

**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

« 15 » 05 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**дисциплины (модуля)**

**Математические модели элементов и систем управления**  
(наименование дисциплины, модуля)

направление подготовки (специальность):

**15.03.06 – Мехатроника и робототехника**  
(шифр и наименование направления бакалавриата, магистра, специальности)

Направленность программы (профиль, специализация):

(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 15.03.06 Мехатроника и робототехника (бакалавриат), приказ Минобрнауки России от 12 марта 2015 г. № 206
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника (бакалавриат).

Составитель (составители): канд. техн. наук  (Е.М. Паращук)  
(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)

« 12 » 05 2015 г.


Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 12 » 05 2015 г., протокол № 10

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

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 15 » 05 2015 г., протокол № 7

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>Профессиональные</b>			
1	ПК-1	Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники	<p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>Знать:</b> виды математических моделей мехатронных и робототехнических систем; основные динамические характеристики систем, способы их получения и анализа</p> <p><b>Уметь:</b> составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства</p> <p><b>Владеть:</b> программными пакетами Matlab и Mathcad с целью проведения вычислительных экспериментов исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем</p>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Алгебра и аналитическая геометрия
2	Математический анализ
3	Физика
4	Теоретическая механика

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

№	Наименование дисциплины (модуля)
1	Теория автоматического управления (анализ и синтез линейных, нелинейных и дискретных систем автоматического управления)
2	Технические средства систем управления роботом (математические модели, отражающие основные свойства рассматриваемых устройств)
3	Моделирование систем (составление структурной схемы системы и исследование основных динамических характеристик)
4	Мобильные робототехнические комплексы
5	Проектирование робототехнических систем

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зач. единиц, 216 часов.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	<b>216</b>	<b>216</b>
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	<b>85</b>	<b>85</b>
лекции	34	34
лабораторные	17	17
практические	34	34
<b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	<b>131</b>	<b>131</b>
Курсовой проект	-	-
Курсовая работа	36	36
Расчетно-графическое задания	-	-
Индивидуальное домашнее задание	-	-
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	<b>95</b>	<b>95</b>
Самостоятельная работа при подготовке к экзамену	36	36
Самостоятельная работа при подготовке к лабораторным занятиям	17	17
Самостоятельная работа при подготовке к практическим занятиям	25	25
Самостоятельная работа на 1 час лекций	17	17
Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	<b>экзамен</b>	<b>экзамен</b>

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

##### Курс 2 Семестр 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1.</b>	<b>Общие сведения о системах автоматического управления</b>				
	История развития теории автоматического управления. Понятие об объекте управления, управляющем устройстве и видах воздействия. Примеры управляемых объектов и систем автоматического управления. Классификация систем автоматического управления. Понятие о классификационных признаках. Классификация систем управления по характеру внутренних динамических процессов и виду уравнений, описывающих динамические процессы. Принципы построения систем автоматического	2	2		3

	управления.				
<b>2.</b>	<b>Виды математических моделей объектов и систем управления</b>				
	Понятие о моделях систем автоматического управления. Виды моделей. Математические модели в области действительного переменного: уравнения движения, формы их представления (классическая, форма Коши, векторно-матричная). Модели систем в области комплексного переменного: а) преобразование Лапласа и его свойства, б) передаточная функция, в) векторно-матричная передаточная функция, г) частотная форма модели системы. Типовые входные воздействия. Переходная и импульсная переходная (весовая) временные характеристики систем и их показатели качества. Частотные характеристики систем объектов и систем управления	4	4		5
<b>3.</b>	<b>Элементарные динамические звенья и их характеристики</b>				
	Временные и частотные динамические характеристики элементарных динамических звеньев, описываемых дифференциальными уравнениями не выше второго порядка (усилительное (безынерционное) звено; интегрирующее звено; идеальное дифференцирующее звено; форсирующее звено 1-го порядка; инерционное (апериодическое) звено; форсирующее звено 2-го порядка; колебательное звено; звено с запаздыванием)	10	4	11	19
<b>4.</b>	<b>Структурные схемы объектов и систем управления</b>				
	Передаточные функции последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединения элементов в системе. Правила преобразования структурных схем. Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем автоматического управления. Частотные характеристики последовательного и параллельного соединений звеньев. Векторно-матричные модели систем управления.	4	6	2	7
<b>5.</b>	<b>Математические модели объектов и элементов автоматики</b>				
	Аналогии математических моделей элементов с механическими и электрическими компонентами. Термические объекты управления. Гидравлические и пневматические компоненты систем. Математические модели гидравлического сервомотора..	6			3
<b>6.</b>	<b>Математические модели нелинейных элементов систем</b>				
	Общие свойства статических характеристик нелинейных элементов. Типовые статические характеристики нелинейных элементов.	2	8	4	11
<b>7.</b>	<b>Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем</b>				
	Конечно-разностные уравнения, z-преобразование. Передаточные функции дискретных систем. Цифровые модели динамических процессов. Цифровые модели элементарных динамических звеньев.	6	10		11
	<b>ВСЕГО</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>17</b>	<b>59</b>

