

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ»**

“УТВЕРЖДАЮ”

Проректор по учебной работе

_____ В.Н. Василенко

“ 25 ” 05 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Основы цифрового управления»

(наименование в соответствии с РУП)

Направление подготовки (специальность)

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

(шифр и наименование направления подготовки/специальности)

Направленность (профиль)

**Автоматизация технологических процессов и производств
в пищевой и химической промышленности**

(наименование профиля/специализации)

Квалификация выпускника

Бакалавр

Воронеж

1. Цели и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Основы цифрового управления» является формирование компетенций обучающегося в области профессиональной деятельности и сфере профессиональной деятельности:

40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере автоматизации и механизации производственных процессов).

Дисциплина направлена на решение задач профессиональной деятельности проектно-конструкторского и сервисно-эксплуатационного типа:

- составление математических моделей технологических процессов и систем управления, проведение вычислительных экспериментов с применением стандартных программных средств;

- выполнение работ по наладке и регулировке, регламентному обслуживанию средств и систем автоматизации и роботизации промышленных производственных линий.

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств.

2. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	2	3	4
1	ПКв-3	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством	ИД-1 _{ПКв-3} – Составляет математические модели с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов ИД-2 _{ПКв-3} – Выполняет моделирование, анализ, синтез и оптимизацию систем с использованием стандартных программных средств
1	ПКв-8	Способен выполнять работы по наладке, настройке, регулировке, опытной проверке, регламентному техническому, эксплуатационному обслуживанию оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, средств программного обеспечения	ИД-1 _{ПКв-8} – Участвует в обслуживании и настройке средств и систем управления производственных линий ИД-2 _{ПКв-8} – Осуществляет конфигурирование современных проблемно-ориентированных прикладных программных средств

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
1	2
ИД-1 _{ПКв-3} – Составляет математические модели с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов	<p>Знает: основы разработки дискретных динамических моделей, описывающих предметную область</p> <p>Умеет: строить модели процессов, средств и систем автоматизации с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов</p> <p>Имеет навыки: составления математических моделей технологических процессов и систем управления, проведения вычислительных экспериментов.</p>
ИД-2 _{ПКв-3} – Выполняет моделирование, анализ, синтез и оптимизацию систем с использованием стандартных программных средств	<p>Знает: математический аппарат, методы и программные продукты для расчета и проектирования цифровых систем автоматизации</p> <p>Умеет: выполнять расчеты блоков и устройств цифровых систем управления на предмет использования в соответствии с техническим заданием с применением математического аппарата и средств программирования</p> <p>Имеет навыки применения результатов моделирования, анализа, синтеза и оптимизации с использованием программных средств для систем цифрового управления</p>
ИД-1 _{ПКв-8} – Участвует в обслуживании и настройке средств и систем управления производственных линий	<p>Знает: методы настройки алгоритмов цифрового управления</p> <p>Умеет: синтезировать алгоритмы и системы цифрового управления</p> <p>Имеет навыки: настройки и обслуживания аппаратных технических средств управления</p>
ИД-2 _{ПКв-8} – Осуществляет конфигурирование современных проблемно-ориентированных прикладных программных средств	<p>Знает: программные продукты для расчета цифровых систем управления</p> <p>Умеет: выполнять настройки параметров модулей систем цифрового управления с использованием программных конфигураторов</p> <p>Имеет навыки конфигурирования цифровых систем управления применения результатов моделирования, анализа, синтеза и оптимизации с применением прикладных программных средств</p>

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Обязательная дисциплина вариативной части блока один «Основы цифрового управления» базируется на знаниях, умениях и компетенциях, сформированных при изучении следующих дисциплин:

«Современные методы теории автоматического управления»,

«Основы моделирования и численные методы».

Дисциплина «Основы цифрового управления» является предшествующей для выполнения ВКР.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Виды учебной работы	Всего, ак. ч	Распределение трудоемкости по семестрам, ак. ч	
		7	8
Общая трудоемкость дисциплины	216	72	144
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	80,05	30,85	54,2
Лекции	25	15	10
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	40	-	40
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	40	-	40
Лабораторные работы (ЛР)	15	15	-
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	15	15	-
Консультации текущие	1,25	$0,05 \cdot 15 = 0,75$	$0,05 \cdot 10 = 0,5$
Виды аттестации (экзамен / зачет, КР)	3,8	0,1	$2 + 0,2 + 1,5 = 3,7$
Самостоятельная работа обучающихся:	97,15	41,15	56
Проработка конспекта лекций	23,5	$15 \cdot 0,5 = 7,5$	$32 \cdot 0,5 = 16$
Проработка материала по учебникам	19,65	$154,4 : 16 \cdot 1 = 9,65$	$160 : 16 \cdot 1 = 10$
Подготовка к лабораторному практикуму	4	$64 : 16 \cdot 1 = 4$	-
Подготовка к практическим занятиям	4	-	$64 : 16 \cdot 1 = 4$
Оформление текста работ	10	$20 \cdot 0,5 = 10$	-
Создание программ без граф. оболочки	15	$5 \cdot 2 = 10$	$2,5 \cdot 2 = 5$
Курсовая работа:			
- оформление текста работы	7	-	$14 \cdot 0,5 = 7$
- создание программ без граф. оболочки	14	-	$7 \cdot 2 = 14$
Контроль	33,8	-	33,8

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

5.1 Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость раздела, ак. ч
1	Введение.	Основные цели и задачи синтеза систем цифрового управления многосвязными технологическими объектами. Характеристика подходов к синтезу ЦСУ многомерными объектами. Аспекты практической реализации ЦСУ.	2

2	Расчет каскадных ЦСУ.	Назначение и область применения. Постановка эксперимента для получения кривой разгона. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема каскадной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов по различным критериям. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	34
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	Назначение и область применения. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема комбинированной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип инвариантности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	35
4	Расчет несвязанных ЦСУ.	Назначение и область применения. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели многосвязных объектов. Структурная схема несвязанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость несвязанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	35
5	Расчет связанных ЦСУ.	Назначение и область применения. Структурная схема связанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость связанных систем управления. Скалярное и матрично описание связанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип автономности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по ре-	35

		зультатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	Номенклатура, назначение и область применения цифровых приборов ОВЕН. Функциональные возможности. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.	36
	<i>Консультации текущие</i>		1,25
	<i>Консультации перед экзаменом</i>		2
	<i>Экзамен / зачет, КП</i>		0,2 / 1,6

5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, ак. ч	ПЗ, ак. ч	ЛЗ, ак. ч	СРО, ак. ч
1	Введение.	1	-	-	1
2	Расчет каскадных ЦСУ.	5	10	-	19
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	6	10	-	19
4	Расчет несвязанных ЦСУ.	6	10	-	19
5	Расчет связанных ЦСУ.	6	10	-	19
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	1	-	15	20
	<i>Консультации текущие</i>		1,25		
	<i>Консультации перед экзаменом</i>		2		
	<i>Экзамен / зачет, КП</i>		0,2 / 1,6		

5.2.1. Лекции

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятия	Трудоемкость, ак. ч
1	Введение.	Основные цели и задачи синтеза систем цифрового управления технологическими объектами. Характеристика подходов к синтезу ЦСУ многомерными объектами. Аспекты практической реализации ЦСУ.	1
2	Расчет каскадных ЦСУ.	Назначение и область применения. Постановка эксперимента для получения кривой разгона. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема каскадной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов по различным критериям. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.	5
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	Назначение и область применения. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема комбинированной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип инвариантности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.	6
4	Расчет несвязанных	Назначение и область применения. Структур-	6

	ЦСУ.	ный и параметрический синтез дискретной динамической модели многосвязных объектов. Структурная схема несвязанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость несвязанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.	
5	Расчет связанных ЦСУ.	Назначение и область применения. Структурная схема связанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость связанных систем управления. Скалярное и матрично описание связанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип автономности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.	6
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	Номенклатура, назначение и область применения цифровых приборов ОВЕН. Функциональные возможности.	1

5.2.2 Практические занятия

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость, ак. ч
1	Введение.	-	-
2	Расчет каскадных ЦСУ.	Постановка эксперимента для получения кривой разгона. Синтез дискретной динамической модели объекта. Эквивалентные преобразования на примерах. Алгоритмы оптимизации регуляторов по различным критериям, включая примеры программной реализации. Исследование работы системы, путем компьютерного моделирования с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	10
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	Синтез дискретной динамической модели объекта. Эквивалентные преобразования. Алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов, включая примеры программной реализации. Принцип инвариантности. Исследование работы системы, путем компьютерного моделирования с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	10
4	Расчет несвязанных ЦСУ.	Синтез дискретной динамической модели многосвязных объектов. Эквивалентные преобразования. Устойчивость несвязанных систем управления на различных примерах. Алгоритмы оптимизации регуляторов, включая примеры программной реализации. Исследование работы системы, путем компьютерного моделирования с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов	10

		моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	
5	Расчет связанных ЦСУ.	Эквивалентные преобразования. Устойчивость связанных систем управления на различных примерах. Скалярное и матричное описание связанных систем управления. Алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов, включая примеры программной реализации. Принцип автономности. Алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Исследование работы системы, путем компьютерного моделирования с использованием стандартных программных средств. Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций.	10
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	-	-

