

6922

**«БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. УСТИНОВА»**

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор -
проректор по образовательной
деятельности



В.А.Бородавкин

2019

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**

(указывается наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)

**Направление/
специальность подготовки****09.03.01 Информатика и вычислительная техника**

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

**Специализация/профиль/программа
подготовки**Автоматизированные системы обработки информации и
управления**Уровень высшего образования**

бакалавриат

(бакалавриат/магистратура/специалитет)

Форма обучения

очная

Факультет**И Информационные и управляемые системы**

(указывается индекс и полное наименование факультета Университета, заказавшего программу)

I9 Системы управления и компьютерных технологий

(указывается индекс и полное наименование выпускающей кафедры)

I9 Системы управления и компьютерных технологий

(указывается индекс и полное наименование кафедры, составившей и реализующей программу)

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	ЧАСЫ (ПО НАЛИЧИЮ ВИДОВ ЗАНЯТИЙ)							ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	СЕМИНАРЫ	ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАНЯТИЙ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	РАСЧЁТНО-ГРАФ. РАБОТА	РЕФЕРАТ	
4	7	4	144	68	34	-	34	-	-	76	-	-	-	-	ДИФФ. ЗАЧЕТ

Начальник отдела основных
образовательных программ
[Signature] / А.А. Русина /
« » 2019

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ^т
/оборотная сторона титульного листа/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)
09.03.01 Информатика и вычислительная техника

(указывается индекс и наименование направления специальности)

Программу составили:

Кафедра И9

Кабанов С.А., профессор, д.т.н., профессор

Эксперт(ы):

Андреевский Б.Р., ведущий научный сотрудник ИПМаш РАН,
докт. техн. наук, доцент

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы И9 Систем управления и компьютерных технологий

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

«02 07 2019 г.

Заведующий кафедрой Матвеев С.А., к.т.н., доцент

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

И9 Систем управления и компьютерных технологий

(индекс и наименование выпускающей кафедры)

«02 07 2019 г.

Заведующий кафедрой Матвеев С.А., к.т.н., доцент

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

(подпись)

Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП) 09.00.00

Информатика и вычислительная техника

(полное наименование направления) (№ протокола)

«30 08 2019 г. Председатель УМК по УГНиСП Емельянов В.Ю., к.т.н., доцент/

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

/ (подпись)

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«30 08 2019 г.

Директор библиотеки БГТУ

Сесина Н.В.

(Ф.И.О., уч.степень, уч.звание)

/

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	6
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	7
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8

Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Технологии и формы преподавания

Приложение 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Приложение 4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приложение 5. Фонды оценочных средств

Приложение 6. Справка о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова
учебной литературы

Приложение 7. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций на уровнях:

универсальных

УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	Продвинутый уровень
---	---------------------

общепрофессиональных

ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности	Продвинутый уровень
---	---------------------

Формированию указанных компетенций служит достижение следующих результатов образования:

знания:

на уровне представлений:

- обеспечения сходимости вычислительных алгоритмов, точности решения задач управления, возможности формирования управления в темпе динамики системы (УК-2);

на уровне воспроизведения:

- средств описания динамики объектов и алгоритмов построения программных движений, методов и алгоритмов решения задач оптимального управления (ОПК-1);

на уровне понимания:

- основ оптимального управления системами (УК-2);

- математического аппарата, описывающего динамику детерминированных систем, способов нахождения инфимумов целевых функционалов, построения вычислительных процедур определения оптимального управления (ОПК-1);

умения:

теоретические:

- применять методы формализации, алгоритмизации и вычислительной реализации оптимального управления динамикой систем (ОПК-1);

практические:

- разрабатывать алгоритмы нахождения оптимального управления (ОПК-1);
- применять методы и строить алгоритмы вычисления оптимального управления в реальном времени (УК-2);

навыки:

- построения математических моделей динамики управляемых систем, применения методов оптимизации детерминированных систем (ОПК-1);

- построения алгоритмов программной реализации оптимальной динамики систем (УК-2).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **Оптимальное управление** является дисциплиной вариативной части Блока 1 программы.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: Математика, Информатика: основы программирования, Вычислительная математика (Автоматизация инженерных расчетов); Основы теории управления, Теория управления, Теория принятия решений и служит основой для освоения дисциплин Проектирование информационных систем и др., а также выпускной квалификационной работы.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