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

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр №4				
1	Общие сведения о системах автоматического управления	Принципы построения систем автоматического управления. Функционально-необходимые элементы систем и функциональные схемы систем.	2	2
2	Виды математических моделей объектов и систем управления	Математические модели элементов и систем автоматического управления. Классификация моделей. Математический аппарат описания моделей.	4	3
3	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Динамические характеристики элементов и систем. Способы их получения. Иллюстрация на примерах элементарных динамических звеньев.	4	3
4	Структурные схемы объектов и систем управления	Соединение элементарных динамических звеньев. Правила преобразования структурных схем. Правила построения частотных характеристик при различных соединениях звеньев.	6	3
5	Математические модели нелинейных элементов систем	Типовые нелинейные характеристики. Их математические модели.	2	2
6	Математические модели нелинейных элементов систем	Эквивалентный комплексный коэффициент передачи нелинейного звена. Получение коэффициентов гармонической линеаризации для различных типов нелинейных статических характеристик.	6	4
7	Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем	Математические модели дискретного элемента и цифровой системы управления. Методы получения решетчатых переходных функций по z-передаточной функции.	6	4
8	Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем	Построение комплексных частотных характеристик дискретной системы.	4	4
ИТОГО:			<b>34</b>	<b>25</b>
ВСЕГО:			<b>34</b>	<b>25</b>

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 4				
1	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Изучение аналогового вычислительного комплекса АВК-6.	2	2
2	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование динамических характеристик элементарных звеньев первого порядка на АВК-6	2	2
3	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование динамических характеристик элементарных звеньев второго порядка на АВК-6	2	2
4	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Изучение пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	2	2
5	Элементарные динамические звенья и их характеристики	Исследование статических и динамических режимов модели системы ШИП-ДПТ с использованием пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	3	3
6	Структурные схемы объектов и систем управления	Исследование статических и динамических режимов модели системы ШИП-ДПТ в замкнутой системе регулирования с использованием пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	2	2
7	Математические модели нелинейных элементов систем	Моделирование типовых нелинейностей на АВК-6 и с использованием пакета прикладных программ Matlab и его приложения Simulink	4	4
ИТОГО:			<b>17</b>	<b>17</b>
ВСЕГО:			<b>17</b>	<b>17</b>

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

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

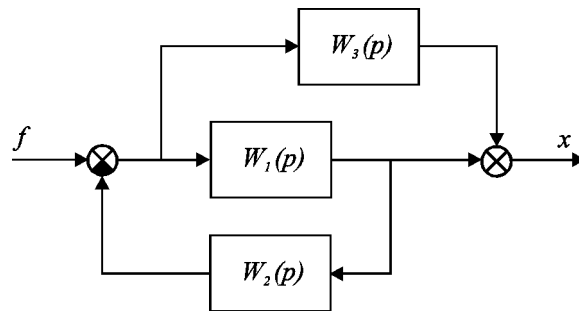
№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	<b>Общие сведения о системах автоматического управления</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Перечислите задачи, решаемые в дисциплине «Математические модели элементов и систем управления». Разъясните их содержание.</li> <li>2. Дайте определение объекта управления, управляющего устройства, возмущающего воздействия.</li> <li>3. Перечислите признаки классификации систем управления.</li> <li>4. Классификация систем по характеру внутренних динамических процессов и виду уравнений, описывающих</li> </ol>