5.2.3 Лабораторный практикум

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ак. ч
1	2	3	4
1	Введение.	-	-
2	Расчет каскадных ЦСУ.	-	-
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	-	-
4	Расчет несвязанных ЦСУ.	-	-
5	Расчет связанных ЦСУ.	-	-
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	<p>1. Конфигурирование микропроцессорного контроллера ТРМ1.</p> <p>2. Конфигурирование микропроцессорного контроллера ТРМ101.</p> <p>3. Конфигурирование микропроцессорного контроллера ТРМ251.</p> <p>4. Конфигурирование счётчика импульсов СИ8.</p> <p>Функциональные возможности. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.</p>	15

5.2.4 Самостоятельная работа обучающихся

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость, ак. ч
1	Общие вопросы теории моделирования	Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям (Основные цели и задачи синтеза систем цифрового управления технологическими объектами. Характеристика подходов к синтезу ЦСУ многомерными объектами. Аспекты практической реализации ЦСУ.), пробное тестирование	1
2	Расчет каскадных ЦСУ.	Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям. (Назначение и область применения. Постановка эксперимента для получения кривой разгона. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема каскадной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов по различным критериям. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.), Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций. выполнение курсовой работы * , пробное тестирование	19
3	Расчет комбинированных ЦСУ.	Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям. (Назначение и область применения. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Структурная схема комбинированной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип инвариантности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.), Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций. выполнение курсовой работы * , пробное тестирование	19
4	Расчет несвязанных ЦСУ.	Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям. (Назначение и область применения. Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели многосвязных объектов. Структурная схема несвязанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость несвязанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.), Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций. выполнение курсовой работы * , пробное тестирование	19
5	Расчет связанных	Проработка материалов по учебникам,	19

	ЦСУ.	подготовка к практическим занятиям. (Назначение и область применения. Структурная схема связанной ЦСУ, эквивалентные преобразования. Устойчивость связанных систем управления. Скалярное и матрично описание связанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип автономности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы..), Анализ полученных результатов моделирования и предложения по их внедрению в производство. Оформление отчетов по результатам моделирования, а также подготовка научных публикаций. выполнение курсовой работы *, пробное тестирование	
6	Изучение комплекса программно-технических средств цифрового регулирования	Проработка материалов по учебникам, подготовка к лабораторным занятиям. Оформление отчетов по лабораторным работам № 1-4. (Номенклатура, назначение и область применения цифровых приборов ОВЕН. Функциональные возможности. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение и настройка приборов.), Оформление отчетов, пробное тестирование	20

* Курсовая работа заключается в расчете цифровой системы управления технологическим процессом на основе специально разрабатываемого программного обеспечения в одной из существующих сред.

Основные этапы выполнения курсовой работы:

- разработка дискретной динамической модели объекта управления на основе экспериментально-статистического подхода с использованием ЭВМ;
- расчет (оптимизация) управляющей части цифровой системы управления (регуляторов и компенсаторов) на основе соответствующих принципов и численных методов с использованием ЭВМ;
- исследование работоспособности разработанной системы на основе машинного моделирования, путем расчета переходных процессов и их показателей качества по задающим и возмущающим воздействиям.

Результаты курсовой работы бакалавров оформляются в виде пояснительной записки объемом 20 страниц формата А4, включающей описание выполнения основных этапов, и графической части (1 лист формата А1), содержащей основные результаты работы.

Примерный перечень тем курсовой работы:

1. Синтез цифровой связанной системы регулирования концентраций изопентана на контрольной тарелке № 20 и изоамиленов на контрольной тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.
2. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изоамиленов на тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.
3. Синтез цифровой каскадной системы регулирования разности температур в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.
4. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изопентана на тарелке № 20 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.
5. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации изопентан-изоамиленовой фракции с коррекцией по концентрации изопентана в кубовом продукте.
6. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изоамиленов на тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.
7. Синтез цифровой несвязанной системы регулирования концентраций изопентана на контрольной тарелке № 20 и изоамиленов на контрольной тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

8. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации изопентан-изоамиленовой фракции с коррекцией по концентрации изопентана в кубовом продукте.

9. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.

10. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации бутиленов в дистилляте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

11. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации Н-бутана в кубовом продукте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

12. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изопентана на тарелке № 20 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

13. Синтез цифровой каскадной системы регулирования разности температур в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.

14. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации бутиленов в дистилляте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

6.1 Основная литература

1. Кудряшов В. С. Синтез цифровых систем управления технологическими объектами: уч. пособие для вузов (гриф МО) / В. С. Кудряшов, В. К. Битюков, М. В. Алексеев, С. В. Рязанцев. – Воронеж: ВГТА, 2005. –336 с.

<http://biblos.vsuet.ru/MegaPro/Web/SearchResult/ToPage/1>

2. Кудряшов, В. С. Моделирование систем [Текст] : учеб. пособие / В. С. Кудряшов, М. В. Алексеев. Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГУИТ, 2012. –208 с.

<http://biblos.vsuet.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/418>

3. Кудряшов, В. С. Настройка и программирование цифровых систем управления с использованием контроллеров, панелей оператора и частотных преобразователей: теория и практика [Текст] / В. С. Кудряшов, А. В. Иванов, М. В. Алексеев, С. В. Рязанцев, Козенко И.А., Гайдин А.А.; Воронеж. гос. унив. инж. техн. – Воронеж : ВГУИТ, 2020. – 215 с.

4. Кудряшов, В. С. Настройка и эксплуатация микропроцессорных устройств для систем управления. Теория и практика [Текст]] : учеб. пособие / В. С. Кудряшов, А. В. Иванов, М. В. Алексеев, С. В. Рязанцев, И.А Козенко, А.А. Гайдин; Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГУИТ, 2020. – 236 с.

ЭБС “Университетская библиотека online”

<http://biblioclub.ru>

1. Вдовин, В.М. Теория систем и системный анализ : учебник / В.М. Вдовин, Л.Е. Суркова, В.А. Валентинов. – 5-е изд., стер. – Москва : Дашков и К°, 2020. – 644 с.

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573179>

2. Аверченков, В. И. Основы математического моделирования технических систем: учеб. пособие [электронный ресурс] / В. И. Аверченков, В. П. Федоров, М. Л. Хейфец. – М. : ФЛИНТА, 2016. –271 с.

[http:// biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=93344&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=93344&sr=1)

6.2 Дополнительная литература

1. Моделирование и синтез цифровой многосвязной системы управления процессом получения аммиака [Текст] / В. С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, А.В. Иванов. Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГТА, 2011. –172 с.

<http://biblos.vsu.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/401>

2. Основы программирования микропроцессорных контроллеров в цифровых системах управления технологическими процессами [Текст] : учеб. пособие / В. С. Кудряшов, А. В. Иванов, М. В. Алексеев и др. Воронеж. гос. унив. инж. техн. – Воронеж : ВГУИТ, 2014. –144 с.

<http://biblos.vsu.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/539>

6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающегося

1. Расчеты и моделирование в химической технологии с применением Mathcad : учебное пособие / Т.В. Лаптева, Н.Н. Зиятдинов, С.А. Лаптев, Д.Д. Первухин ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018. – 248 с.

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612446>

2. Кудряшов, В. С. Настройка и программирование цифровых систем управления с использованием контроллеров, панелей оператора и частотных преобразователей: теория и практика [Текст] / В. С. Кудряшов, А. В. Иванов, М. В. Алексеев, С. В. Рязанцев, Козенко И.А., Гайдин А.А.; Воронеж. гос. унив. инж. техн. – Воронеж : ВГУИТ, 2020. – 215 с.

3. Кудряшов, В. С. Настройка и эксплуатация микропроцессорных устройств для систем управления. Теория и практика [Текст]] : учеб. пособие / В. С. Кудряшов, А. В. Иванов, М. В. Алексеев, С. В. Рязанцев, И.А Козенко, А.А. Гайдин; Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГУИТ, 2020. – 236 с.

4. Кудряшов В.С., Рязанцев С.В., Иванов А.В., Алексеев М.В., Гайдин А.А., Козенко И.А. Методические указания к лабораторной работе «Конфигурирование микропроцессорного контроллера ТРМ101»/ Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГУИТ, 2017. –32 с.

<http://biblos.vsu.ru/ProtectedView/Book/ViewBook/4155>

5. Кудряшов В.С., Алексеев М.В., Рязанцев С.В., Иванов А.В., Козенко И.А. Методические указания по выполнению курсовой работы по курсу “Основы цифрового управления”»/ Воронеж. гос. унив. инж. техн. –Воронеж : ВГУИТ, 2020. –30 с.

