." и направ. подгот. диплом. спец. / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев, Н.Н. Кузьмин, В.Б. Яковлев; Под ред. В.Б. Яковлева, Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высшая школа, 2005. – 566 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 12 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления.: Учебник в 5-ти т. Т.4.: Теория оптимизации систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – 2-е изд., перер., доп. – М.: МГТУ, 2004. – 741 с. – (Методы автоматического управления). – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 97 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления.: Учебник в 5-ти т. Т.5.: Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – 2-е изд., перер., доп. – М.: МГТУ, 2004. – 782 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 97 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
9. Есаков В.А. Основы теории и проектирования систем автоматического управления: Учеб. пособие, специальность 161101.65 "Системы управления летательными аппаратами"

- / Г.Ф. Земляной, В.Г. Дудко; Министерство образования и науки РФ; МГУЛ. – М.: МГУЛ, 2011. – 103 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 49 экз.
10. Земляной Г.Ф. Оптимальное по расходу энергии управление: Учеб. пособие для студ., обуч. по направ. 652300 "Системы управления и навигации" спец. 160403.65 "Системы управления летательными аппаратами". – М.: МГУЛ, 2010. – 52 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 60 экз.; читальный зал № 1 – 2 экз.; читальный зал № 2 – 2 экз.
11. Земляной Г.Ф. Аналитическое и синергетическое конструирование регуляторов: Учеб. пособие для студ., обуч. по направ. 220100 "Систем. анализ и управ.", 220200 "Автоматиз. и управ.". – М.: МГУЛ, 2007. – 79с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 21 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
12. Земляной Г.Ф. Оптимизация многокритериальных систем управления: Учебное пособие для студ., обуч. по напр. 553000 (220100) «Системный анализ и управление», 550200 (220200) «Автоматизация и управление». – М.: МГУЛ, 2006. – 67с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 25 экз.; читальный зал № 1 – 4 экз.
13. Земляной Г.Ф. Нестационарные локально-оптимальные системы управления: Учебно-метод. пособие к лаб. работам и практ. занятиям для студ. спец. 553000 (220100) "Систем. анализ и управ.", 550200 (220200) "Автоматиз. и управ." / МГУЛ. – М.: МГУЛ, 2006. – 27с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 27 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
14. Земляной Г.Ф. Матричный синтез адаптивных систем: Учеб. пособие для студ., обуч. по направ. 220100 "Системный анализ и управление", 220200 "Автоматизация и управление". – М.: МГУЛ, 2008. – 40с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 21 экз.; читальный зал № 1 – 3 экз.
15. Земляной Г.Ф. Адаптивная идентификация систем: Учеб. пособие для студ., обуч. по направ. 652300 "Системы управ. движением и навигации" спец. 160403 "Системы управ. летательными аппаратами". – М.: МГУЛ, 2009. – 47 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 64 экз.; читальный зал № 1 – 5 экз.
16. Земляной Г.Ф. Адаптивные системы управления и идентификации: Учеб.-метод. пособие к лаб. работам и практ. занятиям для студ., обуч. по направ. 220100 "Систем. анализ и управ.", 220200 "Автоматиз. и управ.". – М.: МГУЛ, 2007. – 15 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 14 экз.; читальный зал № 1 – 5 экз.
17. Дудко В.Г. Визуализация результатов вычислений в Matlab: Учеб. пособие к выпол. учеб. практики для студ. 160403 "Системы управления летат. аппаратами". – М.: МГУЛ, 2010. – 35 с. – Научно-техническая библиотека МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана – Основной фонд – 64 экз.; читальный зал №1 – 5 экз.

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ СЕТИ ИНТЕРНЕТ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Сайт университета: <http://bmstu.ru>
2. Библиотека МГТУ им. Н.Э. Баумана <http://library.bmstu.ru>.
3. Сайт Издательства МГТУ им. Н.Э. Баумана <https://press.bmstu.ru>
4. Библиотека МФ МГТУ им. Н. Э. Баумана <https://mf.bmstu.ru/info/library/>
5. Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru>.
6. Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru>.
7. Научная электронная библиотека <http://eLIBRARY.RU>.
8. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» <http://e.lanbook.com>.
9. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» <http://biblioclub.ru>.
10. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru>.
11. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Юрайт» <https://biblio-online.ru>.
12. Центральная библиотека образовательных ресурсов Минобрнауки РФ www.edulib.ru.
13. Электронно-библиотечная система <https://ibooks.ru/>.
14. Виртуальный читальный зал РГБ <https://ldiss.rsl.ru/>.
15. Национальная Электронная Библиотека (НЭБ) <https://rusneb.ru/>.
16. Электронно-библиотечная система, которая содержит электронные версии учебников, учебных и научных пособий, монографий по различным областям знаний <https://book.ru/>.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание нижеследующие положения.

Дисциплина построена по модульному принципу, каждый модуль представляет собой логически завершённый раздел дисциплины. В первом семестре три модуля. Во втором семестре три модуля (включая экзамен), выполняется курсовой проект.

На первом занятии студент получает информацию для доступа к комплексу методических материалов по дисциплине.

Лекции посвящены рассмотрению ключевых, базовых положений дисциплины и разъяснению учебных заданий, выносимых на самостоятельную проработку.

Практическая подготовка может включать в себя отдельные занятия лекционного типа, которые предусматривают передачу учебной информации обучающимся, необходимой для последующего выполнения работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Семинары проводятся для закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения для решения практических задач в предметной области дисциплины.

