

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Инженерный институт



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной деятельности КФУ

\_\_\_\_\_ Д.А. Таюрский

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **Программа дисциплины**

Основы автоматического управления

Направление подготовки: 27.03.02 - Управление качеством

Профиль подготовки: Управление роботизированными производственными системами

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. Деваев В.М. (кафедра управления качеством, Инженерный институт), VMDevaev@kpfu.ru ; специалист по учебно-методической работе 1 категории Кузьмина И.А. (отдел научно-образовательной деятельности, Инженерный институт), Irina.Kuzmina@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- основные принципы построения и основные методы анализа и синтеза систем автоматического управления, включающие построения математических моделей объектов и систем,- методы исследования устойчивости и качества систем

Должен уметь:

- произвести выбор функциональных элементов САУ, построить математические модели элементов и систем; - произвести преобразование математических моделей; - провести динамический расчет; - произвести синтез САУ с заданными динамическими свойствами

Должен владеть:

- современными тенденциями развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий для расчета и проектирования перспективных систем и средств управления;

Должен демонстрировать способность и готовность:

- построения и динамического расчета САУ с помощью частотных методов и методов пространства состояний с применением ПЭВМ, построения экспериментальных характеристик элементов и систем. - применять результаты освоения дисциплины в профессиональной деятельности.

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.11.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 27.03.02 "Управление качеством (Управление роботизированными производственными системами)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 3 курсе в 5 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 72 часа(ов), в том числе лекции - 36 часа(ов), практические занятия - 36 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 72 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 5 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Принципы проектирования САУ, классификация САУ, статическое и					

астатическое регулирование

---

5

1

1

0

2

N	Разделы дисциплины / модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Преобразование Лапласа Определение, свойства и простейшие теоремы	5	1	1	0	2
3.	Тема 3. Функциональные элементы	5	1	1	0	2
4.	Тема 4. Частотные функции, частотные характеристики.	5	1	1	0	4
5.	Тема 5. Динамические звенья	5	2	2	0	4
6.	Тема 6. Структурные преобразования.	5	2	2	0	4
7.	Тема 7. Устойчивость САУ	5	2	2	0	2
8.	Тема 8. Показатели качества.	5	1	1	0	2
9.	Тема 9. Синтез САУ	5	1	1	0	2
10.	Тема 10. Особенности и свойства нелинейных систем	5	1	1	0	4
11.	Тема 11. Метод фазовой плоскости.	5	2	2	0	4
12.	Тема 12. Автоколебания САУ	5	2	2	0	4
13.	Тема 13. Нелинейная коррекция	5	2	2	0	4
14.	Тема 14. Особенности цифровых систем. Z- преобразование	5	2	2	0	2
15.	Тема 15. Разностные уравнения	5	2	2	0	2
16.	Тема 16. Передаточные функции ЦС.	5	1	1	0	4
17.	Тема 17. Анализ ЦС.	5	2	2	0	4
18.	Тема 18. Устойчивость ЦС	5	2	2	0	4
19.	Тема 19. Частотные функции.	5	1	1	0	2
20.	Тема 20. Синтез САУ	5	1	1	0	2
21.	Тема 21. Уравнения динамики каждого из функциональных элементов САУ	5	1	1	0	2
22.	Тема 22. Исследование устойчивости САУ.	5	1	1	0	2
23.	Тема 23. Синтез САУ.	5	1	1	0	
24.	Тема 24. Метод весовых функций.	5	1	1	0	
25.	Тема 25. Оптимизация САУ при случайных воздействиях.	5	1	1	0	4
26.	Тема 26. Синтез оптимального фильтра.	5	1	1	0	4
	Итого		36	36	0	72

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

##### Тема 1. Введение. Принципы проектирования САУ, классификация САУ, статическое и астатическое регулирование

Автоматизация и механизация производства. Управление, объект управления, управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия. Автоматическое управление, автоматическое управляющее устройство, система автоматического управления.