6.4 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
«Российское образование» - федеральный портал	https://www.edu.ru/
Научная электронная библиотека	https://elibrary.ru/defaultx.asp?
Национальная исследовательская компьютерная сеть России	https://niks.su/
Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»	http://window.edu.ru/
Электронная библиотека ВГУИТ	http://biblos.vsu.ru/megapro/web
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	https://minobrnauki.gov.ru/
Портал открытого on-line образования	https://npoed.ru/
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	https://education.vsu.ru/

6.5 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Используемые информационные технологии:

- текстовый редактор Microsoft Word или LibreOffice (оформление пояснительных записок лабораторных и практических работ, а также курсовой работы);
- математический пакет MathCAD или SMathStudio (выполнение программ расчета параметров моделей);
- интернет ресурсы (информация по работе с математическим пакетом):
< <https://www.mathcad.com/ru> >.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные специализированные лаборатории кафедры ИУС 326, 327: рабочие станции, шкафы автоматического управления с имитаторами объекта (программные конфигураторы, скада-системы, текстовые редакторы, математические пакеты).

Стеллажи с описанием приборов ОВЕН и примерами схем автоматизации, рабочие станции (текстовые редакторы, системы автоматизированного проектирования), учебные комплексы (управляющие рабочие станции (программы-конфигураторы приборов ОВЕН, SCADA-системы ОВЕН, Trace Mode), шкафы автоматического управления с микропроцессорными приборами: цифровые регуляторы ТРМ1, ТРМ101, ТРМ251, модули ввода/вывода МВ110, МВА8, МВУ8, программируемые логические контроллеры ПЛК110, операторские сенсорные панели СП270, счетчики импульсов СИ8, блоки питания БП14, эмуляторы печи ЭП10, термометры сопротивления дТС035-50М.В3.120, термопары ДТПЛ015-010.100, преобразователи интерфейсов АС4).

8. Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Оценочные материалы (ОМ) для дисциплины включают:

- перечень компетенций с указанием индикаторов достижения компетенций, этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности.

ОМ входят в состав рабочей программы дисциплины (модуля) в виде приложения.

Оценочные материалы формируются в соответствии с П ВГУИТ «Положение об оценочных материалах».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
к рабочей программе

1. Организационно-методические данные дисциплины для очно-заочной или заочной форм обучения

1.1 Объемы различных форм учебной работы и виды контроля в соответствии с учебным планом

Виды учебной работы	Всего, ак. ч	Распределение трудоемкости по семестрам, ак. ч	
		8	9
Общая трудоемкость дисциплины	216	72	144
Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:	34,6	9,5	25,1
Лекции	8	4	4
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	-	-	-
Практические занятия (ПЗ)	16	-	16
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	16	-	16
Лабораторные работы (ЛР)	4	4	-
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	4	4	-
Консультации текущие	1,25	$0,05 \cdot 28 = 1,4$	$0,05 \cdot 28 = 1,4$
Виды аттестации (экзамен / зачет, КР)	3,8	0,1	$2 + 0,2 + 1,5 = 3,7$
Самостоятельная работа обучающихся:	170,7	58,6	112,1
Контрольная работа (кол.)	2	1	1
- оформление текста контрольной	20	$20 \cdot 0,5 = 10$	$20 \cdot 0,5 = 10$
Проработка конспекта лекций	44,5	$29 \cdot 0,5 = 14,5$	$60 \cdot 0,5 = 30$
Проработка материала по учебникам	52,2	$161,6 : 16 \cdot 1 = 10,1$	$674 : 16 \cdot 1 = 42,1$
Подготовка к лабораторному практикуму	4	$64 : 16 \cdot 1 = 4$	-
Подготовка к практическим занятиям	4	-	$64 : 16 \cdot 1 = 4$
Оформление текста работ	10	$20 \cdot 0,5 = 10$	-
Создание программ без граф. оболочки	15	$5 \cdot 2 = 10$	$2,5 \cdot 2 = 5$
Курсовая работа:			
- оформление текста работы	7	-	$14 \cdot 0,5 = 7$
- создание программ без граф. оболочки	14	-	$7 \cdot 2 = 14$
Контроль	10,7	3,9	6,8

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине

«ОСНОВЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ»
(наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)

1 Перечень компетенций с указанием уровней

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	2	3	4
1	ПКв-3	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством	ИД-1 ПКв-3 – Составляет математические модели с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов ИД-2 ПКв-3 – Выполняет моделирование, анализ, синтез и оптимизацию систем с использованием стандартных программных средств
1	ПКв-8	Способен выполнять работы по наладке, настройке, регулировке, опытной проверке, регламентному техническому, эксплуатационному обслуживанию оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, средств программного обеспечения	ИД-1 ПКв-8 – Участвует в обслуживании и настройке средств и систем управления производственных линий ИД-2 ПКв-8 – Осуществляет конфигурирование современных проблемно-ориентированных прикладных программных средств

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
1	2
ИД-1 ПКв-3 – Составляет математические модели с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов	Знает: основы разработки дискретных динамических моделей, описывающих предметную область
	Умеет: строить модели процессов, средств и систем автоматизации с применением экспериментально-статистического и детерминированного подходов
	Имеет навыки: составления математических моделей технологических процессов и систем управления, проведения вычислительных экспериментов.
ИД-2 ПКв-3 – Выполняет моделирование, анализ, синтез и оптимизацию систем с использованием стандартных программных средств	Знает: математический аппарат, методы и программные продукты для расчета и проектирования цифровых систем автоматизации
	Умеет: выполнять расчеты блоков и устройств цифровых систем управления на предмет использования в соответствии с техническим заданием с применением математического аппарата и средств программирования
	Имеет навыки применения результатов моделирования, анализа, синтеза и оптимизации с использованием программных средств для систем цифрового управления
ИД-1 ПКв-8 – Участвует в обслуживании и настройке средств и систем управления производственных линий	Знает: методы настройки алгоритмов цифрового управления
	Умеет: синтезировать алгоритмы и системы цифрового управления
	Имеет навыки: настройки и обслуживания аппаратных технических средств управления
ИД-2 ПКв-8 – Осуществляет конфигурирование современных проблемно-ориентированных прикладных программных средств	Знает: программные продукты для расчета цифровых систем управления
	Умеет: выполнять настройки параметров модулей систем цифрового управления с использованием программных configurаторов

	Имеет навыки конфигурирования цифровых систем управления применения результатов моделирования, анализа, синтеза и оптимизации с применением прикладных программных средств
--	--

2 Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Контролируемые модули/разделы/темы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1	Модуль 1 – Структурный и параметрический синтез дискретной динамической модели объекта. Оценка адекватности моделей. Математическое моделирование и синтез цифровых систем управления. Расчет каскадных, комбинированных, несвязанных ЦСУ.	ПКв-3 ПКв-8	Задания к лабораторным работам (конфигурирование микропроцессорных контроллеров ТРМ1, ТРМ101, ТРМ251 и счётчика импульсов СИ8)	01 ÷ 25	Защита лабораторных работ, текущие опросы (прослеживается по рейтинговой оценке знаний обучающихся) Зачет
			Вопросы к зачёту	01 ÷ 14	
2	Модуль 2 – Скалярное и матричное описание связанных систем управления. Подходы к расчету управляющей части системы и алгоритмы оптимизации регуляторов и компенсаторов. Принцип автономности. Исследование системы. Формирование начальных условий при проведении оптимизации регуляторов и машинном моделировании работы системы.	ПКв-3 ПКв-8	Задание к курсовой работе (синтез связанной цифровой системы регулирования технологическим процессом)	01 ÷ 26	Защита курсовой работы Экзамен
			Вопросы к экзамену	01 ÷ 20	

3.1 Вопросы к экзамену

Индекс компетенции	№ задания	Формулировка вопроса
--------------------	-----------	----------------------

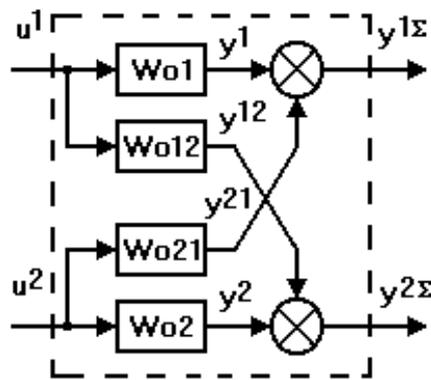
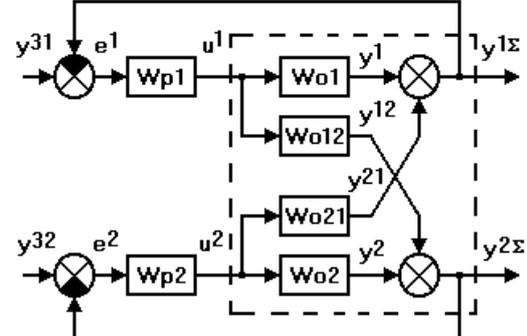
ПКв-3 ПКв-8	01	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Идентификация. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу декомпозиции по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	02	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Идентификация. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу декомпозиции по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	03	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Идентификация. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу свертки по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	04	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Идентификация. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу свертки по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	05	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Принцип инвариантности. Алгоритм оптимизации инвариантных систем по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	06	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Принцип инвариантности. Алгоритм оптимизации инвариантных систем по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	07	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм последовательной оптимизации комбинированной системы по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	08	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм последовательной оптимизации комбинированной системы по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	09	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм одновременной оптимизации комбинированной системы по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	10	Синтез многоконтурных ЦСУ. Комбинированные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм одновременной оптимизации комбинированной системы по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	11	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	12	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию времени регулиро-

