

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института

« 11 » 12 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**Оптимальные системы управления**  
(наименование дисциплины, модуля)

направление подготовки (специальность):

**27.03.04 – Управление в технических системах**  
(шифр и наименование направления бакалавриата, магистра, специальности)

Направленность программы (профиль, специализация):

**27.03.04 – Управление в технических системах**  
(наименование образовательной программы (профиль, специализация))

Квалификация

**бакалавр**

(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения

**очная**

(очная, заочная и др.)

Институт: Информационных технологий и управляющих систем


Кафедра: Техническая кибернетика

Белгород – 2015

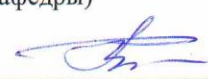
Рабочая программа составлена на основании требований:

▪ Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 27.03.04 Управление в технических системах (бакалавриат), приказ Минобрнауки России от 20 октября 2015 г. № 1171

▪ плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах (бакалавриат).

Составитель (составители): д.т.н., проф.  (В.Г. Рубанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой  
Техническая кибернетика  
(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (В.Г. Рубанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

« 11 » 12 2015 г.

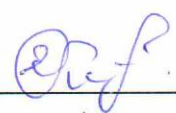
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 11 » 12 2015 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (В.Г. Рубанов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 11 » 12 2015 г., протокол № 4

Председатель: канд. техн. наук, доц.  (Ю.И. Солопов)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Формируемые компетенции			Требования к результатам обучения
№	Код компетенции	Компетенция	
<b>Общепрофессиональные</b>			
1	ПК-2	Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> методы оптимизации динамических систем, критерии оптимизации, подходы к решению задач оптимизации</p> <p><b>Уметь:</b> применять методику синтеза оптимальных алгоритмов к решению задач оптимизации систем второго порядка</p> <p><b>Владеть:</b> методологией оптимизации динамических систем и реализацией оптимальных алгоритмов управления на структурном уровне</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Математический анализ
2	Алгебра и аналитическая геометрия
3	Математические основы теории управления
4	Математические модели элементов и систем управления
5	Численные методы и оптимизация
6	Вычислительная математика
7	Теория автоматического управления

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Робототехнические системы
2	Проектирование систем управления
3	Научно-исследовательская работа по направлению

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. единиц, 144 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр №7	
		Всего часов	В неделю
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	144	
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	51	51	
лекции	34	34	2
лабораторные			
практические	17	17	1
семинары			
УИРС			
Консультации			
Самостоятельная работа студентов	93	93	
Курсовой проект			
Расчетно-графические задания			
Контрольные работы			
Рефераты			
Другие виды самостоятельной работы			
Вид контроля (зачет, экзамен)	36	36	

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

##### Курс 4 Семестр 7

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Экстремальные задачи оптимального управления</b>					
	Постановка задачи оптимального управления. Понятие о критериях оптимальности. Виды ограничений. Виды функционалов качества. Классификация вариационных задач управления. Задачи Лагранжа, Больца, Майера. Условия трансверсальности в задачах оптимального управления с подвижными концами	4	2		8
<b>2. Классические методы оптимизации</b>					
	Решение задачи оптимизации с помощью вариационного исчисления. Задачи на условный экстремум. Синтез оптимального управления методом вариационного исчисления	4	2		10
<b>3. Принцип максимума Понтрягина</b>					
	Математическое содержание принципа максимума. Геометрическая трактовка принципа максимума. Понятие об игольчатой вариации. Методика решения	8	4		18

	задачи оптимизации с использованием принципа максимума. Синтез оптимального управления по быстродействию (задача об успокоении материальной точки). Задача об успокоении маятника (оптимальное управление, оптимальная траектория)				
<b>4. Метод динамического программирования Беллмана</b>					
	Принцип оптимальности Беллмана. Математическая трактовка принципа. Функциональное уравнение Беллмана	4	2		18
<b>5. Прикладные задачи оптимального управления</b>					
	Задача Чаплыгина как задача оптимального управления. Задача об оптимальном управлении зарядной конденсатора. Задача о мягкой посадке космического аппарата на Луну. Задача о максимизации скорости ракеты в конце участка выведения ее на прямолинейную траекторию	6	4		16
<b>6. Обобщения задач оптимизации</b>					
	Оптимальные процессы в линейной системе при ограниченной энергии. Оптимальный процесс при двух управляющих функциях. Оптимальные процессы при ограничениях температуры нагрева. Оптимальные процессы в следящих системах с ограничениями мощности, скорости, тока.	8	3		23
	<b>ВСЕГО</b>	<b>34</b>	<b>17</b>		<b>93</b>

*Примечание: в колонку «самостоятельная работа» входят подготовка к лекционным, практическим, лабораторным занятиям.*

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

### Курс 4 Семестр №7

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 7				
1	Экстремальные задачи оптимального управления	Критерии. Ограничения. Типы задач: Лагранжа, Больца, Майера. Трансверсальность.	2	3
2	Классические методы оптимизации	Синтез оптимального регулятора частоты вращения ДПТ с независимым возбуждением и управлением со стороны якоря методом вариационного исчисления	2	2
3	Принцип максимума Понтрягина	Решение задач оптимизации для объектов управления второго порядка с применением методики принципа максимума	4	4
4	Метод динамического программирования	Решение задач о выборе кратчайшего пути с применением методики принципа программирования	2	4
5	Прикладные задачи оптимального управления	Системы с неустойчивым объектом и неустойчивой линейной частью. Системы с запаздыванием.	4	10
6	Обобщение задач оптимизации	Задачи с ограничениями и энергетическими критериями эффективности	3	6
<b>ИТОГО:</b>			<b>17</b>	<b>29</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>17</b>	<b>29</b>

