

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО**  
**ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

**УТВЕРЖДАЮ**

И.о. проректора по учебной работе

\_\_\_\_\_ Василенко В.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

«30» мая 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
**ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ЦИФРОВЫЕ МНОГОСВЯЗНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»**

**Направление подготовки**

**15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств**  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

**Направленность (профиль) подготовки**

**Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)**  
(наименование направленности (профиля) подготовки)

**Квалификация (степень) выпускника**

**Магистр**

**Воронеж**

### 1. Цели и задачи дисциплины

Целями освоения дисциплины «цифровые многосвязные системы управления» является формирование компетенций обучающегося в области профессиональной деятельности и сферы профессиональной деятельности, в которых выпускники, освоившие программу магистратуры, могут осуществлять профессиональную деятельность: *40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере автоматизации и механизации производственных процессов)*.

В рамках освоения программы магистратуры выпускники могут готовиться к решению задач профессиональной деятельности следующих типов:

- проектно-конструкторской;
- производственно-технологической;
- научно-исследовательской;
- сервисно-эксплуатационной.

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств применением надлежащих современных методов и средств анализа.

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

В результате освоения дисциплины в соответствии с предусмотренными компетенциями обучающийся должен:

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	2	3	4
1	ПКв-4	Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции	ИД-1 <sub>ПКв-4</sub> - Разрабатывает алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем, автоматизации производств пищевой продукции

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
1	2
ИД-3 <sub>ПКв-4</sub> - Разрабатывает алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем, автоматизации производств пищевой продукции	Знает: математический аппарат, методы и программные продукты для расчета и проектирования систем автоматизации
	Умеет: выполнять расчеты блоков и устройств цифровых многомерных систем управления на предмет использования в соответствии с техническим заданием с использованием математического аппарата и средств программирования
	Имеет навыки: наладки, настройки, регулировки, обслуживанию технических средств и систем программного управления

### 3. Место дисциплины (модуля) в структуре ОП ВО

Курс, формируемый участниками образовательных отношений, «Цифровые многосвязные системы управления» базируется на знаниях, умениях и компетенциях, полученных при изучении дисциплин предметной области по направлению подготовки магистров:

- «Микропроцессоры и микроконтроллеры в системах управления»,
- «Современные проблемы теории управления»,

- «Системный анализ и моделирование,
- «Методы оптимизации для решения исследовательских задач».

Дисциплина «Цифровые многосвязные системы управления» является предшествующей для подготовки магистерской диссертации.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

Виды учебной работы	Всего акад. часов	Семестр
		3
Общая трудоемкость дисциплины	<b>180</b>	<b>180</b>
<b>Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:</b>	<b>52,8</b>	<b>52,8</b>
Лекции	12	12
Практические занятия (ПЗ)	24	24
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	24	24
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	12	12
Консультации текущие	0,6	0,6
Курсовой проект	2	2
Консультация перед экзаменом	2	2
Виды аттестации (экзамен)	0,2	0,2
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>93,4</b>	<b>93,4</b>
Проработка конспекта лекций	15	15
Проработка материала по учебникам	45	45
Подготовка к практическим и лабораторным занятиям	13,4	13,4
Курсовой проект	20	20
<b>Подготовка к экзамену</b>	<b>33,8</b>	<b>33,8</b>

**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	Состав профессиональных задач	Трудоемкость раздела, час
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	Подходы к расчету цифровых многосвязных систем управления	4,4
2	Структурный и параметрический синтез дискретных динамических моделей многомерных объектов	Особенность структурной и параметрической идентификации многосвязных объектов. Подходы к проведению структурной идентификации. Методы проведения параметрической идентификации многомерного объекта управления.	27
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	Подходы к синтезу многомерных ЦСУ. Расчёт цифровых регуляторов и автономных компенсаторов управляющей части многомерной ЦСУ. Преобразования в векторно-матричной форме, выполняемые при расчетах управляющей части многомерных ЦСУ.	29
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	Особенности синтеза многосвязно-комбинированных ЦСУ. Расчёт цифровых регуляторов и инвариантных компенсаторов управляющей части многосвязно-комбинированных ЦСУ. Преобразования в векторно-матричной форме, выполняемые при расчетах управляющей части многосвязно-комбинированных ЦСУ.	25
5	Синтез многосвязно-комбинированной	Технологический процесс синтеза аммиака с точки зрения объекта управления. Разработка модели и син-	28

	ЦСУ процессом получения аммиака.	тез многосвязно-комбинированной ЦСУ процессом получения аммиака.	
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ	Номенклатура приборов и средств автоматизации. Настройка ряда цифровых приборов автоматизации (на примере приборов ОВЕН) и реализация систем управления.	28
	<i>Консультации текущие</i>		0,6
	<i>Курсовой проект</i>		2
	<i>Консультация перед экзаменом</i>		2
	<i>Виды аттестации (экзамен)</i>		0,2