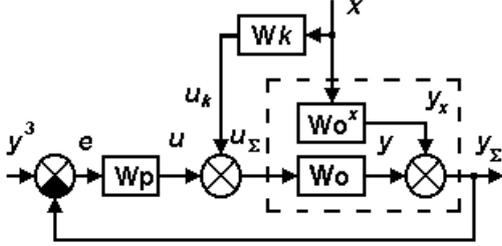
		вания.
ПКв-3 ПКв-8	13	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	14	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	15	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Принцип автономности. Алгоритм настройки автономной системы связанной регулирования по первому подходу. Использовать скалярное и векторно-матричное описание. По критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	16	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Принцип автономности. Алгоритм настройки автономной системы связанной регулирования по второму подходу. Использовать скалярное и векторно-матричное описание. По критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	17	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	18	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	19	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
ПКв-3 ПКв-8	20	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию времени регулирования.
ПКв-3 ПКв-8	21	Расчет показателей качества регулирования (интегральная квадратичная ошибка, время регулирования, статическая ошибка, перерегулирование, коэффициент затухания).
ПКв-3 ПКв-8	22	Номенклатура, назначение и область применения цифровых приборов ОВЕН. Функциональные возможности. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.
ПКв-3 ПКв-8	23	Функциональные возможности прибора ТРМ1. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение,

		настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.
ПКв-3 ПКв-8	24	Функциональные возможности прибора ТРМ101. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.
ПКв-3 ПКв-8	25	Функциональные возможности прибора ТРМ251. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.
ПКв-3 ПКв-8	26	Функциональные возможности прибора СИ8. Устройство и принцип работы. Электрические схемы подключения датчиков и исполнительных механизмов. Программное обеспечение, настройка (конфигурирование), эксплуатация и обслуживание приборов и технических средств управления. Диагностика работоспособности технических средств и подготовка к замене или ремонту с оформлением заявки.

3.3 Кейс-задачи (задания) к зачету, экзамену

Индекс компетенции	№ задания	Условие задачи (формулировка задания)
ПКв-3 ПКв-8	01	<p>Составить структурную схему и записать систему разностных уравнений и начальные условия для расчета переходного процесса по заданию в каскадной ЦСУ с цифровыми ПИ - регуляторами и моделями каналов объекта 2-го порядка с запаздыванием</p> $u_i^2 = u_{i-1}^2 + q_0^2(y_i^3 - y_i^2) + q_1^2(y_{i-1}^3 - y_{i-1}^2),$ $u_i^1 = u_{i-1}^1 + q_0^1(u_i^2 - y_i^1) + q_1^1(u_{i-1}^2 - y_{i-1}^1),$ $y_{i+d1+1}^1 = a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^1,$ $y_{i+d1+d2+2}^2 = a_1^2 y_{i+d1+d2+1}^2 + a_2^2 y_{i+d1+d2}^2 + b^2 y_{i+d1+1}^1, \quad i = \overline{mc, N}.$ <p>mc - переменная, принимающая наибольшее значение из порядков разностных уравнений моделей каналов объекта (в данном случае $mc=2$)</p> <p>Расчет динамики проводится при следующих начальных условиях:</p> $y_i^3 = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ y^3 & \text{при } i \geq mc \end{cases}, \quad y^3 - \text{величина задающего воздействия};$ $u_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}; \quad u_i^1 = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}; \quad y_i^1 = 0, \quad i = \overline{1, mc+d1};$

		$y_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, mc + d1 + d2 + 1}.$
ПКВ-3 ПКВ-8	02	<p>Составить структурную схему и записать систему разностных уравнений для расчета переходного процесса двумерного объекта с перекрестными связями между параметрами (для основных каналов объекта использовать разностные уравнения 2-го порядка, для перекрестных – первого и третьего порядков с транспортным запаздыванием)</p>  $y_{i+d1+1}^1 = a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^1,$ $y_{i+d12+1}^{12} = a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^1,$ $y_{i+d2+1}^2 = a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^2 + b_2^2 u_{i-1}^2,$ $y_{i+d21+1}^{21} = a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^2,$ $y_{i+d1+1}^{1\Sigma} = y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21},$ $y_{i+d2+1}^{2\Sigma} = y_{i+d2+1}^2 + y_{i+d2+1}^{12},$
ПКВ-3 ПКВ-8	03	<p>Составить структурную схему и записать систему разностных уравнений несвязанной системы управления объектом с двумя взаимосвязанными параметрами с перекрестными связями (для основных каналов объекта использовать разностные уравнения 2-го порядка, для перекрестных – первого и третьего порядков с транспортным запаздыванием, для регуляторов – уравнения второго порядка)</p>  $u_i^1 = u_{i-1}^1 + q_0^1 (y_i^{31} - y_i^{1\Sigma}) + q_1^1 (y_{i-1}^{31} - y_{i-1}^{1\Sigma}) + q_2^1 (y_{i-2}^{31} - y_{i-2}^{1\Sigma}),$ $u_i^2 = u_{i-1}^2 + q_0^2 (y_i^{32} - y_i^{2\Sigma}) + q_1^2 (y_{i-1}^{32} - y_{i-1}^{2\Sigma}) + q_2^2 (y_{i-2}^{32} - y_{i-2}^{2\Sigma}),$ $y_{i+d1+1}^1 = a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^1,$ $y_{i+d12+1}^{12} = a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^1,$

		$y_{i+d2+1}^2 = a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^2 + b_2^2 u_{i-1}^2,$ $y_{i+d21+1}^{21} = a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^2,$ $y_{i+d1+1}^{1\Sigma} = y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21},$ $y_{i+d2+1}^{2\Sigma} = y_{i+d2+1}^2 + y_{i+d2+1}^{12}$
ПКВ-3 ПКВ-8	04	<p>Составить структурную схему, записать систему уравнений и начальные условия для расчета переходного процесса по заданию при наличии возмущения в комбинированной ЦСУ с цифровым ПИ - регулятором, ПД - компенсатором и моделями каналов объекта: основного - 2-го порядка с запаздыванием, возмущения - 1-го порядка с запаздыванием</p>  $u_i = u_{i-1} + q_0(y_i^3 - y_i) + q_1(y_{i-1}^3 - y_{i-1}),$ $u_{ki} = q_0^x(-x_i) + q_1^x(-x_{i-1}),$ $u_{\Sigma i} = u_i + u_{ki},$ $y_{i+d+1} = a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_{\Sigma i},$ $y_{i+dx+1}^x = a_1^x y_{i+dx}^x + b^x x_i,$ $y_{i+\bar{d}+1}^\Sigma = y_{i+\bar{d}+1} + y_{i+\bar{d}+1}^x,$ <p>Расчет проводится при нулевых начальных условиях:</p> $y_i^3 = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ y^3 & \text{при } i \geq mc \end{cases}; \quad x_i = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ x & \text{при } i = mc, \\ 0 & \text{при } i > mc \end{cases}$ <p>где y^3, x - величины входных воздействий (ступенчатого и импульсного); mc - переменная, принимающая наибольшее значение из порядков ($mc=2$);</p> $u_i = 0, \quad u_{k_i} = 0, \quad u_{\Sigma_i} = 0, \quad i = \overline{1, mc-1};$ $y_i = 0, \quad i = \overline{1, mc+d}; \quad y_i^x = 0, \quad i = \overline{1, mc+dx};$ $y_i^\Sigma = 0, \quad i = \overline{1, mc+\bar{d}},$ <p>\bar{d} - наименьшее число тактов чистого запаздывания из d и dx</p>
ПКВ-3 ПКВ-8	05	<p>Получить вывод разностного уравнения из аналогового ПИД – закона регулирования</p> $u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_{из}} \int_0^t e(t) dt + T_{ип} \frac{de(t)}{dt} \right)$ $\frac{du(t)}{dt} = k_p \left(\frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_{из}} e(t) + T_{ип} \frac{d^2 e(t)}{dt^2} \right)$ <p>Производные $\frac{du(t)}{dt}, \frac{de(t)}{dt}, \frac{d^2 e(t)}{dt^2}$ заменим конечными разностями:</p>