УК-1 – способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

ОПК-8 – способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения;

ОПК-9 – способен осваивать методики использования программных средств для решения практических задач.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(с распределением общего бюджета времени в часах)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕР РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СУДЕНТОВ	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ	
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум		УК-2	ОПК-1
4	7	1	Раздел 1. Управляемость. 1.1.Основные принципы механики. 1.2.Фундаментальная матрица системы. 1.3. Управляемость и наблюдаемость линейных стационарной и нестационарной систем.	22	10	6	4	-	12	-	20%
		2	Раздел 2. Методы оптимизации. 2.1. Вариационное исчисление. Уравнение Эйлера. Условия Вейерштрасса-Эрдмана. Условие Лежандра. Принцип Лагранжа снятия ограничений: изопериметрическая задача, ограничения в форме равенств. 2.2. Принцип максимума. Принцип максимума при отсутствии ограничений на управление. Учет дополнительных ограничений в форме равенств, изопериметрическая задача. Принцип максимума при наличии ограничений на управление. Понятие игольчатой вариации управления, вариации траектории, концевой вариации. Метод Ньютона для решения краевой задачи, возникающей из принципа максимума. Метод Крылова-Черноуско. 2.3. Динамическое программирование. 2.4.Оптимизация по критерию Красовского. Алгоритм с прогнозирующей моделью. 2.5. Инвариантные системы. 2.6. Условия оптимальности Кротова. 2.6. Алгоритм последовательной оптимизации. 2.8. Аналитическое конструирование оптимального регулятора.	84	48	20	28	-	36	60%	30%

	3	Раздел 3. Прямые методы оптимального управления. Метод конечных разностей. Метод Ритца. Метод градиента первой вариации. Метод второй вариации. Метод параметризации управления.	16	4	4	-	-	12	20%	30%
	4	Раздел 4. Проблемы синтеза оптимального управления.	22	6	4	2	-	16	20%	20%
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ			144	68	34	34	-	76	100%	100%

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1	Составление моделей динамических объектов и решение задач по оценке управляемости и наблюдаемости	4
2	Раздел 2	Решение вариационных задач	6
3	Раздел 2	Решение задач оптимизации управления на основе принципа максимума	4
4	Раздел 2	Решение краевой задачи, возникающей из принципа максимума. Применение численных методов	4
5	Раздел 2	Решение задач оптимизации управления методом динамического программирования	4
6	Раздел 2	Формализация и решение обратных задач динамики	4
7	Раздел 2	Решение задач аналитического конструирования оптимального регулятора	4
8	Раздел 2	Прием домашних заданий	2
9	Раздел 4	Коллоквиум	2
Итого:			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

Номер и наименование раздела дисциплины	СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ	время (час)
		СРС
Раздел 1. Управляемость.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	8
	Тренировка в решении задач по оценке управляемости и наблюдаемости.	4
Раздел 2. Методы оптимизации.	Анализ домашнего задания.	2
	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	20
	Выполнение домашнего задания по вычислению оптимального управления системой.	14
Раздел 3. Прямые методы оптимального управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	12
Раздел 4. Проблемы синтеза оптимального управления.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	10
	Подготовка к коллоквиуму	6
ВСЕГО:		76

Примерный перечень тем домашних заданий представлен в Приложении 4.

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ГРАФИК КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7			ДЗ-1				ДЗ-2					ДЗ-3			ДЗ-4		К

Условные обозначения:

- ДЗ-1,2,3,4 – этапы выполнения домашнего задания;
- К – коллоквиум.

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем (ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- проверка этапов выполнения домашних заданий;
- коллоквиум;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность при проведении занятий в интерактивных формах).

Рубежная аттестация студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- выполнение двух этапов домашнего задания.

Промежуточный контроль по результатам семестра по дисциплине проходит в форме дифференцированного зачета, оценка за который определяется на 18-й неделе семестра по результатам выполнения контрольных мероприятий.

Фонды оценочных средств, включающие варианты домашних заданий, тестовые вопросы, методы контроля, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература:

1. *Кабанов С.А.* Оптимизация динамики систем при действии возмущений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
2. *Лебедев М.О.* Основы вариационного исчисления: учебное пособие. - СПб: БГТУ, 2011.
3. *Родин Б.П.* Вариационное исчисление: учебное пособие. - СПб: БГТУ, 2015.