## 5.2 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции, час	ПЗ, час	ЛР, час	СРС, час
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	1	-	-	3,4
2	Структурный и параметрический синтез дискретных моделей многомерных объектов	2	6	-	19
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	3	6	-	20
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	4	6	-	20
5	Синтез ЦМСУ процессом получения аммиака.	2	6	-	20
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ			12	13
	<i>Консультации текущие</i>				0,6
	<i>Курсовой проект</i>				2
	<i>Консультация перед экзаменом</i>				2
	<i>Виды аттестации (экзамен)</i>				0,2

### 5.2.1 Лекции

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика лекционных занятий	Трудоемкость, Час
1	2	3	4
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	Основные цели и задачи синтеза систем цифрового управления многосвязными технологическими объектами. Характеристика подходов к синтезу ЦСУ многомерными объектами. Аспекты практической реализации ЦСУ.	1
2	Структурный и параметрический синтез дискретных динамических моделей многомерных объектов	Топологии физических связей. <b>P</b> - и <b>V</b> - структуры. Переход от <b>P</b> - к <b>V</b> - структуре и обратно. Дискретное описание непрерывных многомерных объектов при наличии перекрестных связей и возмущений. Скалярная форма моделей в виде разностных уравнений и передаточных функций в <b>z</b> -преобразовании. Переход к векторно-матричному дискретному описанию многосвязных объектов. Схема. Вывод обобщенных форм записи. Получение разностного уравнения для любого канала из матричной формы модели.	2
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	Принципы синтеза ЦСУ многомерными объектами с перекрестными связями. Структурная схема. Дискретное описание цифровых регуляторов и компенсаторов в скалярной и матричной формах. Описание системы. Условие автономности. Вывод дискретных передаточных функций компенсаторов перекрестных связей из условия автономности <b>r</b> -мерной системы. Примеры реализации для двух- и трехмерной систем. Получение сепаратных подсистем автономной ЦСУ. Расчёт компенсаторов перекрестных связей по желаемым передаточным функциям объекта (второй подход) на примере двумерной системы. Схема. Преимущества и недостатки. Расчёт автономных компенсаторов перекрестных связей по желае-	3

		мым передаточным функциям объекта (второй подход) на примере трёхмерной системы. Схема. Вывод матрицы дискретных передаточных функций эквивалентных объектов многосвязной системы управления при выполнении условия автономности. Одновременная оптимизация основных цифровых регуляторов и сепаратных подсистем по эквивалентным объектам. Оптимизация цифровых регуляторов и компенсаторов при невыполнении условия автономности.	
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	Структурная схема. Матричная форма описания связно-комбинированной ЦСУ (СКЦСУ). Условие абсолютной инвариантности. Вывод дискретных передаточных функций компенсаторов возмущений из условия инвариантности при подаче сигналов с компенсаторов на входы основных регуляторов, на выходы основных регуляторов и на входы объекта (три способа подключения компенсаторов в СКЦСУ). Декомпозиция системы на сепаратные подсистемы. Этапы и алгоритм синтеза СКЦСУ.	4
5	Синтез ЦМСУ процессом получения аммиака	Постановка задач управления. Структурная схема и дискретное математическое описание многомерного процесса получения аммиака. Синтез управляющей части системы. Адаптивная система управления. Идентификация каналов многосвязного нестационарного объекта.	2
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ	-	-

### 5.2.2 Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость, Час
1	2	3	4
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	-	-
2	Структурный и параметрический синтез дискретных динамических моделей многомерных объектов	Параметрическая и структурная идентификация дискретных моделей каналов регулирования многомерных объектов	6
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	Структурный и параметрический синтез связанных, несвязанных ЦСУ. Исследование и анализ функционирования оптимальных цифровых систем.	6
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	Структурный и параметрический синтез каскадных и связно-комбинированных ЦСУ. Исследование и анализ функционирования оптимальных цифровых систем.	6
5	Синтез ЦМСУ процессом получения аммиака.	Идентификация моделей каналов процесса и оценка адекватности. Вывод дискретных передаточных функций автономных и инвариантных цифровых компенсаторов.	6
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ	-	-

### 5.2.3 Лабораторный практикум

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, час
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	-	-
2	Структурный и параметрический синтез дискретных динамических моделей многомерных объектов	-	-
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	-	-
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	-	-
5	Синтез ЦМСУ процессом получения аммиака.	-	-
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ	Разработка автоматизированного рабочего места оператора исследовательской установки с помощью <b>“Master SCADA”</b> . Синтез и исследование цифровой системы регулирования с использованием <b>SCADA-СИСТЕМЫ “TRACE MODE</b>	12