Разомкнутые и замкнутые системы управления. Понятие обратной связи. Подсистемы автоматического регулирования. Автоматический регулятор. Основные функциональные

элементы регулятора и алгоритм его функционирования. Способы реализации алгоритмов регулирования. Аналоговые и цифровые регуляторы

## **Тема 2. Преобразование Лапласа Определение, свойства и простейшие теоремы**

Дискретные модели систем управления. Этапы построения математической модели линейной системы с амплитудно-импульсной модуляцией. Разложение импульсного элемента на идеальный импульсный элемент и формирующий элемент. Выходные импульсы идеального импульсного элемента. Пример формирующего элемента для прямоугольной формы 5 импульсов: передаточная функция. Перенос внешнего воздействия на вход импульсного элемента. Замена действующих в непрерывной части системы непрерывных сигналов на фиктивные дискретные сигналы. Решетчатые функции. Разностные уравнения. Разности различных порядков. Дискретные передаточные функции. Решение разностных уравнений. Дискретное преобразование Лапласа, Z-преобразование. Основные свойства Z-преобразования: линейность сдвиг во временной области, начальное и конечное значение оригинала. Применение преобразования Лапласа к моделированной последовательности идеальных импульсов. Прохождение выходного сигнала идеального импульсного элемента через линейную часть системы. Z-преобразование реакции линейной части системы на модулированную последовательность идеальных импульсов. Передаточная функция системы в форме Z-преобразования. Пример расчета реакции импульсной системы на входное воздействие

## **Тема 3. Функциональные элементы**

Основные функциональные составляющие САУ - объект управления, чувствительные и корректирующие элементы, датчики, генераторы.

Системы автоматического управления отличаются друг от друга объектами управления, конструкцией управляющих устройств, физической природой задающих и управляющих величин. Тем не менее в независимости от этих различий в САУ существуют элементы, выполняющие одинаковые функции. Для САУ можно изобразить функциональную схему, характеризующую функции, выполняемые отдельными элементами. Выделим следующие функциональные элементы:

1. Объект управления (ОУ)
2. Измерительное устройство (Из.У)
3. Задающее устройство (ЗУ)
4. Сравнивающее устройство (элемент сравнения) (СУ)
5. Усилительное устройство (Ус.У)
6. Корректирующее устройство (КУ)
7. Исполнительное устройство (ИУ)

## **Тема 4. Частотные функции, частотные характеристики.**

Определение частотных функций и частотных характеристик, их свойства

Частотную передаточную функцию  $W(j\omega)$ , являющуюся комплексным выражением, можно представить в векторной форме. При изменении частоты входного сигнала в пределах  $-\infty$   $+\infty$  конец вектора опишет годограф, который называют амплитудно-фазовой частотной характеристикой (АФЧХ).

АФЧХ строится по точкам. Отрицательная ветвь характеристики АФЧХ при зеркально отражает ветвь. Поэтому при анализе системы достаточно построить положительную ветвь АФЧХ при изменении частоты.

## **Тема 5. Динамические звенья**

В зависимости от назначения, особенностей конструкции и примененных элементов в составе той или иной системы автоматического управления могут быть самые разнообразные функциональные элементы, число которых в принципе не ограничено. Однако самые разнообразные по физической природе элементарные функциональные элементы можно описать ограниченным числом различающихся по виду дифференциальных уравнений. Названное обстоятельство приводит к тому, что число разновидностей структурных звеньев (т.е. описываемых отличающимися дифференциальными уравнениями) систем автоматического управления невелико.

Поскольку при математическом описании функционального элемента порядок дифференциального уравнения ограничивают вторым порядком, то возможны следующие пять типов описания (для обыкновенных линейных систем): дифференциальное уравнение нулевого порядка; дифференциальное уравнение первого порядка; дифференциальное уравнение второго порядка; функция интегрирования; функция дифференцирования. Перечисленные пять описаний рассматриваются в качестве типовых структурных звеньев обыкновенной линейной системы автоматического управления.

Апериодическое, интегрирующее, дифференцирующее, колебательное и запаздывающее Звенья.

## **Тема 6. Структурные преобразования.**

Способы приведения структурных схем к каноническому виду.

В процессе анализа или синтеза структур систем автоматического управления полезно использовать правила преобразования структурных схем с целью их упрощения, выявления их особенностей и облегчения восприятия. Можно указать два основных правила преобразования структурных схем: перенос точки разветвления и перенос точки суммирования.