5.2. Дополнительная литература:

1. *Аттептов А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н.* Методы оптимизации: Учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2013.
2. *Емельянов В.Ю., Кругликов В.К.* Теория принятия решений: базовые методы. – СПб: БГТУ, 2007.
3. *Иванов В.А., Медведев В.С.* Математические основы теории оптимального и логического управления: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.
4. *Кабанов С.А.* Управление системами на прогнозирующих моделях. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997.
5. *Кабанов С.А., Александров А.А.* Прикладные задачи оптимального управления: учебное пособие к практическим занятиям. – СПб: БГТУ, 2007.
6. *Кабанов С.А., Кабанов Д.С.* Задачи управления с оптимизацией параметров прогнозирующих моделей. – СПб: БГТУ, 2017. – 3 экз. + elr02709.pdf
7. *Кабанов С.А., Кабанов Д.С., Митин Ф.В.* Расчет аэрогидродинамических характеристик и траекторий подвижных объектов. – СПб: БГТУ, 2019.
8. *Мирошник И.В.* Теория автоматического управления. Линейные системы. – М., СПб, Нижний Новгород: ПИТЕР, 2005.
9. *Пантелеев А.В., Бортаковский А.С.* Теория управления в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2003.

10. Толпегин О.А. Математическое программирование. Вариационное исчисление: тексты лекций. – СПб: БГТУ, 2003.

11. Толпегин О.А. Прикладные методы оптимального управления: тексты лекций. – СПб: БГТУ, 2004.

5.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. Все источники из списка основной и источники 2,4,6-7,10-11 из списка дополнительной литературы в электронной библиотеке БГТУ.

2. <https://e.lanbook.com/> - Электронная библиотека издательства «Лань».

3. <https://www.biblio-online.ru/> - Электронная библиотека издательства «Юрайт».

5.4. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

1. Доступность учебных материалов через сеть Интернет для любого участника учебного процесса: электронные версии учебных и практических пособий.

2. Возможность консультирования обучающихся преподавателями в любое время и в любой точке пространства посредством сети Интернет: консультации, проверка результатов выполнения заданий по e-mail.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционные и практические занятия:

1) аудитории общего назначения.

2. 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 «Оптимальное управление» является дисциплиной вариативной части программы подготовки студентов по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника». Дисциплина реализуется на факультете Информационные и управляющие системы Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова кафедрой «Систем управления и компьютерных технологий».

Дисциплина нацелена на формирование универсальной и общепрофессиональной компетенций:

УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;

ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с математическим аппаратом, общими и специальными методами синтеза оптимального управления в технических системах: управляемость систем, методы оптимизации динамических процессов (вариационные, принцип максимума, динамическое программирование), аналитическое конструирование оптимальных регуляторов, численные методы синтеза оптимального управления.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме проверки выполнения этапов домашних заданий и коллоквиума; рубежный контроль в форме выполнения двух этапов домашнего задания; промежуточный контроль в форме дифференцированного зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (34 часа), практические (34 часа) занятия и 76 часов самостоятельной работы студента.

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

Рекомендации по организации и технологиям обучения для преподавателя

I. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Информационные технологии: использование электронных образовательных ресурсов (электронные версии учебных и практических пособий, рекомендованных для изучения дисциплины) при подготовке к лекциям, практическим занятиям, итоговому коллоквиуму и выполнения домашних заданий.

Case-study: анализ реальных проблемных ситуаций, имеющих место в области исследований по тематике индивидуального задания в части построения и реализации математических моделей и алгоритмов оптимизации, и поиск вариантов лучших решений.

Проблемное обучение: стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

Междисциплинарное обучение: использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи.

II. Виды и содержание учебных занятий

Раздел 1. Управляемость.

Теоретические занятия (лекции) - 6 часов.

Лекция 1. Информационная лекция.

Рассматриваются основные принципы механики и основы построения моделей динамических систем различной природы.

Лекция 2. Информационная лекция.

Вводится фундаментальная матрица линейной системы, проводится анализ ее влияния на процессы в системе. Рассматриваются примеры.

Лекция 3. Информационная лекция.

Вводятся понятия управляемости и наблюдаемости системы. Приводятся доказательства критерииев управляемости и наблюдаемости линейных систем.

Аудиторный практикум - 4 часа.

Занятие 1-1 (2 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматриваются задачи на составление моделей динамических систем и анализ управляемости и наблюдаемости.