		$\frac{u_{i+1} - u_i}{T_0} = k_p \left(\frac{e_{i+1} - e_i}{T_0} + \frac{1}{T_{\text{из}}} e_i + T_{\text{ип}} \frac{e_{i+1} - 2e_i + e_{i-1}}{T_0^2} \right).$ <p>После преобразований получаем рекуррентное разностное уравнение ПИД-регулятора:</p> $u_i = u_{i-1} + q_0 e_i + q_1 e_{i-1} + q_2 e_{i-2},$ <p>где $q_0 = k_p \left(1 + \frac{T_{\text{ип}}}{T_0} \right)$; $q_1 = -k_p \left(1 + 2 \frac{T_{\text{ип}}}{T_0} - \frac{T_0}{T_{\text{из}}} \right)$;</p> $q_2 = k_p \frac{T_{\text{ип}}}{T_0}.$
ПКВ-3 ПКВ-8	06	<p>Записать разностное уравнение ПИД - регулятора, начальные нулевые условия и привести расчёт переходного процесса</p> $u_i = u_{i-1} + q_0 e_i + q_1 e_{i-1} + q_2 e_{i-2}$ <p>Расчёт переходного процесса цифрового ПИД-регулятора при нулевых начальных условиях:</p> $e_i = \begin{cases} 0 & \text{при } i < 3 \\ 1 & \text{при } i \geq 3 \end{cases}, \quad u_1 = u_2 = 0.$ $u_3 = u_2 + q_0 = q_0,$ $u_4 = u_3 + q_0 + q_1 = 2q_0 + q_1,$ $u_5 = u_4 + q_0 + q_1 + q_2 = 2q_0 + q_1 + q_0 + q_1 + q_2 = 3q_0 + 2q_1 + q_2,$ <p>...</p> $u_N = u_{N-1} + q_0 + q_1 + q_2 = (N-2)q_0 + (N-3)q_1 + (N-4)q_2.$
ПКВ-3 ПКВ-8	07	<p>Привести расчёт переходного процесса по заданию цифровой одно-контурной системы регулирования для нулевых начальных условий (цифровой регулятор первого порядка, объект - второго порядка с запаздыванием</p> $u_i = u_{i-1} + q_0 (y_i^3 - y_i) + q_1 (y_{i-1}^3 - y_{i-1}),$ $y_{i+d+1} = a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_i, \quad i = \overline{mc, N}.$ <p>Расчет проводится при следующих начальных условиях:</p> $y_i^3 = \begin{cases} 0, & i < mc \\ y^3, & i \geq mc \end{cases} \quad (mc = 2), \quad y^3 - \text{величина задающего воздействия};$ $u_i = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}; \quad y_i = 0, \quad i = \overline{1, mc+d}.$ $u_2 = u_1 + q_0 (y_2^3 - y_2) + q_1 (y_1^3 - y_1) = q_0,$ $y_{3+d} = a_1 y_{2+d} + a_2 y_{1+d} + b u_2 = b q_0,$ $u_3 = u_2 + q_0 (y_3^3 - y_3) + q_1 (y_2^3 - y_2) = q_0 + q_0 (1 - b q_0) + q_1,$ $y_{4+d} = a_1 y_{3+d} + a_2 y_{2+d} + b u_3 = a_1 b q_0 + b (2q_0 - b q_0 + q_1),$ <p>...</p> $u_N = u_{N-1} + q_0 (y_N^3 - y_N) + q_1 (y_{N-1}^3 - y_{N-1}),$ $y_{N+d+1} = a_1 y_{N+d} + a_2 y_{N+d-1} + b u_N.$
ПКВ-3 ПКВ-8	08	Получить выражения квазианалитических производных разностных

		<p>уравнений регулятора и канала объекта по настройкам цифрового регулятора первого порядка, модель объекта – уравнение второго порядка с запаздыванием. Показать нулевые начальные условия для расчёта численных значений производных</p> $u_i = u_{i-1} + q_0(y_i^3 - y_i) + q_1(y_{i-1}^3 - y_{i-1}),$ $y_{i+d+1} = a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_i$ <p>Для вычисления $\frac{\partial y_i}{\partial q_0}, \frac{\partial y_i}{\partial q_1}$, дифференцируя уравнения, получим следующие квазианалитические рекуррентные выражения:</p> $\frac{\partial u_i}{\partial q_0} = \frac{\partial u_{i-1}}{\partial q_0} + (y_i^3 - y_i) - q_0 \frac{\partial y_i}{\partial q_0} - q_1 \frac{\partial y_{i-1}}{\partial q_0},$ $\frac{\partial u_i}{\partial q_1} = \frac{\partial u_{i-1}}{\partial q_1} - q_0 \frac{\partial y_i}{\partial q_1} + (y_{i-1}^3 - y_{i-1}) - q_1 \frac{\partial y_{i-1}}{\partial q_1},$ $\frac{\partial y_{i+d+1}}{\partial q_0} = a_1 \frac{\partial y_{i+d}}{\partial q_0} + a_2 \frac{\partial y_{i+d-1}}{\partial q_0} + b \frac{\partial u_i}{\partial q_0},$ $\frac{\partial y_{i+d+1}}{\partial q_1} = a_1 \frac{\partial y_{i+d}}{\partial q_1} + a_2 \frac{\partial y_{i+d-1}}{\partial q_1} + b \frac{\partial u_i}{\partial q_1}, \quad i = \overline{mc, N}, (mc = 2)$ <p>Начальные условия для расчета производных:</p> $\frac{\partial u_i}{\partial q_0} = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}, \quad \frac{\partial u_i}{\partial q_1} = 0, \quad i = \overline{1, mc-1},$ $\frac{\partial y_i}{\partial q_0} = 0, \quad i = \overline{1, mc+d}, \quad \frac{\partial y_i}{\partial q_1} = 0, \quad i = \overline{1, mc+d}.$
ПКВ-3 ПКВ-8	09	<p>Привести вывод передаточной функции эквивалентного объекта внешнего контура каскадной системы регулирования на примере: каналы объекта – разностные уравнения второго порядка с запаздыванием, регулятор внутреннего контура – первого порядка</p> $W_o^{э\text{кв}}(z) = \frac{y^2(z)}{u^2(z)} = \frac{W_p^1(z) W_o^1(z)}{1 - W_p^1(z) W_o^1(z)} W_o^2(z)$ $W_p^1(z) = \frac{u^1(z)}{e^1(z)} = \frac{q_0^1 + q_1^1 z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{Q^1(z)}{P^1(z)},$ $W_o^1(z) = \frac{y^1(z)}{u^1(z)} = \frac{b^1 z^{-d1-1}}{1 - a_1^1 z^{-1} - a_2^1 z^{-2}} = \frac{B^1(z)}{A^1(z)},$ $W_o^2(z) = \frac{y^2(z)}{y^1(z)} = \frac{b^2 z^{-d2-1}}{1 - a_1^2 z^{-1} - a_2^2 z^{-2}} = \frac{B^2(z)}{A^2(z)},$ <p>где $Q^1(z), P^1(z), B^1(z), A^1(z), B^2(z), A^2(z)$ - полиномы. Подставляем передаточные функции объекта внутреннего, внешнего контура и регулятора внутреннего контура в эквивалентную передаточную функцию:</p>

$$W_o^{PKB}(z) = \frac{y^2(z)}{u^2(z)} = \frac{Q^1(z) B^1(z)}{1 - \frac{P^1(z) A^1(z)}{Q^1(z) B^1(z)} \frac{B^2(z)}{A^2(z)}} = \frac{Q^1(z) B^1(z) B^2(z)}{[P^1(z) A^1(z) - Q^1(z) B^1(z)] A^2(z)}$$

После подстановки полиномов и проведения аналитических преобразований получим:

$$W_o^{PKB}(z) = \frac{y^2(z)}{u^2(z)} = \frac{\alpha_1 z^{-d1-d2-2} + \alpha_2 z^{-d1-d2-3}}{1 - \beta_1 z^{-1} - \beta_2 z^{-2} - \beta_3 z^{-3} - \beta_4 z^{-4} - \beta_5 z^{-5} - \beta_6 z^{-d1-1} - \beta_7 z^{-d1-2} - \beta_8 z^{-d1-3} - \beta_9 z^{-d1-4}}, \quad (3.75)$$

где $\alpha_1 = q_0^1 b^1 b^2$; $\alpha_2 = q_1^1 b^1 b^2$; $\beta_1 = a_1^1 + a_1^2 + 1$;

$$\beta_2 = a_2^1 - a_1^1 - a_1^2 a_1^1 - a_2^1; \beta_3 = a_2^1 - a_1^2 a_2^1 + a_1^2 a_1^1 - a_2^2 a_1^1 - a_2^2;$$

$$\beta_4 = a_1^2 a_2^1 - a_2^2 a_2^1 + a_2^2 a_1^1; \beta_5 = a_2^2 a_2^1; \beta_6 = q_0^1 b^1;$$

$$\beta_7 = q_1^1 - a_1^2 q_0^1 b^1; \beta_8 = -a_1^2 q_1^1 - a_2^2 q_0^1 b^1; \beta_9 = -a_2^2 q_1^1.$$

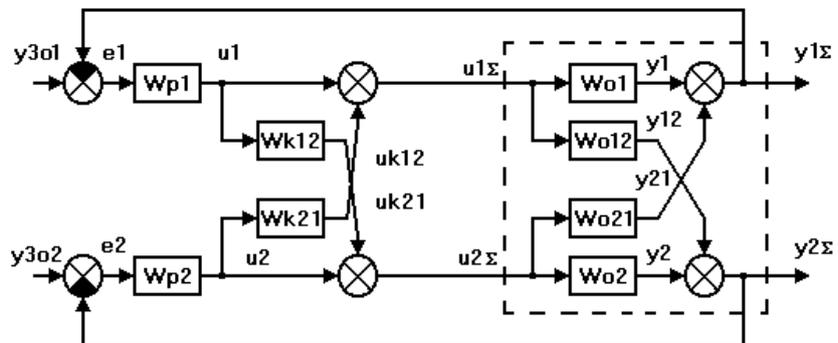
Используя обратное преобразование z , находим разностное уравнение эквивалентного объекта:

$$y_{i+d1+d2+2}^2 = \beta_1 y_{i+d1+d2+1}^2 + \beta_2 y_{i+d1+d2}^2 + \beta_3 y_{i+d1+d2-1}^2 + \beta_4 y_{i+d1+d2-2}^2 + \beta_5 y_{i+d1+d2-3}^2 + \beta_6 y_{i+d2+1}^2 + \beta_7 y_{i+d2}^2 + \beta_8 y_{i+d2-1}^2 + \beta_9 y_{i+d2-2}^2 + \alpha_1 u_i^2 + \alpha_2 u_{i-1}^2.$$