		<p>динамические процессы.</p> <p>5. Классификация систем по точности обработки входного ступенчатого воздействия.</p> <p>6. Классификация систем по объему информации и характеру изменения требуемого значения регулируемых координат.</p> <p>7. По какому принципу строится автоматическая система управления, и какие функциональные элементы необходимы для ее построения?</p> <p>8. Какие виды обратных связей используются в системе управления?</p> <p>9. Какая система называется системой автоматизированного управления.</p> <p>10. Как называется частная задача управления, состоящая в обработке задающего воздействия без выбора характера этого воздействия?</p> <p>11. Как называется система, задающее воздействие которой является произвольной функцией времени?</p>
2	<p><b>Виды математических моделей объектов и систем управления</b></p>	<p>1. Что такое математическая модель объекта или системы управления?</p> <p>2. Дайте определение адекватности математической модели реальной системе.</p> <p>3. Какие формы математических моделей используются в теории автоматического управления?</p> <p>4. Чем определяются выбор той или иной формы модели?</p> <p>5. Приведите математические выражения, соответствующие различным формам модели.</p> <p>6. Перечислите виды типовых входных воздействий.</p> <p>7. Как называется типовое воздействие, имеющее изображение по Лапласу <math>1/s</math>?</p> <p>8. Как называется реакция на типовое воздействие <math>1(t)</math>?</p> <p>9. Как называется реакция на типовое воздействие <math>\delta(t)</math>?</p> <p>10. Дайте определение передаточной функции.</p> <p>11. Что является оригиналом передаточной функции?</p> <p>12. Дайте определение структурной модели.</p> <p>13. Какие динамические характеристики применяются для описания свойств систем или звеньев?</p> <p>14. Перечислите временные динамические характеристики систем управления, какими показателями качества они характеризуются?</p> <p>15. Что такое фундаментальная матрица?</p> <p>16. Дайте определение комплексной частотной системы.</p> <p>17. Дайте определение АЧХ <math>A(\omega)</math>.</p> <p>18. Дайте определение ФЧХ.</p> <p>19. Что такое амплитудно-частотная характеристика системы?</p> <p>20. Как определить по кривой КЧХ значение амплитуды и фазы характеристики выходного сигнала для конкретной частоты?</p> <p>21. Как определить полосу пропускания системы?</p> <p>22. Дайте определение фазочастотной характеристики.</p> <p>23. Как получить логарифмические частотные характеристики?</p> <p>24. Что называется декадой на ЛАЧХ?</p>



3	<b>Элементарные динамические звенья и их характеристики</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое элементарное динамическое звено?</li> <li>2. Перечислите виды элементарных звеньев и запишите их передаточные функции.</li> <li>3. Приведите временные и частотные характеристики звеньев фазоотстающего типа первого порядка.</li> <li>4. Приведите временные и частотные характеристики звеньев фазопережающего типа первого порядка.</li> <li>5. Изобразите частотные характеристики звеньев фазоотстающего типа второго порядка.</li> <li>6. Изобразите частотные характеристики звеньев фазопережающего типа второго порядка.</li> <li>7. Покажите отличия в переходных характеристиках для фазоотстающего звена второго порядка при различных типах корней характеристического уравнения.</li> <li>8. Как называется звено с передаточной функцией вида <math>W(s) = \frac{1}{2s + 1}</math> ?</li> <li>9. Как называется звено с передаточной функцией вида <math>W(s) = \frac{1}{2s^2 + 1}</math> ?</li> <li>10. Как называется звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине?</li> <li>11. Какое звено на всех частотах создает отставание выходного сигнала относительно входного по фазе на <math>-90^\circ</math>?</li> <li>12. У какого звена, выходная величина в каждый момент времени пропорциональна входной величине?</li> <li>13. У какого звена реакция на скачок является экспоненциальной функцией времени?</li> <li>14. Как называется значение времени, отсекаемое на линии установившегося значения касательной к переходной характеристике инерционного звена, восстановленной из начала координат?</li> <li>15. Что представляет собой АФЧХ дифференцирующего звена?</li> <li>16. Что представляет собой АФЧХ интегрирующего звена?</li> <li>17. Как называется звено с комплексным коэффициентом передачи <math>W(j\omega) = -j \frac{k}{\omega}</math> ?</li> <li>18. Как называется звено, ЛАЧХ которого представляет собой одиночную асимптоту с наклоном <math>+20</math> дБ/дек?</li> <li>19. Как называется звено, ЛАЧХ которого представляет собой одиночную асимптоту с наклоном <math>-20</math> дБ/дек?</li> <li>20. При каком условии звено <math>a_0 y'' + a_1 y' + y = kx</math> является колебательным звеном?</li> <li>21. При каком условии звено <math>a_0 y'' + a_1 y' + y = kx</math> является консервативным звеном?</li> </ol>
4	<b>Структурные схемы объектов и систем управления</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие соединения звеньев называются последовательными?</li> <li>2. Какие соединения звеньев называются параллельными?</li> <li>3. Как определить передаточные функции последовательного и параллельного соединения звеньев?</li> <li>4. Изложите методику построения КЧХ параллельного соединения звеньев.</li> </ol>