Занятие 1-2 (2 часа). Форма проведения – решение студентами задач в самостоятельном режиме. Рассматриваются задачи на анализ управляемости и наблюдаемости линейных систем.

Управление самостоятельной работой студента.

Консультации по содержанию раздела – в часы плановых еженедельных консультаций.

Раздел 2. Методы оптимизации.

Теоретические занятия (лекции) - 20 часов.

Лекция 4. Информационная лекция.

Вводится понятие функционала, проводится обзор его свойств, рассматриваются необходимые и достаточные условия достижения экстремума функционала. Приводится обзор видов функционала в задачах оптимального управления. Приводится обоснование необходимых и достаточных условий экстремума функционала в форме уравнения или системы уравнений Эйлера, условий трансверсальности, условий Вейерштрасса-Эрдмана, условия Лежандра.

Лекция 5. Информационная лекция.

Приводится сравнительный анализ вариационных задач на безусловный и условный экстремум. Рассматривается принцип Лагранжа снятия ограничений. Рассматривается порядок решения задач с дифференциальными связями, изопериметрических, задач Майера и Больца.

Лекция 6. Информационная лекция.

Приводится обоснование принципа максимума. Рассматривается порядок его применения при отсутствии ограничений на управление. Рассматривается порядок учета дополнительных ограничений в форме равенств, изопериметрическая задача.

Лекция 7. Информационная лекция.

Рассматривается порядок применения принципа максимума при наличии ограничений на управление. Вводятся понятия игольчатой вариации управления, вариации траектории, концевой вариации и рассматривается порядок применения принципа максимума с их учетом.

Лекции 8. Информационная лекция.

Приводится обоснование метода Ньютона для решения краевой задачи, возникающей из принципа максимума, анализ особенностей его применения. Рассматривается метод Крылова-Черноуско.

Лекция 9. Информационная лекция.

Приводится обоснование метода динамического программирования для решения задач синтеза оптимального управления динамическими системами. Рассматриваются особенности его применения. Приводится обоснование аналогии принципа максимума и динамического программирования.

Лекция 10. Информационная лекция.

Рассматривается задача оптимизация по критерию Красовского, приводится обоснование алгоритма синтеза оптимального управления с прогнозирующей моделью.

Лекции 11-12. Информационные лекции.

Рассматриваются особенности постановки и порядок решения задач оптимального управления подвеской автомобиля, организации рекламной кампании, управления скоростью при квадратичном сопротивлении, управления моделью ядерного реактора, управления траекторией летательного аппарата.

Лекция 13. Информационная лекция.

Рассматривается порядок решения задачи аналитического конструирования оптимального регулятора.

Аудиторный практикум - 28 часов.

Занятие 2-1 (6 часов). Форма проведения – решение задач. Рассматриваются вариационные задачи на безусловный и условный экстремум: простейшая задача вариационного исчисления в скалярном и векторном вариантах, задачи с дифференциальными связями, изопериметрические, задачи с подвижными границами, Майера и Больца.

Занятие 2-2 (4 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматриваются задачи синтеза оптимального управления на основе принципа максимума: задача по управлению ЛА на основе метода обратных задач динамики, задача по управлению подвеской автомобиля при наличии интегральных ограничений на управление, при наличии интегральных ограничений на управление и изопериметрическом ограничении, при наличии ограничений на управление в виде неравенства.

Занятие 2-3 (4 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматривается решение краевой задачи, возникающей из принципа максимума, порядок применения численных методов интегрирования систем дифференциальных уравнений при решении краевых задач.

Занятие 2-4 (4 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматривается решение задач синтеза оптимального управления методом динамического программирования, примеры аналитического и численного решения задач.

Занятие 2-5 (4 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматриваются примеры формализации и решения обратных задач динамики для различных объектов управления.

Занятие 2-6 (4 часа). Форма проведения – решение задач. Рассматриваются примеры формализации и решения задач аналитического конструирования оптимального регулятора.

Занятие 2-7 (2 часа). Форма проведения – заслушивание сообщений студентов, разбор практических примеров. Рассматриваются предложенные студентами модели и алгоритмы синтеза оптимального управления в соответствии с вариантами домашних заданий.

Управление самостоятельной работой студента.

Согласование тем и содержания домашних заданий, консультации по решению задач оптимального управления, прием этапов индивидуальных заданий – в часы плановых еженедельных консультаций.