### **Тема 7. Устойчивость САУ**

Определение устойчивости и неустойчивости САУ. Критерии устойчивости  
Устойчивость является одним из необходимых условий, обеспечивающих нормальное функционирование автоматических систем. Термин устойчивость настолько выразителен, что говорит сам за себя. Однако точное определение устойчивости неэлементарно. Интуитивное понятие устойчивости относится в большей степени к линейным системам. Будем говорить, что линейная система устойчива, если ее реакция на любое ограниченное воздействие также ограничена, и неустойчива, если реакция на ограниченные воздействия неограниченна.

### **Тема 8. Показатели качества.**

Основные показатели качества переходных процессов - быстродействие, точность, перерегулирование. Запас устойчивости.

Для полной характеристики системы автоматического управления применяют качественные показатели, характеризующие свойства системы. Качественные показатели системы можно разделить на следующие группы: Оценки точности управления в системе, использующие величину ошибки системы.

Оценка запаса устойчивости системы, характеризующая склонность системы к потере устойчивости.

Оценка быстродействия системы.

Косвенные и интегральные оценки, косвенно характеризующие точность и быстродействие системы.

### **Тема 9. Синтез САУ**

Постановка задачи синтеза. Метод желаемых ЛАХ. Нелинейные аналоговые САУ

Методы синтеза линейных систем автоматического управления (САУ). Понятия и определения. Постановка задачи синтеза системы регулирования. Инвариантность и чувствительность систем управления; управляемость и наблюдаемость. Частотный метод синтеза корректирующих звеньев. Основные соотношения метода. Построение ЛАЧХ объекта. Построение желаемой ЛАЧХ. Определение ЛАЧХ корректирующего звена. Расчет передаточной функции корректирующего звена и схемная реализация на интегрирующих элементах. Влияние возмущений и помехи измерения на свойства замкнутой системы.

### **Тема 10. Особенности и свойства нелинейных систем**

Классификация нелинейностей.

Система автоматического регулирования является нелинейной, если для нее не выполняется принцип суперпозиции, и сигналы в системе связаны между собой нелинейными дифференциальными уравнениями. Строго говоря, линейных САУ не существует, так как характеристики реальных устройств нелинейны и некоторые из них не могут быть линеаризованы, а при больших отклонениях сигналов от установившихся значений приходится учитывать нелинейные свойства и элементов САУ, допускающих линеаризацию.

Причиной нелинейности САУ может быть то, что некоторые сигналы или их производные входят в математическое описание системы не в первой степени или имеется произведение сигналов, а также то, что коэффициенты уравнений изменяются во времени или являются функциями сигналов и их производных. Очень часто нелинейность системы обусловлена наличием в ней звеньев, у которых выходной и входной сигналы связаны между собой существенной, т.е. неподдающейся линеаризации, статической нелинейной зависимостью. К числу таких звеньев относятся так называемые типовые нелинейности.

### **Тема 11. Метод фазовой плоскости.**

Исследование нелинейной системы методом фазовой плоскости.

Метод фазовой плоскости применяется для анализа нелинейных систем, порядок которых не выше второго. На плоскости с координатами строится траектория движения системы. Плоскость и траекторию движения систем называют фазовыми. По характеру фазовой траектории оценивается качество работы системы.

### **Тема 12. Автоколебания САУ**

Постановка задачи. Гармоническая линеаризация однозначных и неоднозначных нелинейных элементов. Методы вычисления амплитуды и частоты автоколебаний.

Устойчивость автоколебаний.

Если в замкнутой нелинейной системе САУ возникают автоколебания с постоянной амплитудой и частотой, то коэффициенты гармонической линеаризации оказываются постоянными, а вся система стационарной. Незатухающие колебания в замкнутых системах возникают в том случае, когда характеристическое уравнение системы содержит пару мнимых сопряженных корней.

### Тема 13. Нелинейная коррекция

Фильтры с фазовым опережением и амплитудным ослаблением. Нелинейное демпфирование.

При синтезе нелинейных систем кроме классических задач коррекции систем автоматического управления по точности, качеству, устойчивости, решаются две специфические задачи подавление автоколебаний или организация в системе свободных колебаний с определенной амплитудой и частотой.

Для их решения применяются цепи обратной связи, обратные нелинейные характеристики, специально организованные гармонические сигналы, вибрационная линеаризация нелинейных характеристик, другие методы.