### 5.2.4 Самостоятельная работа студентов (СРО)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вид СРО	Трудоемкость, Час
1	2	3	4
1	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	<b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям.</b> Основные цели и задачи синтеза систем цифрового управления многосвязными технологическими объектами. Характеристика подходов к синтезу ЦСУ многомерными объектами. Аспекты практической реализации ЦСУ, <b>пробное тестирование</b>	3,4
2	Структурный и параметрический синтез дискретных динамических моделей многомерных объектов	<b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям.</b> Топологии физических связей. <b>P-</b> и <b>V-</b> структуры. Переход от <b>P-</b> к <b>V-</b> структуре и обратно. Дискретное описание непрерывных многомерных объектов при наличии перекрестных связей и возмущений. Скалярная форма моделей в виде разностных уравнений и передаточных функций в <b>z</b> -преобразовании. Переход к векторно-матричному дискретному описанию многосвязных объектов. Схема. Вывод обобщенных форм записи. Получение разностного уравнения для любого канала из матричной формы модели, <b>выполнение курсовой работы *, пробное тестирование</b>	19
3	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	<b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям.</b> Принципы синтеза ЦСУ многомерными объектами с перекрестными связями. Структурная схема. Дискретное описание цифровых регуляторов и компенсаторов в скалярной и матричной формах. Описание системы. Условие автономности. Вывод дискретных передаточных функций компенсаторов перекрестных связей из условия автономности <b>г</b> -мерной системы. Примеры реализации для двух- и трехмерной систем. Получение отдельных подсистем автономной ЦСУ. Расчет компенсаторов пе-	20

		<p>рекрестных связей по желаемым передаточным функциям объекта (второй подход) на примере двумерной системы. Схема. Преимущества и недостатки. Расчёт автономных компенсаторов перекрестных связей по желаемым передаточным функциям объекта (второй подход) на примере трёхмерной системы. Схема.</p> <p>Вывод матрицы дискретных передаточных функций эквивалентных объектов многосвязной системы управления при выполнении условия автономности. Одновременная оптимизация основных цифровых регуляторов и сепаратных подсистем по эквивалентным объектам. Оптимизация цифровых регуляторов и компенсаторов при невыполнении условия автономности,</p> <p><b>выполнение курсовой работы *, пробное тестирование</b></p>	
4	Синтез многосвязно-комбинированных ЦСУ	<p><b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям.</b></p> <p>Структурная схема. Матричная форма описания связно-комбинированной ЦСУ (СКЦСУ). Условие абсолютной инвариантности. Вывод дискретных передаточных функций компенсаторов возмущений из условия инвариантности при подаче сигналов с компенсаторов на входы основных регуляторов, на выходы основных регуляторов и на входы объекта (три способа подключения компенсаторов в СКЦСУ). Декомпозиция системы на сепаратные подсистемы. Этапы и алгоритм синтеза СКЦСУ,</p> <p><b>выполнение курсовой работы *, пробное тестирование</b></p>	20
5	Синтез ЦМСУ процессом получения аммиака	<p><b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к практическим занятиям.</b></p> <p>Постановка задач управления. Структурная схема и дискретное математическое описание многомерного процесса получения аммиака. Синтез управляющей части системы. Адаптивная система управления. Идентификация каналов многосвязного нестационарного объекта,</p> <p><b>выполнение курсовой работы *, пробное тестирование</b></p>	20
6	Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ	<p><b>Проработка материалов по учебникам, подготовка к лабораторным занятиям. Оформление отчетов по лабораторным работам № 1,2.</b></p> <p>Основные принципы построения и технической реализации ЦСУ,</p> <p><b>пробное тестирование</b></p>	13

## 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1 Основная литература:

1. Кудряшов, В. С. Методы синтеза цифровых систем управления многосвязными технологическими объектами : монография / В. С. Кудряшов, С. В. Рязанцев, А. В. Иванов. — Воронеж : ВГУИТ, 2018. — 333 с. — ISBN 978-5-00032-303-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106907>

2. Цифровые системы управления и обработки информации : учебное пособие : в 3 частях / А. В. Назаров, С. Г. Бурлуцкий, Ю. Ф. Матасов [и др.]. — Санкт-Петербург : ГУАП, 2022 — Часть 1 : Основы цифровой обработки сигналов — 2022. — 97 с. — ISBN 978-5-8088-1763-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/340970>

## 6.2 Дополнительная литература:

1. Иванов, Б. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для вузов / Б. Н. Иванов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 224 с. — ISBN 978-5-507-49479-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/393053>

## 6.3 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся

1. Данылиев, М. М. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплин (модулей) в ФГБОУ ВО ВГУИТ [Электронный ресурс]: методические указания для обучающихся на всех уровнях высшего образования / М. М. Данылиев, Р. Н. Плотникова; ВГУИТ, Учебно-методическое управление. - Воронеж: ВГУИТ, 2016. — 32 с. Режим доступа в электронной среде: <http://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web/SearchResult/MarcFormat/100813>.