Раздел 3. Прямые методы оптимального управления.

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

Лекция 14-15. Информационные лекции.

Рассматриваются прямые методы синтеза оптимального управления: метод конечных разностей, метод Ритца, метод градиента первой вариации, метод второй вариации, метод параметризации управления.

Управление самостоятельной работой студента.

Консультации по содержанию раздела, выполнению домашних заданий, прием домашних заданий – в часы плановых еженедельных консультаций.

Раздел 4. Проблемы синтеза оптимального управления.

Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.

Лекция 16-17. Информационные лекции.

Рассматриваются постановка задачи синтеза оптимального управления при наличии возмущающих воздействий и принципы ее решения. Рассматривается модель спирального прогноза и принципы построения алгоритма оптимального управления со спиральным прогнозом.

Аудиторный практикум - 2 часа.

Занятие 4-1 (2 часа). Форма проведения – разбор конкретных ситуаций, самостоятельный поиск оптимального решения тестирование. Проводится итоговый коллоквиум по разделам учебной дисциплины.

Управление самостоятельной работой студента.

Консультации по содержанию раздела, прием домашних заданий – в часы плановых еженедельных консультаций. Повторное проведение коллоквиума – в часы приема задолженностей.

Приложение 3
к рабочей программе дисциплины
«Оптимальное управление»

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ
Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часа, из них 68 часов аудиторных занятий и 76 часов, отведенные 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 (приказ ректора от 28.12.2018 г. № 580).

Формы контроля и критерии оценивания приведены в п.4 Рабочей программы и в Приложении 5 к Рабочей программе.

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
Раздел 1. Управляемость.			
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	Выработка навыков получения оценок управляемости стационарных и нестационарных линейных систем.	8	См. тексты лекций, парагр. 1.1-1.3 источника 1 из списка основной литературы, глава 3, парагр. 5.3 источника 8 из списка дополнительной литературы.
Тренировка в решении задач по оценке управляемости и наблюдаемости.	Усвоение теории и тренировка в решении задач на управляемость линейных систем.	4	См. тексты лекций, материалы практического занятия, парагр. 1.1-1.3 источника 1 из списка основной литературы, главы 1-2 источника 3, глава 3, парагр. 5.3 источника 8, подразд. 1.4.2 источника 9 из списка дополнительной литературы.
Итого по разделу 1		12 часов	
Раздел 2. Методы синтеза.			
Анализ домашнего задания.	Обзор типовых моделей и алгоритмов синтеза оптимального управления.	2	См. тексты лекций, материалы практических занятий, источники 5,7 из списка дополнительной литературы.
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	Усвоение математического аппарата, основных аналитических и численных методов синтеза оптимального управления.	20	См. тексты лекций, материалы практических занятий, источника 2,3 из списка основной литературы, источник 1, глава 3 источника 2, источник 5, гл. 2-3 источника 8, источники 10-11 из списка дополнительной литературы.
Выполнение домашнего задания по вычислению оптимального управления.	Построение модели, разработка и программная реализация алгоритма синтеза оптимального управления, программируя реализацию алгоритма, выполнение расчетов.	14	См. тексты лекций, материалы практических занятий, источники 5,7 из списка дополнительной литературы.
Итого по разделу 2		36 часов	
Раздел 3. Применение оптимального управления.			

Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе	Усвоение прямых методов синтеза оптимального управления: метод конечных разностей, метод Ритца, метод градиента первой вариации, метод второй вариации, метод параметризации управления.	12	См. тексты лекций, источник 1 из списка основной литературы, подразд 4.5 источника 2, глава 3 источника 3, источник 4,5,9 из списка дополнительной литературы.
Итого по разделу 3		Раздел 4. Проблемы синтеза оптимального управления	12 часов
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	Усвоение постановки задачи синтеза оптимального управления при наличии взаимно-воздействующих воздействий и принципов ее решения. Усвоение сведений о модели спирального прогноза и принципах построения алгоритма оптимального управления со спиральным прогнозом.	10	См. тексты лекций, гл. 1,2 источника 1 из списка основной литературы, глава 3 источника 3, источник 4, гл. 11 источника 5, источник 6 из списка дополнительной литературы.
Подготовка к коллоквиуму	Повторение материала по разделам учебной дисциплины.	6	См. тексты лекций, материалы практических занятий, источники из списка основной и дополнительной литературы.
Итого по разделу 4		16 часов	76 часов
	Всего		