### Тема 14. Особенности цифровых систем. Z-преобразование

Критерии устойчивости импульсных систем с использованием Z-преобразования.

Определение устойчивости по характеристическому полиному замкнутой системы. Критерий Найквиста. Применение теории импульсных систем к цифровым системам. Структура цифровой системы. Исследование системы с помощью преобразования Лапласа. Дискретное представление типовых законов регулирования. Эквивалентная структурная схема модели. 6 Исследование системы с помощью Z-преобразования. Эквивалентная структурная схема модели.

### Тема 15. Разностные уравнения

Описание динамических процессов с помощью разностных уравнений.

Для синтеза и анализа цифровых систем управления во временной области широко используют разностные уравнения.

Разностное уравнение дискретной системы может быть получено из описания системы в форме обыкновенных дифференциальных уравнений или непосредственно по ее непрерывной передаточной функции.

### Тема 16. Передаточные функции ЦС.

Передаточные функции ЭВМ, формирователя и непрерывной части системы.

Понятие передаточной функции является очень важной категорией в теории автоматического управления и регулирования. Передаточная функция является своего рода математической моделью САУ, т.к. полностью характеризует динамические свойства системы.

Под передаточной функцией элемента или системы понимают отношение операторного (лапласового) изображения соответствующей выходной величины к операторному изображению входной величины.

При этом также считают, что элемент или система находились при нулевых начальных условиях, т.е. элемент или система находились в установившемся состоянии, т.е. в состоянии покоя.

### Тема 17. Анализ ЦС.

Методы получения переходного процесса в ЦС

Автоматические системы управления (САУ) являются предметом исследования частно-научной теории автоматического управления (ТАУ).

По определению, САУ охватывает объект управления (ОУ) и управляющего устройства (УУ). Системообразующие свойства САУ ? информационные, среди которых объект управления со своими технологическими свойствами отображается производственной функцией  $F(t)$ . Назначение САУ ? управлять производственной функцией  $F(t)$ , функция САУ  $\Phi(t)$  ? это функционал от  $F(t)$  ?  $\Phi[F(t)]$ . Таким образом, применение САУ позволяет понизить сложность функционала технологической системы до уровня функции системы управления (рис. 28).

Отличие от АСУ в этом примере заключается в следующем: объект-носитель ? это ОУ и УУ; системообразующие свойства ? это информационные свойства не только УУ, но и ОУ; в базе системы обычно отсутствует организационное обеспечение (персонал); все отношения в САУ, как правило, могут быть отображены в аналоговой форме. "Безлюдность" САУ позволяет использовать для ее анализа высокоразвитые и эффективные формальные методы ТАУ.

### Тема 18. Устойчивость ЦС

Основной критерий устойчивости, со -преобразование. Критерии Стодоль, Гурвица.

Критерий устойчивости Гурвица. Критерий определяет необходимые и достаточные условия устойчивости системы любого порядка. Критерий формулируется следующим образом. Из коэффициентов характеристического уравнения составляется квадратная матрица с  $n$  строками и  $n$  столбцами.



### **Тема 19. Частотные функции.**

Определение частотных функций и характеристик.

Частотную передаточную функцию  $W(j\Omega)$ , являющуюся комплексным выражением, можно представить в векторной форме. При изменении частоты входного сигнала в пределах  $-\infty + \infty$  конец вектора опишет годограф, который называют амплитудно-фазовой частотной характеристикой (АФЧХ).

### **Тема 20. Синтез САУ**

Задача синтеза САУ. Методы желаемых ЛАХ.

Постановка задачи синтеза системы регулирования. Инвариантность и чувствительность систем управления; управляемость и наблюдаемость. Частотный метод синтеза корректирующих звеньев. Основные соотношения метода. Построение ЛАЧХ объекта. Построение желаемой ЛАЧХ. Определение ЛАЧХ корректирующего звена. Расчет передаточной функции корректирующего звена и схемная реализация на интегрирующих элементах. Влияние возмущений и помехи измерения на свойства замкнутой системы.