Лабораторные работы предназначены для приобретения опыта практической реализации основной профессиональной образовательной программы. Методические документы к лабораторным работам прорабатываются студентами во время занятий и самостоятельной работы. Необходимый уровень подготовки контролируется перед проведением лабораторных работ.

Практическая подготовка при реализации учебной дисциплины организуется путем проведения семинаров, практикумов, лабораторных работ и индивидуальных и(или) групповых консультаций, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Самостоятельная работа студентов включает следующие виды: в первом семестре проработка учебного материала лекций, подготовка к семинарам, подготовка к лабораторным работам, выполнение домашнего задания, выполнение расчетно-графической работы, во втором семестре проработка учебного материала лекций, подготовка к семинарам, подготовка к лабораторным работам, подготовка к экзамену, подготовка к рубежному контролю, выполняется курсовой проект. Результаты всех видов работы студентов формируются в виде личного рейтинга, который учитывается на промежуточной аттестации. Самостоятельная работа предусматривает не только проработку материалов лекций, но и их расширение в результате поиска, анализа, структурирования и представления в компактном виде современной информации из всех возможных источников.

Текущий контроль проводится в течение каждого модуля, его результаты складываются из оценок по следующим видам контрольных мероприятий:

- Домашнее задание
- Лабораторные работы
- Расчетно-графическая работа
- Рубежный контроль.

Освоение дисциплины и ее успешное завершение на стадии промежуточной аттестации возможно только при регулярной работе во время семестра и планомерном прохождении текущего контроля.

Для завершения работы в семестре студент должен выполнить все контрольные мероприятия, входящие в текущий контроль.

Контрольное мероприятие считается выполненным, если за него студент получил оценку в баллах, не ниже минимальной оценки, установленной программой дисциплины по данному мероприятию.

Студенты, не сдавшие контрольное мероприятие в установленный срок, продолжают работать над ним в соответствии с порядком, принятым кафедрой.

Промежуточная аттестация по результатам первого семестра по дисциплине проходит в форме зачета. Промежуточная аттестация по результатам второго семестра проходит в форме дифференцированного зачета, экзамена, контролирующего освоение ключевых, базовых положений дисциплины, составляющих основу остаточных знаний по ней.

Методика оценки по рейтингу

Студент, выполнивший все предусмотренные учебным планом задания и сдавший все контрольные мероприятия, получает итоговую оценку по дисциплине за семестр в соответствии со шкалой:

Рейтинг	Оценка на экзамене, дифференцированном зачете	Оценка на зачете
85 – 100	отлично	Зачтено
71 – 84	хорошо	Зачтено
60 – 70	удовлетворительно	Зачтено
0 – 59	неудовлетворительно	Не зачтено

Оценивание дисциплины ведется в соответствии с Положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Информационные технологии:

- Электронная информационно-образовательная среда МГТУ им. Н.Э. Баумана обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), программам практик, электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам, указанным в рабочих программах дисциплин (модулей), программам практик, формирование электронного портфолио обучающегося, в том числе сохранение его работ и оценок за эти работы. Предусмотрена возможность синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателей посредством технологий и служб по пересылке и получению электронных сообщений между пользователями компьютерной сети Интернет.
- Электронная почта преподавателя: shlopak@bmstu.ru;
- Система BigBlueButton <https://webinar.bmstu.ru>;
- Электронная образовательная система МГТУ им. Н.Э.Баумана <https://e-learning.bmstu.ru/>

Программное обеспечение:

- 7-Zip
- Arch Linux
- LibreOffice
- Mozilla Firefox

Информационные справочные системы:

- Информационно-правовая система «Консультант Плюс» <http://www.consultant.ru>;
- Библиотека нормативных технических документов в сфере навигации и применения ГЛОНАСС <https://glonassunion.ru/regulatory-control/technical>;
- Каталог национальных стандартов (Росстандарт) <https://www.rst.gov.ru/portal/gost>;
- Портал корпорации «Роскосмос» <http://www.roscosmos.ru/>;
- Научно-образовательный портал «Большая российская энциклопедия» <https://bigenc.ru>;

Профессиональные базы данных:

- Портал машиностроения <http://www.mashportal.ru>;
- Единая база ГОСТов РФ <https://gostexpert.ru>;
- [Электронный фонд правовой и нормативно-технической информации](https://docs.cntd.ru) <https://docs.cntd.ru>;
- Государственная статистика РФ <http://fedstat.ru>;

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Перечень материально-технического обеспечения дисциплины

№, п/п	Вид занятий	Вид и наименование оборудования
1	Лекции	специально оборудованные аудитории с мультимедийными средствами, средствами звуковоспроизведения и имеющими выход в сеть Интернет; помещения для проведения аудиторных занятий, оборудованные учебной мебелью; аудитории оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и сети Интернет; студии; компьютерные классы.
2	Семинары	специально оборудованные аудитории с мультимедийными средствами, средствами звуковоспроизведения и имеющими выход в сеть Интернет; помещения для проведения аудиторных занятий, оборудованные учебной мебелью; аудитории оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и сети Интернет; студии; компьютерные классы.
3	Лабораторные работы	специально оборудованные аудитории с мультимедийными средствами, средствами звуковоспроизведения и имеющими выход в сеть Интернет; помещения для проведения аудиторных занятий, оборудованные учебной мебелью; аудитории оснащенные компьютерами с доступом к базам данных и сети Интернет; студии; компьютерные классы.
4	Самостоятельная работа	библиотека, имеющая рабочие места для студентов; выставочные залы; аудитории, оснащенные компьютерами с доступом к сети Интернет. Социокультурное пространство университета позволяет студенту качественно выполнять самостоятельную работу.