5. Изложите методику построения КЧХ последовательного соединения звеньев.
6. Изложите методику построения ЛАЧХ и ЛФЧХ последовательного соединения звеньев.
7. Если входной и выходной гармонические сигналы линейной системы равны соответственно  $x(t)=\sin(t+90^\circ)$  и  $y(t)=2\sin(t-90^\circ)$ , то чему равны значения АЧХ и ФЧХ?
8. Если  $\operatorname{Re}(\omega) = -5$ , а  $\operatorname{Im}(\omega) = 0$ , то чему равны АЧХ и ФЧХ системы?
9. Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ системы с передаточной функцией  $W(s) = \frac{10}{(s+1)(2s+1)(10s+1)}$ .
10. Чему равна частота среза ЛАЧХ системы с передаточной функцией  $W(s) = \frac{1}{s+2}$ ?
11. Чему равна частота сопряжения ЛАЧХ системы с передаточной функцией  $W(s) = \frac{1}{s^2+2s}$ ?
12. Чему равна эквивалентная передаточная функция соединения



13. Дифференциальное уравнение системы имеет вид  $x'' + 6x' + 3x = 5f' + 2f + 4g$ . Здесь  $f(t)$  - задающее воздействие,  $g(t)$  - возмущающее воздействие. Каким выражением определяется передаточная функция системы по задающему воздействию  $f(t)$ ?
14. Имеем замкнутую систему с отрицательной единичной обратной связью.  $W(p) = \frac{3(4p+1)}{3p^2+6p+1}$  - передаточная функция разомкнутой системы. Каким выражением определяется передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию  $\Phi(p)$ ?
15. Два звена образуют последовательное соединение.  $A_1(\omega)$  и  $\varphi_1(\omega)$  - амплитудная и фазовая частотные характеристики 1-го звена.  $A_2(\omega)$  и  $\varphi_2(\omega)$  - амплитудная и фазовая частотные характеристики 2-го звена. Какой зависимостью определяется АЧХ всего соединения?
16. Передаточная функция линейной системы имеет вид  $W(p) = \frac{10(0,2p+1)}{0,3p^2+1,1p+1}$ . Из последовательного соединения каких элементарных звеньев состоит данная система?

	<b>модели объектов и элементов автоматики</b>	<p>математической модели акселерометра?</p> <p>2. Какими свойствами обладают элементы электрического колебательного контура?</p> <p>3. В чем аналогия между акселерометром и колебательным контуром?</p> <p>4. Какие физические процессы протекают в тепловом объекте управления и каким законам они подчиняются?</p> <p>5. От чего зависит скорость истечения жидкости из резервуара?</p> <p>6. Приведите примеры объектов с транспортным запаздыванием.</p> <p>7. К чему приводит с точки зрения изменения динамики введение обратной связи в гидравлическом приводе?</p>
6	<b>Математические модели нелинейных элементов систем</b>	<p>1. Чем отличаются естественные нелинейности от искусственных?</p> <p>2. Какие причины вызывают необходимость учета нелинейностей в системах?</p> <p>3. Приведите примеры типовых нелинейностей.</p> <p>4. Опишите математически нелинейность типа «трехпозиционное реле с гистерезисом».</p> <p>5. В чем состоит метод гармонической линеаризации нелинейностей и каковы условия его применения?</p> <p>6. Как определяются коэффициенты гармонической линеаризации?</p> <p>7. Что представляет собой комплексный коэффициент передачи нелинейного звена?</p>
7	<b>Понятие о конечно-разностных уравнениях и передаточных функциях дискретных систем</b>	<p>1. Какой математический аппарат используется для описания дискретных систем?</p> <p>2. Как определяются конечные разности решетчатых функций?</p> <p>3. Какая связь между дискретным преобразованием Лапласа и z-преобразованием?</p> <p>4. Как получить z-передаточную функцию системы?</p>

Для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, а также для контроля самостоятельной работы обучающегося по отдельным разделам дисциплины разработаны тесты в программном пакете SunRav TestOfficePro- средство для контроля проверки знаний.