ПКВ-3
ПКВ-8

10

Составить структурную схему и записать систему системы разностных уравнений связанной системы управления объектом с двумя взаимосвязанными параметрами с перекрестными связями (для основных каналов объекта использовать разностные уравнения 2-го порядка, для перекрестных – первого и третьего порядков с транспортным запаздыванием, для регуляторов и компенсаторов – уравнения второго порядка)



$$u_i^1 = u_{i-1}^1 + q_0^1 (y_i^{31} - y_i^{1\Sigma}) + q_1^1 (y_{i-1}^{31} - y_{i-1}^{1\Sigma}) + q_2^1 (y_{i-2}^{31} - y_{i-2}^{1\Sigma}),$$

$$u_i^2 = u_{i-1}^2 + q_0^2 (y_i^{32} - y_i^{2\Sigma}) + q_1^2 (y_{i-1}^{32} - y_{i-1}^{2\Sigma}) + q_2^2 (y_{i-2}^{32} - y_{i-2}^{2\Sigma}),$$

$$uk_i^{12} = uk_{i-1}^{12} + q_0^{12} (-u_i^1) + q_1^{12} (-u_{i-1}^1) + q_2^{12} (-u_{i-2}^1),$$

		$uk_i^{21} = uk_{i-1}^{21} + q_0^{21}(-u_i^2) + q_1^{21}(-u_{i-1}^2) + q_2^{21}(-u_{i-2}^2),$ $u_i^{1\Sigma} = u_i^1 + uk_i^{21},$ $u_i^{2\Sigma} = u_i^2 + uk_i^{12},$ $y_{i+d1+1}^1 = a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^{1\Sigma},$ $y_{i+d12+1}^{12} = a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^{1\Sigma},$ $y_{i+d2+1}^2 = a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^{2\Sigma} + b_2^2 u_{i-1}^{2\Sigma},$ $y_{i+d21+1}^{21} = a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^{2\Sigma},$ $y_{i+d1+1}^{1\Sigma} = y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21},$ $y_{i+d2+1}^{2\Sigma} = y_{i+d2+1}^2 + y_{i+d2+1}^{12},$
ПКв-3 ПКв-8	11	<p>Записать систему конечно-разностных уравнений в матричной форме связанно-комбинированной цифровой системы управления</p> $Y^{uf} = \Psi_o \cdot \Theta_o,$ $Y = I_o^{uf} \cdot Y^{uf},$ <p>Y^{uf} - блочный вектор выходов основных, перекрестных и каналов возмущений; Ψ_o - блочная матрица переменных состояния основного, перекрестного и канала возмущений; Θ_o - блочный вектор параметров модели основного, перекрестного и канала возмущений; Y - вектор управляемых величин объекта; I_o^{uf} - блочные единичные матрицы.</p>
ПКв-3 ПКв-8	12	<p>Записать систему уравнений и условие инвариантности в матричной форме связно-комбинированной системы управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на входы объекта</p> $e = y^3 - y,$ $u^u = W_p^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u + W_k^f \cdot f,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f$ <p>Выполнив преобразования системы, получим уравнение связи:</p> $y = (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot y^3 + (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot (W_o^u \cdot W_k^f + W_o^f) \cdot f.$ <p>Условие инвариантности:</p> $W_o^u \cdot W_k^f + W_o^f = 0.$
ПКв-3 ПКв-8	13	<p>Записать систему уравнений и условие инвариантности в матричной форме связно-комбинированной системы управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на выход основных регуляторов</p> $e = y^3 - y,$ $u^u = W_p^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot (u^u + W_k^f \cdot f),$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f.$ <p>Выполнив подстановку, получим векторно-матричное уравнение связи:</p> $y = (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot y^3 + (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot (W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_k^f + W_o^f) \cdot f.$ <p>Условие инвариантности в данном случае принимает вид:</p> $W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_k^f + W_o^f = 0.$

ПКв-3 ПКв-8	14	<p>Записать систему уравнений и условие инвариантности в матричной форме связно-комбинированной системы управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на вход основных регуляторов</p> $e = y^3 - y + W_k^f \cdot f,$ $u^u = W_p^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f.$ <p>Выполнив преобразования, получим векторно-матричное уравнение связи:</p> $y = (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot y^3 + (I + W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u)^{-1} \cdot (W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot W_k^f + W_o^f) \cdot f$ <p>Условие инвариантности в данном случае примет вид:</p> $W_o^u \cdot W_k^u \cdot W_p^u \cdot W_k^f + W_o^f = 0$
----------------	----	---

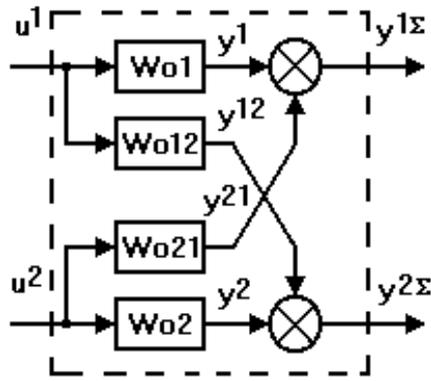
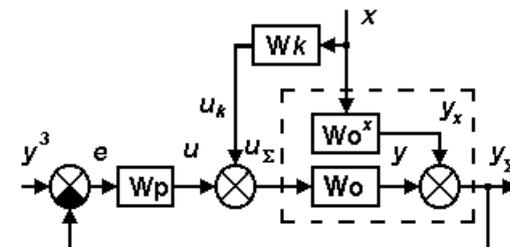
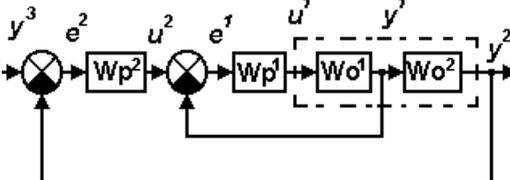
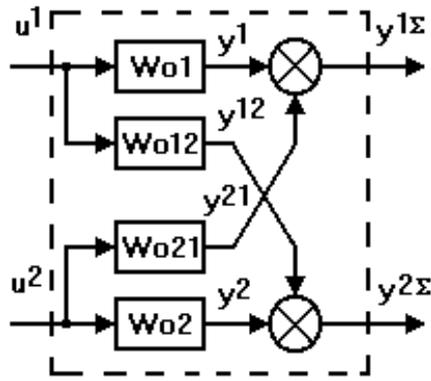
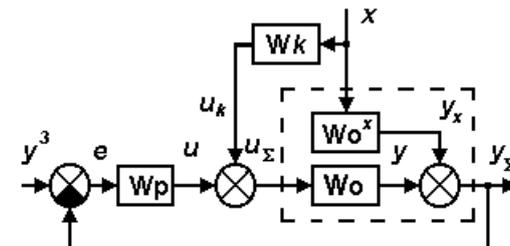
а. Тесты (тестовые задания)

Индекс компетенции	№ задания	Тест (тестовое задание)
1	2	3

ПКв-3 ПКв-8	1 +	Какое число настроек у цифрового регулятора 3-го порядка: 1) 4 2) 5 3) 3
ПКв-3 ПКв-8	2 +	Ограничения на цифровые настройки ПИ-регулятора: 1) $q_0 > 0, q_1 < 0, q_0 > / q_1 /$ 2) $q_0 < 0, q_1 > 0, /q_0/ < q_1$ 3) $q_0 > 0, q_1 < 0, q_0 < / q_1 /$
ПКв-3 ПКв-8	3 +	Сколько разностных уравнений для расчёта переходного процесса связанной двумерной цифровой системы: 1) четыре; 2) восемь 3) шесть
ПКв-3 ПКв-8	4 +	Условие расчёта цифровой комбинированной системы при наличии внешних возмущений: 1) инвариантности 2) адекватности 3) автономности
ПКв-3 ПКв-8	5 +	Блочный вектор выходов многосвязного объекта по основным и перекрёстным каналам: 1) Y^u 2) Y^f 3) Y^{uf}
ПКв-3 ПКв-8	6 +	Блочный вектор выходов многосвязного объекта по каналам возмущений: 1) Y^u 2) Y^f 3) Y^{uf}
ПКв-3 ПКв-8	7 +	Блочная матрица переменных состояния многосвязного объекта по каналам возмущений: 1) Ψ_o^f 2) $\Psi_o \cdot$ 3) Ψ_o^u
ПКв-3 ПКв-8	8 +	Блочная матрица переменных состояния многосвязного объекта по основным, перекрёстным: 1) Ψ_o^f 2) $\Psi_o \cdot$ 3) Ψ_o^u
ПКв-3 ПКв-8	9 +	Блочный вектор параметров дискретной модели многосвязного объекта по основным, перекрёстным каналам: 1) Θ_o^u 2) Θ_o 3) Θ_o^f
ПКв-3 ПКв-8	10 +	Конечно-разностные уравнения основных, перекрёстных каналов и каналов возмущений в матричной форме: 1) $Y = I_o^{uf} \cdot Y^{uf}$ 2) $Y^{uf} = \Psi_o \cdot \Theta_o$ 3) $y = W_o^u \cdot u$
ПКв-3 ПКв-8	11 +	Конечно-разностные уравнения основных и перекрёстных каналов в матричной форме: 1) $Y = I_o^{uf} \cdot Y^{uf}$ 2) $Y^u = \Psi_o^u \cdot \Theta_o^u$ 3) $y = W_o^u \cdot u$
ПКв-3 ПКв-8	12 +	Конечно-разностные уравнения каналов возмущений в матричной форме: 1) $Y = I_o^{uf} \cdot Y^{uf}$ 2) $Y^{uf} = \Psi_o \cdot \Theta_o$ 3) $Y^f = \Psi_o^f \cdot \Theta_o^f$
ПКв-3 ПКв-8	13	Уравнения в матричной форме, описывающие связно-комбинированную систему управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на вход основных регуляторов: 1) $e = y^3 - y$,