Приложение 4
к рабочей программе дисциплины
«Оптимальное управление»

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции	Составлять конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Дополнительно обращаться к рекомендованной литературе и другим источникам. Подготовить вопросы, в которых не удается самостоятельно разобраться, и задать их преподавателю при рассмотрении соответствующих тем на лекциях, практикуме или консультации. Наилучших результатов в изучении дисциплины можно достигнуть, стремясь полностью разобраться в материалах каждой лекции в процессе ее слушания.
Практические занятия	При подготовке к практическому занятию рекомендуется повторить теоретические сведения по теме занятия в соответствии с указаниями в таблице Приложения 3 к настоящей рабочей программе и продумать алгоритмы решения типовых задач..
Домашнее задание	Домашнее задание выдается преподавателем в начале семестра выполнение задания сопровождается рассмотрением основных его вопросов и этапов на практических занятиях в дополнение к учебному пособию <i>Кабанов С.А., Александров А.А. Прикладные задачи оптимального управления: учебное пособие к практическим занятиям. – СПб: БГТУ, 2007.</i> Усложненные домашние задания, требующие творческого подхода, допускают бригадное выполнение.
Коллоквиум	Коллоквиум проводится на последнем практическом занятии. При подготовке к коллоквиуму необходимо повторить теоретические сведения по темам практических занятий, используя тексты лекций, источники из списка рекомендованной литературы. По желанию студента коллоквиум может проводиться в форме тестирования.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

1. Оптимальное управление разворотом самолета.
2. Оптимизация выведения ЛА в заданную точку в продольной плоскости.
3. Оптимизация выведения ЛА в заданную точку в боковой плоскости.
4. Оптимизация выведения ЛА в заданную точку в пространстве.
5. Оптимизация траектории посадки самолета.
6. Оптимизация динамики мостового крана.
7. Оптимальное управление ветроэнергетической установкой.
8. Оптимальное управление линейной системой с коррекцией параметров структуры управления.

Приложение 5
к рабочей программе дисциплины
«Оптимальное управление»

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕР РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА	
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	Аудиторный практикум	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ				
4	7	1	Раздел 1. Управляемость.	22	10	6	4	-	12	-	20%	K
		2	Раздел 2. Методы оптимизации.	84	48	20	28	-	36	60%	30%	K
		3	Раздел 3. Прямые методы оптимального управления.	16	4	4	-	-	12	20%	30%	DZ, K
		4	Раздел 4. Проблемы синтеза оптимального управления.	22	6	4	2	-	16	20%	20%	K
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ				144	68	34	34	-	76	100%	100%	

ДЗ – домашнее задание; К – коллоквиум.

Фонды оценочных средств

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

- комплект вариантов индивидуальных заданий задания, включен в состав УМК дисциплины;
- тестовые вопросы и задачи к коллоквиуму, включены в состав УМК дисциплины.

Критерии оценивания

Домашнее задание

Результаты выполнения домашнего задания представляются в печатной или электронной форме. Отчетные материалы должны включать:

По этапу 1 – математическая формулировка задачи оптимизации.

По этапу 2 – вычислительный алгоритм нахождения оптимального управления.

По этапу 3 - текст программы для определения оптимальной динамики системы.
Результаты контрольного расчета.

По этапу 4 – результаты математического моделирования. Выдача рекомендаций.

Рубежный контроль

Рубежная аттестация студентов производится по итогам половины семестра. Результат рубежной аттестации определяется как оценка степени выполнения графика контрольных мероприятий (раздел 4 рабочей программы) на дату проведения аттестации. Полное выполнение графика (выполнение двух этапов домашнего задания) оценивается в 100%.

Вес отдельных контрольных мероприятий:

- этап домашнего задания – 50%.

Итоговый контроль

Итоговый контроль по дисциплине проходит в форме дифференцированного зачета.

Дифференцированный зачет оформляется при следующих условиях:

- успешное выполнение домашнего задания;
- представление отчетных материалов по всем этапам домашнего задания (допускается представление материалов в электронной форме);
- доклад по результатам выполнения домашнего задания и успешные ответы на контрольные вопросы.