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

Курсовая работа имеет своей целью закрепить теоретические знания, полученные при изучении лекционного материала, и практические навыки, приобретенные в процессе выполнения лабораторных работ и решения задач на практических занятиях.

Курсовая работа выполняется на основе полученного студентами типового задания структуры с индивидуальным вариантом номенклатуры звеньев, входящих в структуру, и числовых значений параметров звеньев.

В курсовой работе предусматривается получение передаточных функций разомкнутой и замкнутой систем на основе передаточных функций элементарных динамических звеньев с учетом последовательного, параллельного и встречно-параллельного их соединения; построение частотных характеристик отдельных звеньев (КЧХ, АЧХ, ФЧХ, ЛАЧХ и ЛФЧХ) и соединения в целом (КЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ); построение математической модели, соответствующей результирующей передаточной функции, и определение по ней модели соединения в форме пространства состояния.

Расчетно-пояснительная записка должна быть оформлена по требованиям ЕСКД и должна содержать изложение теоретических вопросов, основных математических выводов, расчетные данные, оформленные в таблицы и графики. Примерный объем 25 – 30 страниц машинописного текста. Библиография должна быть приведена в соответствие с требованиями ЕСКД.

На выполнение КР предусмотрено 36 часов самостоятельной работы студента.

### Задание на курсовую работу

Задана обобщенная структурная схема (рис.1) и коэффициенты дифференциальных уравнений, описывающих элементы этой системы. Каждый элемент системы описывается в общем виде дифференциальным уравнением не выше второго порядка:

$$a_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_0 x(t) = b_1 \frac{dg(t)}{dt} + b_0 g(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  – выходная,  $g(t)$  – входная величина элемента;  $a_i, b_i (i=0,1,2)$  – постоянные коэффициенты.

Значение коэффициентов дифференциальных уравнений элементов 1, 2 и 3 системы выбираются из табл. 1 по предпоследней цифре шифра зачетной книжки, а коэффициенты уравнений элементов 4-7 из табл. 2 по последней цифре шифра зачетной книжки студента.

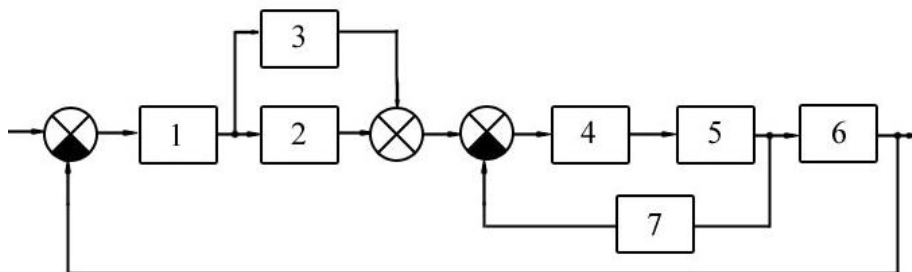


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы

Таблица 1

№ Пред-ья цифра зачетной книжки	1 элемент				2 элемент				3 элемент			
	$b_1=0$				$a_2=0$				$a_2=0$			
	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$b_0$	$a_1$	$a_0$	$b_1$	$b_0$	$a_1$	$a_0$	$b_1$	$b_0$
0	0	0,05	1	5,5	2	1	0,4	0	2	1	0	1
1	0,16	4,08	2	10	0	1	0	2	0	1,5	1,5	0
2	0	0,066	2	15	0,25	1	0	1	0	0	0	0
3	0	0,028	1	4	0	1,5	0	2,25	1	0	0	1,5
4	0	0,075	3	12	6	2	0,4	2	0	0	0	0
5	0	0,022	1	6,5	1	1	0	1	1	1	0,2	0
6	0,05	2,52	1	2	0	1,5	3,0	0	0	0,5	0	4
7	0	0,054	3	7,5	0	0	0	0	0,25	2	0	2
8	0	0,016	1	3,5	2	0	0	6	0	1	0	1
9	0	0,03	2	10	0	0	0	0	1	1	1,16	1

