

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

« 23 » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

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

направление подготовки (специальность):

**15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств**  
(шифр и наименование направления бакалавриата, магистра, специальности)

Направленность программы (профиль, специализация):

**15.04.04–01 – Автоматизация технологических процессов и производств**  
**(промышленность)**  
(наименование образовательной программы (профиль, специализация))

Квалификация

**магистр**  
(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения

**очная**  
(очная, заочная и др.)

Институт: Информационных технологий и управляющих систем

Кафедра: Техническая кибернетика

Рабочая программа составлена на основании требований:

▪ Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств (уровень магистратуры), приказ Минобрнауки России от 21 ноября 2014 г. № 1484

▪ плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств (магистратура).

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 » марта 2015 г.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 13 » марта 2015 г., протокол № 8

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

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 14 » апреля 2015 г., протокол № 9

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-15	Способность разрабатывать теоретические модели, позволяющие исследовать качество выпускаемой продукции, производственных и технологических процессов, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики испытаний и управления, проводить анализ, синтез и оптимизацию процессов автоматизации, управления производством, жизненным циклом продукции и её качеством на основе программно-ориентированных методов.	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p>Знать: технику и технологию решения задач оптимизации</p> <p>Уметь: систематизировать информацию по решению задач оптимизации и использовать методы оптимизации, разработанные отечественными и зарубежными учеными</p> <p>Владеть: навыками систематизации научно-технической информации в области оптимизации систем автоматизации, критической оценки и разработки технической документации по разработке, а также разработки экспериментальных методов систем оптимального управления с применением компьютерного моделирования и составления отчетов по проведенным исследованиям</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Теория матриц
2	Метод пространства состояний в теории управления
3	Алгоритмизация технологического процесса
4	Хаотическая динамика импульсных систем

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Системы автоматизированного проектирования
2	SCADA-технологии
3	Проектирование систем управления, контроля и диагностики
4	Научно-исследовательская работа по направлению
5	Методология проектно-конструкторских работ

6	Теория и практика научных исследований
---	--

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единицы, 180 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр №3	
		Всего часов	В неделю
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180	
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	68	68	
лекции	17	17	1
лабораторные	17	17	1
практические	34	34	2
семинары			
УИРС			
Консультации			
Самостоятельная работа студентов	112	112	
Курсовой проект			
Расчетно-графические задания			
Контрольные работы			
Рефераты			
Другие виды самостоятельной работы			
Вид контроля (зачет, экзамен)	Э	Э	

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

#### Курс 2 Семестр 3

№ 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	4		12
<b>2. Классические методы оптимизации</b>					

	Решение задачи оптимизации с помощью вариационного исчисления. Задачи на условный экстремум. Синтез оптимального управления методом вариационного исчисления	2	4	4	14
<b>3. Принцип максимума Понтрягина</b>					
	Математическое содержание принципа максимума. Геометрическая трактовка принципа максимума. Понятие об игольчатой вариации. Методика решения задачи оптимизации с использованием принципа максимума. Синтез оптимального управления по быстродействию (задача об успокоении материальной точки). Задача об успокоении маятника (оптимальное управление, оптимальная траектория)	6	8	8	32
<b>4. Метод динамического программирования Беллмана</b>					
	Принцип оптимальности Беллмана. Математическая трактовка принципа. Функциональное уравнение Беллмана	2	4		22
<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	3	14	5	32
	<b>ВСЕГО</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>112</b>

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

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

### Курс 2 Семестр №3

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 3				
1	Экстремальные задачи оптимального управления	Критерии. Ограничения. Типы задач: Лагранжа, Больца, Майера. Трансверсальность.	4	4
2	Классические методы оптимизации	Синтез оптимального регулятора частоты вращения ДПТ с независимым возбуждением и управлением со стороны якоря методом вариационного исчисления	4	4
3	Принцип максимума Понтрягина	Решение задач оптимизации для объектов управления второго порядка с применением методики принципа максимума	8	6
4	Метод динамического программирования	Решение задач о выборе кратчайшего пути с применением методики принципа программирования	4	2
5	Прикладные задачи оптимального управления	Системы с неустойчивым объектом и неустойчивой линейной частью. Системы с запаздыванием.	8	8
6	Обобщение задач оптимизации	Задачи с ограничениями и энергетическими критериями эффективности	6	6
<b>ИТОГО:</b>			<b>34</b>	<b>50</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>34</b>	<b>50</b>

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 3				
1	Экстремальные задачи оптимального управления. Классические методы оптимизации.	Исследование оптимальной системы частоты вращения ДПТ с независимым возбуждением и управлением со стороны якоря	2	2
2	Принцип максимума Понтрягина	Моделирование системы оптимизации успокоения маятника. Задача об успокоении материальной точки	6	6
3	Метод динамического программирования	Моделирование задачи о коммивояжере	2	4
4	Прикладные задачи оптимального управления	Моделирование задач оптимизации (зарядка конденсатора, мягкая посадка аппарата на Луну, максимизация скорости в конце разгона).	4	10
5	Обобщение задач оптимизации	исследование следящих систем, оптимальных по скорости, с ограничением по мощности	3	8
<b>ИТОГО:</b>			<b>17</b>	<b>30</b>
<b>ВСЕГО:</b>			<b>17</b>	<b>30</b>

## 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	<b>Экстремальные задачи управления</b>	<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	<b>Классические методы оптимизации</b>	<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	<b>Принцип максимума Понтрягина</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>13. Изложите общую постановку задачи оптимизации и задайте её геометрическую трактовку.</li> <li>14. Изложите методику решения задачи оптимизации методом Понтрягина.</li> <li>15. Дайте геометрическую интерпретацию принципа максимума в задаче о быстродействии.</li> <li>16. Проиллюстрируйте на примере применение принципа максимума.</li> <li>17. Сформулируйте теорему об n-интервалах.</li> </ol>
4	<b>Метод динамического программирования Беллмана</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>18. В чем состоит принцип оптимальности Беллмана?</li> <li>19. Дайте математическую трактовку принципа оптимальности Беллмана.</li> <li>20. Запишите функциональное уравнение Беллмана.</li> </ol>
5	<b>Прикладные задачи оптимального управления</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>21. Приведите примеры постановки прикладных задач оптимального управления.</li> <li>22. Как определяется линия переключения на фазовой плоскости?</li> <li>23. В чем особенность задачи об оптимальном замедлении маятника?</li> <li>24. В какой форме выбирается функционал при решении задачи об оптимальной зарядке конденсатора?</li> <li>25. Изложите методику решения задачи об оптимальном управлении посадкой аппарата на Луну.</li> </ol>
6	<b>Обобщения задач оптимизации</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>26. Как задаются функционалы качества при решении задач оптимизации по энергетическим показателям?</li> <li>27. В чем особенность решения задачи оптимизации с двумя управляющими функциями?</li> </ol>

### 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., Бортакровский 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 СПбГУ, 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.
8. Павлов А.А. Синтез релейных систем, оптимальных по быстродействию. –М., Наука, 1966.
9. Брайсон А., Хью-Ши. Прикладная теория оптимального управления. –М., Мир, 1972.

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

1. Авторские руководства по продуктам MathWorks [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru>
2. Н. В. Клиначёв. Теория систем автоматического регулирования. Учебно-методический комплекс [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://model.exponenta.ru>

## **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.

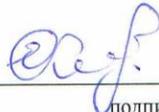
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Рубанов В.Г.  
подпись, ФИО

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