В случае выполнения указанных условий до окончания семестра оценка за дифференцированный зачет определяется по итогам коллоквиума на последней неделе семестра. На коллоквиуме студенту предлагается два теоретических вопроса или задачи. При успешном ответе на оба вопроса зачет оформляется с оценкой «отлично», на один – с оценкой «хорошо». При отсутствии успешных ответов зачет оформляется с оценкой «удовлетворительно» на основании успешного выполнения предусмотренных рабочей программой индивидуальных заданий. По желанию студента коллоквиум может проводиться в форме тестирования. Преподавателю предоставляется право повышения оценки с учетом проявленных в процессе изучения дисциплины личностных качеств студента, определенных в разделе 4.

При нарушении сроков, установленных графиком контрольных мероприятий, при выполнении указанных выше условий оформляется дифференцированный зачет с оценкой «удовлетворительно».

СПРАВКА

о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова учебной литературы
(справка является неотъемлемой частью УМК дисциплины)

1. Наименование дисциплины: **Оптимальное управление**

2. Кафедра: **И9 Систем управления и компьютерных технологий**

3. Перечень основной учебной литературы (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров):

1. Кабанов, Сергей Александрович. Оптимизация динамики систем при действии возмущений [Текст] / С. А. Кабанов. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 200 с. : табл. - (Теория управления). - Об авторе: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 196-200. - Приложения: с. 166-195. - ISBN 978-5-9221-0972-7. – 68 экз.

Кабанов, Сергей Александрович. Оптимизация динамики систем при действии возмущений [Электронный ресурс] / С. А. Кабанов. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2006. - 1 эл. жестк. диск : табл. - \\lib_server\\res\\elr00999.pdf. - Библиогр.: с. 209-215. - Приложения: с. 174-208.

2. Лебедев, Михаил Олегович. Основы вариационного исчисления [Текст] : учебное пособие [для вузов] / М. О. Лебедев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2011. - 81 с. : граф., табл. - Библиогр.: с. 80. - ISBN 978-5-85546-616-4. – 124 экз.

Лебедев, Михаил Олегович. Основы вариационного исчисления [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / М. О. Лебедев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2011. - 1 эл. жестк. диск : граф., табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\res\\elr01690.pdf. - Библиогр.: с. 80. - ISBN 978-5-85546-616-4.

3. Родин, Борис Павлович. Вариационное исчисление [Текст] : учебное пособие [для вузов] / Б. П. Родин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2017. - 60 с. - Библиогр.: с. 58. - Предмет. указ.: с. 58-59. – 50 экз.

Родин, Борис Павлович. Вариационное исчисление [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / Б. П. Родин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2017. - 1 эл. жестк. диск. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\res\\elr01541.pdf. - Библиогр.: с. 58. - Предмет. указ.: с. 58-59.

4. Перечень дополнительной литературы (авторы, название, наличие грифа Минобразования, УМО, НМС, другого министерства или ведомства, выходные данные, количество экземпляров):

1. Аттетков, Александр Владимирович. Методы оптимизации [Текст] : учебное пособие для вузов / А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников. - М. : РИОР : ИНФРА-М, 2012. - 269 с. : граф., схемы, табл. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 260-265. - Библиогр. в подстроч. прим. - Список принят. сокращ.: с. 7-8. - Вопросы для самопроверки: в конце глав. - Предмет. указ.: с. 266-269. - ISBN 978-5-369-01037-2. - ISBN 978-5-16-004876-5. – 11 экз.

2. Емельянов, Валентин Юрьевич. Теория принятия решений: базовые методы [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Ю. Емельянов, В. К. Кругликов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.

Устинова. - СПб. : [б. и.], 2006. - 160 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 159. - ISBN 5-85546-220-X. – 237 экз.

Емельянов, Валентин Юрьевич. Теория принятия решений: базовые методы [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / В. Ю. Емельянов, В. К. Кругликов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2006. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr01537.pdf. - Библиогр.: с. 159. - ISBN 5-85546-220-X.

3. Иванов, Виктор Александрович. Математические основы теории оптимального и логического управления [Текст] : учебное пособие для вузов / В. А. Иванов, В. С. Медведев. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 599 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 590. - Вопросы и задачи: в конце глав. - Предмет. указ.: с. 591-596. - ISBN 978-5-7038-3366-7. – 13 экз.