Таблица 2

№ элемента	4 элемент		5 элемент				6 элемент			7 элемент		
	$b_1 = a_2 = a_1 = 0$		$b_1 = 0$				$b_1 = a_2 = 0$			$a_2 = a_1 = 0$		
	$a_0$	$b_0$	$a_2$	$a_1$	$a_0$	$b_0$	$a_1$	$a_0$	$b_0$	$a_0$	$b_1$	$b_0$
0	0,1	12	0,75	3	0	0,3	0	0,4	10	2	4	0
1	0,2	25	0	1,2	4	0,4	1	0	12	4	0	1,6
2	0,2	80	0	1	0	1	2	0	7	1	0	0,1
3	0,5	100	0,2	2	0	0,4	0	0,5	1	5	0,5	0
4	0,3	48	0	1	5	1,25	4	0	10	1	0	0,1
5	0,5	125	0	0,5	0	1	1	0	4,4	3	0	0,6
6	0,1	10	0,8	2	0	3	0	1	1	2	1,2	0
7	0,5	70	0	0,3	1	0,2	0,2	0	3	2	0	1
8	0,2	32	0	1	0	0,5	0,5	0	4	1	0	0,25
9	0,1	19	0,75	1,5	0	0,15	0	1	20	1	1	0

**Требуется:**

1. Записать дифференциальные уравнения элементов системы. Найти передаточные функции этих элементов и их структурную схему.
2. Получить структурно-динамическую схему системы. Определить передаточные функции разомкнутой и замкнутой системы.
3. Записать дифференциальное уравнение замкнутой системы.
4. Построить комплексные частотные характеристики элементарных звеньев, входящих в систему.
5. Построить амплитудные и фазовые частотные характеристики звеньев.

6. Построить КЧХ разомкнутой системы.
7. Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы.
8. Найти частоту среза.
9. Построить модель соединения по его разомкнутой передаточной функции  $W(s)$ , соответствующую векторно-матричному представлению соединения.
10. Найти матрицы состояния, управления, измерения и переходов (A,B,C,D) и записать уравнения состояния и выхода.

### **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 линейных систем автоматического управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Г. Рубанов ; БГТУ им. В. Г. Шухова. – Электрон. текстовые дан. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2015. – Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2015092312173558600000659472>

2. *Зубов, В. И.* Лекции по теории управления: учебное пособие / В. И. Зубов. - 2-е изд., испр. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. - 495 с. - (Классическая учебная литература по математике). - ISBN 978-5-8114-0985-3

3. *Первозванский, А. А.* Курс теории автоматического управления : учеб. пособие / А. А. Первозванский. - 2-е изд., стер. - М.; СПб.; Краснодар: Лань, 2010. - 615 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0995-2

4. *Рубанов, В. Г.* Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем): учебное пособие для студ. вузов. Ч. I / В. Г. Рубанов; БГТУ им. В.Г. Шухова. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. – 198 с.

5. *Коновалов, Б. И.* Теория автоматического управления : учеб. пособие / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - 3-е изд., доп. и перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 219 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1034-7

6. [Рубанов, В. Г.](#) Математические модели элементов и систем автоматического управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Г. Рубанов; БГТУ им. В. Г. Шухова. – Электрон. текстовые дан. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2013. – Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2014082812561127900000655899>

7. [Первозванский, А. А.](#) Курс теории автоматического управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. А. Первозванский. - Москва: Лань", 2015. - 624 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-0995-2. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=68460](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=68460)

8. [Ощепков, А. Ю.](#) Система автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Ю. Ощепков. - Москва: Лань, 2013. - 208 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1471-0. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=68463](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=68463)

## **6.2. Перечень дополнительной литературы**

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 747 с.

2. Подлесный, Н.И. Элементы систем автоматического управления и контроля / Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов.– К.: Выща школа, 1975.– 272 с.

3. Подлесный, Н.И. Элементы систем автоматического управления и контроля / Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов.– Киев.: Выща школа, 1982.– 477 с.

4. Подлесный, Н.И. Элементы систем автоматического управления и контроля / Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов.– М.: Высшая школа, 1991.– 464 с.

5. Леонов, Г. А. Теория управления: курс лекций / Г. А. Леонов. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 233 с.

6. Вострикова, А. С. Теория автоматического регулирования: учеб. пособие / А. С. Вострикова, Г. А. Французова. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2006. – 365 с.