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

Лабораторные работы не предусмотрены

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Экстремальные задачи управления	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. С помощью каких переменных можно характеризовать состояние объекта управления?</li> <li>2. Что такое допустимое управление?</li> <li>3. Какая точка на фазовой траектории называется достижимой?</li> <li>4. Что собой представляет функция цели?</li> <li>5. В какой форме представляется функция качества?</li> <li>6. Какие виды функционалов качества вы знаете?</li> <li>7. Чем отличаются задачи Лагранжа, Больца и Майера?</li> <li>8. В чем состоят условия трансверсальности?</li> </ol>
2	Классические методы оптимизации	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. Изложите особенности задачи на условный экстремум?</li> <li>10. Какое управление называется управлением связи?</li> <li>11. Как задача на условный экстремум сводится к задаче на безусловный экстремум?</li> <li>12. Приведите уравнение Эйлера-Лагранжа и объясните какие неизвестные функции определяются в результате их решения?</li> </ol>
3	Принцип максимума	<ol style="list-style-type: none"> <li>13. Изложите общую постановку задачи оптимизации и задайте</li> </ol>

	<b>Понтрягина</b>	её геометрическую трактовку. 14. Изложите методику решения задачи оптимизации методом Понтрягина. 15. Дайте геометрическую интерпретацию принципа максимума в задаче о быстродействии. 16. Проиллюстрируйте на примере применение принципа максимума. 17. Сформулируйте теорему об n-интервалах.
4	<b>Метод динамического программирования Беллмана</b>	18. В чем состоит принцип оптимальности Беллмана? 19. Дайте математическую трактовку принципа оптимальности Беллмана. 20. Запишите функциональное уравнение Беллмана.
5	<b>Прикладные задачи оптимального управления</b>	21. Приведите примеры постановки прикладных задач оптимального управления. 22. Как определяется линия переключения на фазовой плоскости? 23. В чем особенность задачи об оптимальном замедлении маятника? 24. В какой форме выбирается функционал при решении задачи об оптимальной зарядке конденсатора? 25. Изложите методику решения задачи об оптимальном управлении посадкой аппарата на Луну.
6	<b>Обобщения задач оптимизации</b>	26. Как задаются функционалы качества при решении задач оптимизации по энергетическим показателям? 27. В чем особенность решения задачи оптимизации с двумя управляющими функциями?

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем**

Выполнение курсовых работ и курсовых проектов не предусмотрено учебным планом дисциплины.

## **5.3. Перечень индивидуальных домашних заданий, расчетно-графических заданий**

Выполнение индивидуальных домашних заданий и расчетно-графических заданий не предусмотрено учебным планом дисциплины.

## **5.4. Перечень контрольных работ**

Выполнение контрольных работ не предусмотрено учебным планом дисциплины.

## **6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **6.1. Перечень основной литературы**

1. Рубанов В.Г. Теория нелинейных систем автоматического управления. Учебное пособие. Белгород, изд-во БГТУ, 2015.

2. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 4, Теория автоматизации систем автоматического управления. М., изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.

### **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Пантелеев А.В., Бортаковский А.С., Летова Т.А. Оптимальное управление в примерах и задачах. М: Издательство МАИ, 1996.
2. Васильев О.В., Аргучинцев А.В. Методы оптимизации в задачах и упражнениях, 1999.
3. Ariyur, K.V. and M. Krstic, 2003. Real-Time Optimization by Extremum-Seeking Control. USA, John Wiley & Sons Ins., pp: 230
4. Betts J.T. Practical methods for optimal control and estimation using nonlinear programming, 2010 / SIAM ISBN10/ISBN13 : 0898716888/9780898716887 Pages :449
5. Матвеев А.С., Якубович В.А. Оптимальные системы управления: обыкновенные дифференциальные управления. Специальные задачи. Спб., Издательство СпГУ, 2003.
6. Ванько В.И., Ермошина О.В., Кувыргин Г.Н. Вариационное исчисление и оптимальное управление. М: Издательство МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006.
7. Галеев Э.М. Оптимизация. Теория. Примеры. Задачи. М: URSS, 2006.

### **6.3. Перечень интернет ресурсов**

<http://www.elibrary.ru>- Научная электронная библиотека

<http://www.gpntb.ru/>- Государственная публичная научно-техническая библиотека России

<http://elibrary.bmstu.ru> – Библиотека МГТУ им. Н.Баумана

<http://www.ntb.bstu.ru> и переход к системе NormaCS - Электронно-библиотечная система БГТУ им В.Г.Шухова

<http://elib.spbstu.ru/dl/2/4830.pdf/info-> Электронная библиотека СПбПУ.  
Системы оптимального управления: конспект лекций

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**1. АВК 6**

**2. АВК 31**

**3. ПЭВМ**

**4. Программные средства MATCAD, MATLAB.**

**5. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Специализированная лаборатория «Теория автоматического управления»;

2. Специализированная лаборатория «Моделирование систем



автоматического управления»;


3. Компьютерный класс.

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2016/2017 учебный год.  
Протокол № 10 заседания кафедры от «16» 05 2016г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  Рубанов В.Г.  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  Белоусов А.В.  
подпись, ФИО

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений  
Рабочая программа без изменений утверждена на 2017/2018 учебный год.  
Протокол № 11 заседания кафедры от «15» 05 2017г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  Рубанов В.Г.  
подпись, ФИО


Директор института \_\_\_\_\_  Белоусов А.В.  
подпись, ФИО

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений

Рабочая программа без изменений утверждена на 2018/2019 учебный год.  
Протокол № 13 заседания кафедры от «01» 06 2018г.

Заведующий кафедрой  Рубанов В.Г.  
подпись, ФИО

Директор института  Белоусов А.В.  
подпись, ФИО