		$u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u + W_k^f \cdot f,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 2) $e = y^3 - y,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u^{uu} = u^u + W_k^f \cdot f,$ $u = W_k^u \cdot u^{uu},$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 3) $e = y^3 - y + W_k^f \cdot f,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f$
ПКВ-3 ПКВ-8	14 +	Уравнения в матричной форме, описывающие связно-комбинированную систему управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на вход объекта: 1) $e = y^3 - y,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u + W_k^f \cdot f,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 2) $e = y^3 - y,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u^{uu} = u^u + W_k^f \cdot f,$ $u = W_k^u \cdot u^{uu},$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 3) $e = y^3 - y + W_k^f \cdot f,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f$
ПКВ-3 ПКВ-8	15 +	Уравнения в матричной форме, описывающие связно-комбинированную систему управления при подключении выходов компенсаторов возмущений на выход основных регуляторов: 1) $e = y^3 - y,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u + W_k^f \cdot f,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 2) $e = y^3 - y,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u^{uu} = u^u + W_k^f \cdot f,$ $u = W_k^u \cdot u^{uu},$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f,$ 3) $e = y^3 - y + W_k^f \cdot f,$ $u^u = W_d^u \cdot e,$ $u = W_k^u \cdot u^u,$ $y = W_o^u \cdot u + W_o^f \cdot f$
ПКВ-3 ПКВ-8	16 +	Дискретная передаточная функция основного или перекрёстного канала многосвязного объекта: 1) $W_o^{u[k]l[j]}(z) = \frac{y^{u[k]l[j]}(z)}{u^{[k]}(z)} = \frac{B^{u[k]l[j]}(z^{-1})}{A^{u[k]l[j]}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{u[k]l[j]}}$ 2) $W_o^{f[h]l[j]}(z) = \frac{y^{f[h]l[j]}(z)}{f^{[h]}(z)} = \frac{B^{f[h]l[j]}(z^{-1})}{A^{f[h]l[j]}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{f[h]l[j]}}$ 3) $W_p^{u[j]l[j]}(z) = \frac{u^{u[j]l[j]}(z)}{e^{[j]}(z)} = \frac{Q^{u[j]l[j]}(z^{-1})}{P^{u[j]l[j]}(z^{-1})}$
ПКВ-3 ПКВ-8	17	Дискретная передаточная функция канала возмущения многосвязного объекта: 1) $W_o^{u[k]l[j]}(z) = \frac{y^{u[k]l[j]}(z)}{u^{[k]}(z)} = \frac{B^{u[k]l[j]}(z^{-1})}{A^{u[k]l[j]}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{u[k]l[j]}}$

	+	$2) W_o^{f[h]l}(z) = \frac{y^{f[h]l}(z)}{f^{[h]}(z)} = \frac{B^{f[h]l}(z^{-1})}{A^{f[h]l}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{f[h]l}}$ $3) W_p^{u[j]l}(z) = \frac{u^{u[j]l}(z)}{e^{[j]}(z)} = \frac{Q^{u[j]l}(z^{-1})}{P^{u[j]l}(z^{-1})}$
ПКВ-3 ПКВ-8	18	<p>Дискретная передаточная функция основного регулятора многосвязной системы управления:</p> $1) W_o^{u[k]l}(z) = \frac{y^{u[k]l}(z)}{u^{[k]}(z)} = \frac{B^{u[k]l}(z^{-1})}{A^{u[k]l}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{u[k]l}}$ $2) W_o^{f[h]l}(z) = \frac{y^{f[h]l}(z)}{f^{[h]}(z)} = \frac{B^{f[h]l}(z^{-1})}{A^{f[h]l}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{f[h]l}}$ <p>+</p> $3) W_p^{u[j]l}(z) = \frac{u^{u[j]l}(z)}{e^{[j]}(z)} = \frac{Q^{u[j]l}(z^{-1})}{P^{u[j]l}(z^{-1})}$
ПКВ-3 ПКВ-8	19	<p>Дискретная передаточная функция компенсатора перекрёстной связи многосвязной системы управления:</p> $1) W_o^{u[k]l}(z) = \frac{y^{u[k]l}(z)}{u^{[k]}(z)} = \frac{B^{u[k]l}(z^{-1})}{A^{u[k]l}(z^{-1})} \cdot z^{-d_o^{u[k]l}}$ <p>+</p> $2) W_k^{u[i]l}(z) = \frac{u^{u[i]l}(z)}{u^{u[i]l}(z)} = \frac{Q^{u[i]l}(z^{-1})}{P^{u[i]l}(z^{-1})} \cdot z^{-d_{pk}^{u[i]l}}$ $3) W_p^{u[j]l}(z) = \frac{u^{u[j]l}(z)}{e^{[j]}(z)} = \frac{Q^{u[j]l}(z^{-1})}{P^{u[j]l}(z^{-1})}$
ПКВ-3 ПКВ-8	20	<p>Передаточная функция $W(s) = \frac{ke^{-\tau s}}{1 + T_1 s + T_2 s^2}$ соответствует разностному уравнению:</p> <p>+</p> $1) y_{i+1} = a_1 y_i + b u_{i-d}$ $2) y_{i+1} = a_1 y_i + a_2 y_{i-2} + b u_{i-d}$ $3) y_{i+1} = a_1 y_i + a_2 y_{i-2} + a_3 y_{i-3} + b u_{i-d}$
ПКВ-3 ПКВ-8	21	<p>Дискретная передаточная функция $W(z) = \frac{b^x z^{-1-dx}}{1 - a_1^x z^{-1}}$ соответствует разностному уравнению:</p> <p>+</p> $1) y_{i+1} = a_1 y_i + b u_{i-d}$ $2) y_{i+1} = a_1 y_i + a_2 y_{i-2} + b u_{i-d}$ $3) y_{i+1} = a_1 y_i + a_2 y_{i-2} + a_3 y_{i-3} + b u_{i-d}$
ПКВ-3 ПКВ-8	22	<p>Структурная схема комбинированной системы регулирования:</p> <p>1)</p> <p>2)</p>

	+	 <p>3)</p> 
ПКВ-3 ПКВ-8	23 +	<p>Структурная схема каскадной системы регулирования:</p> <p>1)</p>  <p>2)</p>  <p>3)</p> 
ПКВ-3 ПКВ-8	24 +	<p>Структурная схема связанной системы регулирования:</p> <p>1)</p>

		<p>1)</p> <p>2)</p> <p>3)</p>
ПКВ-3 ПКВ-8	25 +	Условие автономности многосвязной цифровой системы управления в матричной форме: 1) $(W_o^{u\text{asm}})^{-1} = \frac{1}{ W_o^{u\text{asm}} } \cdot W_o^{ad}$ 2) $W_o^{u\text{asm}} \cdot W_k^{u\text{asm}} + W_o^{uu\text{asm}} = 0$ 3) $W_k^{u\text{asm}[1]} = -(W_o^{u\text{asm}[1]})^{-1} \cdot W_o^{uu\text{asm}[1]}$
ПКВ-3 ПКВ-8	26 +	Дискретная передаточная функция, соответствующая аperiodическому звену первого порядка $T_1^1 \cdot \frac{\partial y(t)}{\partial t} + y(t) = k \cdot u(t)$: 1) $W_o(z) = \frac{b \cdot z^{-1}}{1 - a_1 \cdot z^{-1}}$ 2) $W_o(z) = \frac{b \cdot z^{-1}}{1 - z^{-1}}$ 3) $W_o(z) = b_1 + b_2 \cdot z^{-1}$
ПКВ-3 ПКВ-8	27 +	Типовое динамическое звено, соответствующее дискретной передаточной функции $W_o(z) = \frac{b \cdot z^{-1}}{1 - z^{-1}}$: 1) $T_1^1 \cdot \frac{\partial y(t)}{\partial t} = u(t)$ 2) $y(t) = k \cdot \frac{\partial u(t)}{\partial t}$