7. Корнеев, Н. В. Теория автоматического управления с практикумом : учеб. пособие / Н. В. Корнеев, Ю. С. Кустарев, Ю. Я. Морговский. – М.: Издательский центр "Академия", 2008. – 219 с.

8. Певзнер, Л. Д. Практикум по теории автоматического управления: учебное пособие / Л. Д. Певзнер. – М.: Высшая школа, 2006. – 590 с.

9. [Коновалов, Б. И.](#) Теория автоматического управления [Электронный ресурс] / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - Москва: Лань, 2010. - ISBN 978-5-8114-1034-7. Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=538](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=538)

10. Рубанов, В.Г. Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем): учебное пособие/ В.Г. Рубанов. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, Ч.1. – 2005. – 198 с.

11. Линейные и нелинейные системы автоматического управления: метод. указания к выполнению лаб. работ по дисциплине " Теория автомат. упр." для студентов направления бакалавриата 27.03.04 – Упр. в техн. системах, 15.03.04 – Автоматизация технол. процессов и пр-в, 15.03.06 – Мехатроника и робототехника / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. техн. кибернетики ; сост. В. Г. Рубанов, В. А. Порхало, Е. М. Паращук, И. А. Рыбин. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – 31 с.

12. Линейные и нелинейные системы автоматического управления [Электронный ресурс] : метод. указания к выполнению лаб. работ по дисциплине " Теория автомат. упр." для студентов направления бакалавриата 27.03.04 – Упр. в техн. системах, 15.03.04 – Автоматизация технол. процессов и пр-в, 15.03.06 – Мехатроника и робототехника / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. техн. кибернетики ; сост.: В. Г. Рубанов, В. А. Порхало, Е. М. Паращук, И. А. Рыбин. – Электрон. текстовые дан. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2014121013214236300000657621>

13. Элементарные динамические звенья и их свойства: методические указания к выполнению курсовой работы по курсам «Математические основы теории управления» и «Математические модели элементов и систем» / В. Г. Рубанов, Е. М. Паращук. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 36 с.

14. Элементарные динамические звенья и их свойства [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению курсовой работы по курсам «Математические основы теории управления» и «Математические модели элементов и систем» / В. Г. Рубанов, Е. М. Паращук. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – Режим доступа:

<https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2014121012550082800000656772>

15. Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор; пер. с англ. Б. И. Копылов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 615 с.

16. Жабко, А. П. Сборник задач и упражнений по теории управления: стабилизация программных движений: учеб. пособие / А. П. Жабко, А. В. Прасолов, В. Л. Харитонов. – М.: Высш. шк., 2003. – 286 с.

17. Востриков, А. С. Теория автоматического регулирования: учебное пособие / А. С. Востриков, Г. А. Французова. – М.: Высш. шк., 2004. – 365 с.

18. Методы классической и современной теории автоматического управления : в 5 т. : учеб. / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. - М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – 2004. – 654 с.



19. Теория автоматического управления: учеб. для вузов / ред. В. Б. Яковлев. – М.: Высш. шк., 2003. – 566 с.
20. Теория автоматического управления / ред. Ю. М. Соломенцев. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк., 2000. – 267 с.
21. Егоров, А. И. Основы теории управления / А. И. Егоров. – М.: Физматлит, 2004. – 502 с.
22. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления / А. А. Воронов. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1980. – 308 с.
23. Ерофеев, А. А. Теория автоматического управления: учеб. для студентов вузов / А. А. Ерофеев. – 2-е изд., доп. и перераб. – СПб.: Политехника, 2003. – 302 с.
24. Пантелеев, А.В. Теория управления в примерах и задачах: учебное пособие/ А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 583 с.
25. [Рубанов, В. Г.](#) Теория автоматического управления (математические модели, анализ и синтез линейных систем) [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Г. Рубанов. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2005 - (Электронные копии учебных изданий). Ч. 1 . - 2005. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM). Режим доступа:  
<https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2017011214473408900000653002>
26. [Ротач, В. Я.](#) Теория автоматического управления: учебник / В. Я. Ротач. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: МЭИ, 2004. - 398 с. - ISBN 5-7046-0924-4

#### Справочная и нормативная литература

1. ГОСТ 9327-60. Бумага и изделия из бумаги. Потребительские форматы
2. ГОСТ 2.701-2008. Единая система конструкторской документации. Виды и типы. Общие требования к выполнению
3. ГОСТ 2.728-74. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы
4. ГОСТ 23336-78. Машины вычислительные аналоговые и аналого-цифровые. Правила выполнения схем моделирования

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

1. Российское образование ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ: <http://www.edu.ru/>
2. Курс лекций. Теория автоматического управления:  
<http://www.toehelp.ru/theory/tau/contents.html>
3. Клиначёв Н. В. Теория автоматического регулирования. Учебно-методический комплекс: <http://model.exponenta.ru/lectures/index.htm>
4. Доступ к глобальной сети Internet.