### **Тема 21. Уравнения динамики каждого из функциональных элементов САУ**

Линеаризация уравнений, запись передаточной функции. Структурная схема САУ

Исполнительные устройства работают в сложных динамических режимах слежения за сигналом рассогласования между текущим и заданным значением координат объекта управления. Отсюда вытекают специфические требования к этим устройствам:

- обеспечение необходимых выходных усилий во всех режимах работы и способность выдерживать кратковременные перегрузки, возникающие в системе;
- обеспечение высоких скоростей и ускорений по перемещению объекта управления;
- плавное регулирование скорости, ускорения и т.д. объекта управления в широких пределах;
- обеспечение независимости частоты вращения выходного вала от изменения нагрузки (достаточная жесткость механической характеристики);
- отсутствие ?самохода? (продолжение вращения ротора при снятом сигнале управления);
- малая инерционность.

### **Тема 22. Исследование устойчивости САУ.**

Основной критерий, критерии Стодольского, Гурвица, Найквиста, Михайлова. Д-разбиение.

Можно легко указать необходимый признак устойчивости системы.

Для устойчивости системы необходимо, чтобы все коэффициенты характеристического уравнения были положительными. Это условие можно назвать тривиальным. Таким образом если система устойчива, то все коэффициенты характеристического уравнения должны быть строго положительны. Если хотя бы один коэффициент будет отрицательным или равным нулю, то можно сразу сказать, что система неустойчива. Таким образом неположительность хотя бы одного коэффициента характеристического уравнения гарантирует неустойчивость системы, однако обратное, вообще говоря, неверно, то есть положительность всех коэффициентов уравнения есть необходимое и достаточное условие лишь для систем первого и второго порядков. Уже для систем третьего порядка положительность коэффициентов характеристического уравнения недостаточна для устойчивости системы.

### **Тема 23. Синтез САУ.**

Метод желаемых ЛАХ. Пакеты MATLAB, Simulink

Simulink ? это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы.

Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени.

Дополнительные пакеты расширения Simulink позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду MATLAB, что позволяет использовать встроенные математические алгоритмы, мощные средства обработки данных и научную графику.

#### **Тема 24. Метод весовых функций.**

Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Частотный анализ случайного процесса.

Большинство методов анализа и обработки данных имеют в своем составе операцию свертки множества данных  $s(k)$  с функцией оператора свертки  $h(n)$ . Как множество данных  $s(k)$ , так и оператор  $h(n)$ , выполняющий задачу обработки данных и реализующий определенную частотную передаточную функцию системы (фильтра), могут быть бесконечно большими. Практика цифровой обработки имеет дело только с ограниченными множествами и данных, и коэффициентов оператора. В общем случае, эти ограниченные множества "вырезаются" из бесконечных множеств  $s(k)$  и  $h(n)$ , что равносильно их умножению на прямоугольную функцию с единичным амплитудным значением, которую называют естественным временным окном или естественной весовой функцией. Учитывая, что произведение функций отображается в спектральной области сверткой их фурье-образов, это может весьма существенно сказаться как на спектральных характеристиках функций, так и на результатах их последующих преобразований и обработки. Основное назначение весовых функций ? сведение к минимуму нежелательных эффектов усечения сигналов.

#### **Тема 25. Оптимизация САУ при случайных воздействиях.**

Выбор оптимальных параметров САУ с заданной структурой. Задача Винера.

Так как устойчивость линейных систем является свойством системы и не зависит от характера воздействия, то устойчивость при случайных воздействиях определяется также, как и для детерминированных.

Качество систем при детерминированных воздействиях оценивается с помощью показателей качества, таких как  $t_p$ ,  $T$  и т.д. При случайных воздействиях они теряют смысл, так как входные и выходные величины являются случайными функциями времени и при исследовании рассматривают не сами процессы, а их статистические свойства, т.е. определяют не мгновенные значения процессов, а их средние значения.

При случайных воздействиях ошибка системы  $(t) = x(t) - y(t)$  также является случайной величиной, при этом используют ее усредненное значение.

#### **Тема 26. Синтез оптимального фильтра.**

Несмещенная оценка. Фильтр Каллмана

Рассмотрим различные способы синтеза оптимальных фильтров. Фильтры для выделения сигнала на фоне коррелированного шума строятся обычно на основе спектрального метода, т. е. при использовании для комплексной частотной характеристики фильтра выражения (2.8).