		$3) T_1^1 \cdot \frac{\partial y(t)}{\partial t} + y(t) = k \cdot u(t)$
ПКВ-3 ПКВ-8	28	<p>Дискретная передаточная функция, соответствующая непрерывной передаточной функции $W_o(s) = \frac{1}{T_1^1 \cdot s}$:</p> <p>1) $W_o(z) = \frac{b \cdot z^{-1}}{1 - a_1 \cdot z^{-1}}$</p> <p>2) $W_o(z) = \frac{b \cdot z^{-1}}{1 - z^{-1}}$</p> <p>3) $W_o(z) = b_1 + b_2 \cdot z^{-1}$</p>
ПКВ-3 ПКВ-8	29	<p>Дискретная динамическая модель регулятора:</p> <p>1) $u_i = u_{i-1} + \sum_{l=0}^m q_l \cdot (y_{i-l}^3 - y_{i-l})$</p> <p>2) $y_i = \sum_{k=1}^n a_k \cdot y_{i-k} + b \cdot u_{i-d-1}$</p> <p>3) $a_k^{N+1} = a_k^N + \frac{1}{\gamma_{ak}^N} \cdot \varepsilon^N \cdot y_{N+1-k}$</p>
ПКВ-3 ПКВ-8	30	<p>Дискретная динамические модели канала объекта::</p> <p>1) $u_i = u_{i-1} + \sum_{l=0}^m q_l \cdot (y_{i-l}^3 - y_{i-l})$</p> <p>2) $y_i = \sum_{k=1}^n a_k \cdot y_{i-k} + b \cdot u_{i-d-1}$</p> <p>3) $a_k^{N+1} = a_k^N + \frac{1}{\gamma_{ak}^N} \cdot \varepsilon^N \cdot y_{N+1-k}$</p>

3.6 Курсовая работа (КР)

Индекс компетенции	№ задания	Формулировка задания
ПКв-3 ПКв-8	01 ÷ 25 (*)	Курсовая работа заключается в расчете цифровой системы управления технологическим процессом на основе специально разрабатываемого программного обеспечения в одной из существующих сред (пакета MatCad, Builder). Основные этапы выполнения курсовой работы: <ul style="list-style-type: none">– разработка дискретной динамической модели объекта управления на основе экспериментально-статистического подхода с использованием ЭВМ;– расчет (оптимизация) управляющей части цифровой системы управления (регуляторов и компенсаторов) на основе соответствующих принципов и численных методов с использованием ЭВМ и стандартных программных средств;– исследование работоспособности разработанной системы на основе машинного моделирования, путем расчета переходных процессов и их показателей качества по задающим и возмущающим воздействиям. Результаты курсовой работы бакалавров оформляются в виде пояснительной записки объемом 20 страниц формата А4, включающей описание выполнения основных этапов, и графической части (1 лист формата А1), содержащей основные результаты работы.

(*) Задание формируется в соответствии с вариантом, выдаваемым преподавателем.

Примерный перечень тем курсовой работы:

15. Синтез цифровой связанной системы регулирования концентраций изопентана на контрольной тарелке № 20 и изоамиленов на контрольной тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

16. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изоамиленов на тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

17. Синтез цифровой каскадной системы регулирования разности температур в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.

18. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изопентана на тарелке № 20 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

19. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации изопентан-изоамиленовой фракции с коррекцией по концентрации изопентана в кубовом продукте.

20. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изоамиленов на тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

21. Синтез цифровой несвязанной системы регулирования концентраций изопентана на контрольной тарелке № 20 и изоамиленов на контрольной тарелке № 41 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

22. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации изопентан-изоамиленовой фракции с коррекцией по концентрации изопентана в кубовом продукте.

23. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры в кубе колонны ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.

24. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации бутиленов в дистилляте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

25. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации Н-бутана в кубовом продукте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

26. Синтез цифровой каскадной системы регулирования температуры на контрольной тарелке № 52 с коррекцией по концентрации изопентана на тарелке № 20 в колонне ректификации изопентан-изоамиленовой фракции.

27. Синтез цифровой каскадной системы регулирования разности температур в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции с коррекцией по концентрации Н-бутана в кубовом продукте.

28. Синтез цифровой комбинированной системы регулирования концентрации бутиленов в дистилляте с компенсацией возмущений по расходу сырья в колонне ректификации бутан-бутиленовой фракции.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Процедуры оценивания в ходе изучения дисциплины знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, регламентируются положениями:

- П ВГУИТ 2.4.03 – 2015 Положение о курсовых, экзаменах и зачетах;
- П ВГУИТ 4.1.02 – 2012 Положение о рейтинговой оценке текущей успеваемости.

Для оценки знаний, умений, навыков студентов по дисциплине «**Основы цифрового управления**» применяется бально-рейтинговая система.

Рейтинговая система оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является текущий опрос в виде собеседования, сдачи тестов, кейс-заданий, задач и сдачи разделов курсового проекта по предложенной преподавателем теме, за каждый правильный ответ студент получает 5 баллов (зачтено - 5, незачтено - 0). Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре 50.

Бальная система служит для получения экзамена и/или зачета по дисциплине.

Максимальное число баллов за семестр – 100.

Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре – 50.

Максимальное число баллов на экзамене и/или зачете – 50.

Минимальное число баллов за текущую работу в семестре – 30.

Студент, набравший в семестре менее 30 баллов, может заработать дополнительные баллы, отработав соответствующие разделы дисциплины или выполнив обязательные задания, для того, чтобы быть допущенным до экзамена и/или зачета.

Студент, набравший за текущую работу менее 30 баллов, т.к. не выполнил всю работу в семестре по объективным причинам (болезнь, официальное освобождение и т.п.) допускается до экзамена и/или зачета, однако ему дополнительно задаются вопросы на собеседовании по разделам, выносимым на экзамен и/или зачет.

В случае неудовлетворительной сдачи экзамена и/или зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии. При повторной сдаче экзамена и/или зачета количество набранных студентом баллов на предыдущем экзамене и/или зачете не учитывается.

Экзамен и/или зачет может проводиться в виде тестового задания и кейс-задач или собеседования и кейс-заданий и/или задач.

Для получения оценки «отлично» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять 90 и выше баллов;

- оценки «хорошо» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять от 75 до 89,99 баллов;

- оценки «удовлетворительно» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять от 60 до 74,99 баллов;

- оценки «неудовлетворительно» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на экзамене должна составлять менее 60 баллов.

Для получения оценки «зачтено» суммарная бально-рейтинговая оценка студента по результатам работы в семестре и на зачете должна быть не менее 60 баллов.

5. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания для каждого результата обучения по дисциплине

Результаты обучения (на основе обобщённых компетенций)	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценки	Критерии оценки	Шкала оценки	
				Академическая оценка (зачтено/незачтено)	Уровень освоения компетенции
ПКв-3 - Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством					
Знать	собеседование по практике; Собеседование по лабораторной; тест; экзамен	Разработаны алгоритм и программа идентификации с применением компьютерного моделирования	Обучающийся разработал программу идентификации дискретной динамической модели	Зачтено	Базовый
			Обучающийся не разработал программу идентификации дискретной динамической модели	Не зачтено	Не освоено
Уметь	собеседование по практике; собеседование по лабораторной; Кейс-задача; экзамен; тест	использованы стандартные пакеты программ для решения практических задач идентификации и оптимизации цифровых систем управления	Обучающийся разобрался в предложенной конкретной ситуации, самостоятельно решил поставленную задачу на основе знаний методов и программного обеспечения.	Зачтено	Продвинутый
			Обучающийся не решил поставленную задачу, не предложил вариантов решения	Не зачтено	Не освоено
Владеть	собеседование по практике; собеседование по лабораторной; Кейс-задача; экзамен; тест	Конфигурирование (настройка) цифровых регуляторов в замкнутом контуре регулирования	Обучающийся самостоятельно нашёл программный конфигуризатор и настроил систему в лабораторных условиях	Зачтено	Высокий
			Обучающийся самостоятельно не нашёл программный конфигуризатор и не настроил систему в лабораторных условиях	Не зачтено	Не освоено
ПКв-8 - Способен выполнять работы по наладке, настройке, регулировке, опытной проверке, регламентному техническому, эксплуатационному обслуживанию оборудования, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления, средств программного обеспечения					
Знать	Лекция тест экзамен	Знание принципов аналитического проектирования цифровых систем управле-	Обучающийся знает принципы автономно-инвариантного управления и методов чис-	Зачтено	Базовый

		ния технологическими процессами	ленной оптимизации		
Уметь	Курсовая работа	Разработана цифровая система управления связанного объекта при наличии перекрёстных связей и возмущений	Обучающийся разработал алгоритмическое и программное обеспечение синтеза цифровой системы управления связанного объекта	Зачтено	Продвинутый
			Обучающийся не разработал алгоритмическое и программное обеспечение синтеза цифровой системы управления связанного объекта	Не зачтено	Не освоено
Владеть	Курсовая работа	Владение навыками настройки и обслуживания аппаратных технических средств управления	Обучающийся самостоятельно нашёл программный конфигурактор и настроил систему в лабораторных условиях	Зачтено	Высокий
			Обучающийся самостоятельно не нашёл программный конфигурактор и не настроил систему в лабораторных условиях	Не зачтено	Не освоено