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

Лекционные занятия – поточная аудитория мк323, оснащенная интерактивной доской и проекционным оборудованием;

Лабораторные занятия – специализированная лаборатория мк231 «Лаборатория теории автоматического управления и моделирования систем управления», оборудование – шесть машин АВК-6, пять машин АВК-32, одна машина АВК-31, 6 высокопроизводительных компьютеров, проектор, 3D-принтер, 3D-сканер.

Для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, а также для контроля самостоятельной работы обучающегося по отдельным разделам дисциплины разработаны тесты в программном пакете SunRay TestOfficePro - средство для контроля проверки знаний, размещенные на ПК компьютерного зала мк229.

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине для проведения практических занятий и выполнения курсовой работы используется пакет прикладных программ MATLAB.

Сведения о наличии лицензионного программного обеспечения:

Matlab 2014b, Simulink, Neural Networks Toolbox, Statistics and Machine Learning Toolbox (10 лиц. №362444 бессрочная);

Microsoft Windows 7, 10 (MSDN подписка БГТУ);

Microsoft Office 2013 (Лицензия БГТУ);

Программа электронного тестирования TestOfficePro (Лицензия БГТУ).

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа с изменениями утверждена на 2016 /2017 учебный год.

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

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

### Список изменений и дополнений в рабочую программу, утвержденный на 2016/2017 учебный год.

В перечень основной литературы добавлены следующие книги:

1. Коновалов, Б. И. Теория автоматического управления [Электронный ресурс] / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - Москва: «Лань», 2016. - 224 с. - ISBN 978-5-8114-1034-7 – Режим доступа:

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=71753](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71753)

2. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Электронный ресурс] / А. Р. Гайдук, Т. А. Пьявченко, В. Е. Беляев. - Москва : Лань", 2016. - 464 с. : ил. ; 21 см. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1255-6

Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=71744](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71744)

В качестве лицензионного программного обеспечения используются также:

MathWorks Individual Licenses (per License): MATLAB 2016b, Simulink, Neural Networks Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, Control System Toolbox (10 лиц. 1145851 бессрочная);

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа с изменениями утверждена на 2017/2018 учебный год

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

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

**Список изменений и дополнений в рабочую программу, утвержденный на 2017/2018 учебный год.**

В типовом варианте экзаменационного билета изменено название министерства.

*Типовой вариант экзаменационного билета семестра №4*

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

Кафедра Технической кибернетики

Дисциплина Математические модели элементов и систем управления

Направление 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

Профиль 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Временные динамические характеристики и их показатели качества.
2. Элементарное апериодическое (инерционное) звено и его характеристики.

Утверждено на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_\_  
(дата)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / В.Г. Рубанов

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа без изменений утверждена на 2018 /2019 учебный год.

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

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

## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение №1.** Рубанов, В. Г. Математические модели элементов и систем управления: учеб. пособие / В. Г. Рубанов. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – 157 с.

**Приложение №2.** Линейные и нелинейные системы автоматического управления: метод. указания к выполнению лаб. работ по дисциплине " Теория автомат. упр." для студентов направления бакалавриата 27.03.04 – Упр. в техн. системах, 15.03.04 – Автоматизация технол. процессов и пр-в, 15.03.06 – Мехатроника и робототехника / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. техн. кибернетики ; сост. В. Г. Рубанов, В. А. Порхало, Е. М. Паращук, И. А. Рыбин. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2014. – 31 с.

**Приложение №3.** Элементарные динамические звенья и их свойства: методические указания к выполнению курсовой работы по курсам «Математические основы теории управления» и «Математические модели элементов и систем» для студентов направления бакалавриата 27.03.04 – Упр. в техн. системах, 15.03.04 – Автоматизация технол. процессов и пр-в, 15.03.06 – Мехатроника и робототехника / В. Г. Рубанов, Е. М. Паращук. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. – 36 с.