4. Кабанов, Сергей Александрович. Управление системами на прогнозирующих моделях [Текст] / С. А. Кабанов. - СПб. : Изд-во СПбГУ, 1997. - 200 с. : схемы, граф., табл. - Библиогр.: с. 190-197. - Приложения: с. 166-189. - ISBN 5-288-01941-X. – 68 экз.

Кабанов, Сергей Александрович. Управление системами на прогнозирующих моделях [Электронный ресурс] / С. А. Кабанов ; ред. Т. Ф. Шпагина. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Изд-во СПбГУ, 1997. - 1 эл. жестк. диск : схемы, граф., табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr01515.pdf. - Библиогр.: с. 190-197. - Приложения: с. 166-189. - ISBN 5-288-01941-X

5. Кабанов, Сергей Александрович. Прикладные задачи оптимального управления [Текст] : учебное пособие к практическим занятиям [для вузов] / С. А. Кабанов, А. А. Александров ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007. - 76 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 74. - ISBN 978-5-85546-291-3. – 137 экз.

6. Кабанов, Сергей Александрович. Задачи управления с оптимизацией параметров прогнозирующих моделей [Текст] / С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2017. - 110 с. : граф. - Библиогр. в конце разд. - ISBN 978-5-906920-52-2. – 31 экз.

Кабанов, Сергей Александрович. Задачи управления с оптимизацией параметров прогнозирующих моделей [Электронный ресурс] / С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2017. - 1 эл. жестк. диск : граф. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr02709.pdf. - Библиогр. в конце разд. - ISBN 978-5-906920-52-2.

7. Кабанов, Сергей Александрович. Расчёт аэрогидродинамических характеристик и траекторий подвижных объектов [Текст] : учебное пособие [для вузов] / С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов, Ф. В. Митин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2019. - 159 с. : граф., схемы, табл., фот. - Библиогр.: с. 158. - Прил.: с. 119-157. - ISBN 978-5-907054-72-1. – 38 экз.

Кабанов, Сергей Александрович. Расчёт аэрогидродинамических характеристик и траекторий подвижных объектов [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов, Ф. В. Митин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2019. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл., фот. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr03088.pdf. - Библиогр.: с. 158. - Прил.: с. 119-157.

8. Мирошник, Илья Васильевич. Теория автоматического управления. Линейные системы [Текст] : учебное пособие для вузов / И. В. Мирошник. - М. ; СПб. ; Нижний Новгород : Питер, 2005. - 334 с. : ил. - (Учебное пособие). - КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. - Библиогр.: с. 326-327. - Список сокращений и обозначений: с. 11-12. - Предметный указ.: с. 328-333. - Об авторе на обл. - ISBN 5-469-00350-7. – 26 экз.

9. Пантелеев, Андрей Владимирович. Теория управления в примерах и задачах [Текст] : учебное пособие для вузов / А. В. Пантелеев, А. С. Бортаковский. - М. : Высшая школа, 2003. - 584 с. : граф., ил., табл. - (Прикладная математика для ВТУЗов). - Библиогр.: с. 581 - 583. - Ответы : с. 572 - 580. - ISBN 5-06-004136-0. – 24 экз.

10. Толпегин, Олег Александрович. Математическое программирование. Вариационное исчисление [Текст] : тексты лекций / О. А. Толпегин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2003. - 203 с. : ил., граф., табл. - Библиогр.: с. 201. – 161 экз.

Толпегин, Олег Александрович. Математическое программирование. Вариационное исчисление [Электронный ресурс] : тексты лекций / О. А. Толпегин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2003. - 1 эл. жестк. диск : ил., граф., табл. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr00084.pdf. - Библиогр.: с. 201.

11. Толпегин, Олег Александрович. Прикладные методы оптимального управления [Текст] : тексты лекций / О. А. Толпегин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2004. - 215 с. : табл., рис., граф. - Библиогр.: с. 156-158. - Лабораторные работы: с. 158-192. - Тексты программ на языке Паскаль: с. 193-213. - 158 экз.

Толпегин, Олег Александрович. Прикладные методы оптимального управления [Электронный ресурс] : конспект лекций / О. А. Толпегин ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - АВТ. РЕД. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2004. - 1 эл. жестк. диск : цв. : табл., рис., граф. - Электрон. версия печ. публикации \\lib_server\\elres\\elr00144.pdf. - Библиогр.: с. 4-5.

Директор библиотеки

 / Н.В. Сесина /