Для согласованных фильтров, выделяющих сигнал на фоне белого шума, возможны два метода ? спектральный и временной. Временной метод основан на использовании связи между импульсной характеристикой фильтра и сигналом согласно формуле (2.11). При этом синтез согласованного фильтра заключается в построении такого линейного устройства, импульсная характеристика которого с точностью до масштабного множителя и с некоторым запаздыванием воспроизводит функцию, являющуюся зеркальным отражением сигнала. Метод особенно удобен для сигналов симметричной формы, так как в этом случае зеркальное отражение сигнала совпадает с самим сигналом. По определению импульсная характеристика есть отклик линейной системы на  $\delta$ -функцию. Поэтому нужно так подбирать блоки согласованного фильтра, чтобы при действии на его входе  $\delta$ -функции на выходе воспроизводился сигнал заданной формы и длительности.

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года №301)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

Математическая обработка результатов измерений - <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=550266>

Основы статистического анализа - <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=369689>

Программа статистического анализа Statistica - <http://bourabai.ru/tpoi/statistica/>

#### 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

#### 7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы.

Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

#### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5056](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5056)

Тамбовский государственный технический университет - <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2004/lazarev1.pdf>

Южный Федеральный Университет - [http://iitt.fvt.sfedu.ru/files/documents/up/UP\\_OAU.pdf](http://iitt.fvt.sfedu.ru/files/documents/up/UP_OAU.pdf)

#### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретического обучения. Поэтому в ходе лекционных занятий вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации. Лекционный материал и предлагаемая преподавателем литература даст систематизированные основы научных знаний по соответствующей теме, раскроет состояния и перспективы развития рассматриваемых вопросов, сконцентрирует внимание студентов на наиболее сложных узловых вопросах, будет стимулировать их активную познавательную деятельность, формировать творческое мышление.

Вид работ	Методические рекомендации
практические занятия	При подготовке к практическим работам рекомендуется повторить теоретическую и практическую составляющие соответствующих разделов. Выполнить индивидуальные задания по программному комплексу Statistica, согласно выбранному варианту: - разведочный визуальный анализ данных; - первичная обработка данных и вычисление элементарных статистик; - проверка статистических гипотез; - регрессия, корреляция и совпадение; - нелинейные модели процессов; - контроль качества; - кластерный анализ; - факторный анализ.
самостоятельная работа	Наряду с чтением лекций профессорско-преподавательским составом кафедры, изучением основной и дополнительной литературы по курсу студентам рекомендуется проведение самостоятельной работы. Самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью учебной работы и предназначена для достижения следующих целей: - закрепление и углубление полученных знаний, умений и навыков; - подготовка к предстоящим занятиям, зачетам; - формирование культуры умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний. Формами самостоятельной работы студентов являются изучение соответствующей научно-технической литературы, рекомендуемых преподавателями кафедры.
зачет	Зачет нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачет проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

#### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

#### 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

#### 12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;

- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 27.03.02 "Управление качеством" и профилю подготовки "Управление роботизированными производственными системами".

Приложение 2  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.11.01 Основы автоматического управления

**Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Направление подготовки: 27.03.02 - Управление качеством

Профиль подготовки: Управление роботизированными производственными системами

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

**Основная литература:**

Основы теории управления: Учебное пособие/А.П.Балашов - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 280 с.: 60x90 1/16 (Переплёт) ISBN 978-5-9558-0410-1, 500 экз.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=491491>

Иванов А. А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Форум: ИНФРА-М, 2017. - 224 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). ISBN 978-5-91134-948-6, 400 экз.  
<http://znanium.com/catalog/product/795655>

**Дополнительная литература:**

Программные средства глобальной оптимизации систем автоматического регулирования: Монография / А.В. Затонский. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 136 с.: 60x88 1/16. - (Научная мысль). (обложка) ISBN 978-5-369-01196-6, 100 экз. <http://znanium.com/bookread2.php?book=404391>  
Автоматизация технологических процессов: Учебное пособие / С.Н. Фурсенко, Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2015. - 377 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (п) ISBN 978-5-16-010309-9, 300 экз.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=483246>

Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.11.01 Основы автоматического управления

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 27.03.02 - Управление качеством

Профиль подготовки: Управление роботизированными производственными системами

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2017

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.