2. Освоение закрепленных за дисциплиной компетенций осуществляется посредством изучения теоретического материала на лекциях, выполнения практических работ. Учебно-методический комплекс дисциплины размещен в Электронной информационно-образовательной среде ВГУИТ <http://education.vsu.ru/>.

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

Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
Научная электронная библиотека	<a href="http://www.elibrary.ru/defaulttx.asp">http://www.elibrary.ru/defaulttx.asp</a>
Образовательная платформа «Юрайт»	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
ЭБС «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
АИБС «МегаПро»	<a href="https://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web">https://biblos.vsu.ru/MegaPro/Web</a>
Сайт Министерства науки и высшего образования РФ	<a href="http://minobrnauki.gov.ru">http://minobrnauki.gov.ru</a>
Электронная информационно-образовательная среда ФГБОУ ВО «ВГУИТ»	<a href="http://education.vsu.ru">http://education.vsu.ru</a>

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

При изучении дисциплины используется программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: ЭИОС университета, в том числе на базе программной платформы «Среда электронного обучения ЗКЛ».

При освоении дисциплины используется лицензионное и открытое программное обеспечение

Программы	Лицензии, реквизиты подтверждающего документа
Adobe Reader XI	(бесплатное ПО) <a href="https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html">https://acrobat.adobe.com/ru/ru/acrobat/pdf-reader/volume-distribution.html</a>
Альт Образование	Лицензия № AAA.0217.00 с 21.12.2017 г. по «Бессрочно»
Microsoft Windows 8	Microsoft Open License
Microsoft Windows 8.1	Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN 1 License No Level#61280574 от 06.12.2012 г. <a href="https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license">https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license</a>

Microsoft Office Professional Plus 2010	Microsoft Open License Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #48516271 от 17.05.2011 г. <a href="https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license">https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license</a>  Microsoft Open License Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic OPEN 1 License No Level #61181017 от 20.11.2012 г. <a href="https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license">https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license</a>
Microsoft Office 2007 Standart	Microsoft Open License Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level #44822753 от 17.11.2008 <a href="https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license">https://www.microsoft.com/ru-ru/licensing/licensing-programs/open-license</a>
Libre Office 6.1	Лицензия № AAA.0217.00 с 21.12.2017 г. по «Бессрочно» (Включен в установочный пакет операционной системы Альт Образование 8.2)
КОМПАС 3D LT v 12	(бесплатное ПО) <a href="http://zoomexe.net/ofis/project/2767-kompas-3d.html">http://zoomexe.net/ofis/project/2767-kompas-3d.html</a>
T-FLEX CAD 3D Университетская	Договор № 74-В-ТСН-3-2018 с ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ» от 07.05.2018 г. Лицензионное соглашение № А00007197 от 22.05.2018 г.
Компас 3D V21	Лицензионное соглашение с ЗАО «Аскон» № КАД-16-1380 Сублицензионный договор с ООО «АСКОН-Воронеж» от 09.02.2022 г.
APM WinMachine	Лицензионное соглашение с ООО НТЦ «АПМ» № 105416 от 22.11.2016 г.

#### **Справочно-правовые системы**

Программы	Лицензии, реквизиты подтверждающего документа
Справочные правовая система «Консультант Плюс»	Договор о сотрудничестве с «Информсвязь-черноземье», Региональный информационный центр общероссийской сети распространения правовой информации Консультант Плюс № 8-99/RD от 12.02.1999 г.

### **7 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, в том числе в формате практической подготовки, включают:

Учебные аудитории кафедры ИУС 326, 327.

Включают лабораторные установки состоящие из имитаторов объектом (вычислительный комплекс СУЛЗ, имитатор печи) и шкафов автоматического управления с цифровыми приборами автоматизации (цифровые регуляторы ТРМ151, ТРМ101, ТРМ1) и устройств связи с объектами (модули ввода-вывода сигналов МВА8, МВУ8), сетевые адаптеры АС-3М, АС4, рабочие станции семейства IBM PC с

прикладным программным обеспечением (программы-конфигураторы приборов ОВЕН, SCADA-системы ОВЕН).

Дополнительно для самостоятельной работы обучающихся используют:

Читальные залы библиотеки: Компьютеры (30 шт.) со свободным доступом в сеть Интернет и Электронным библиотечным и информационно-справочным системам

### **8 Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Оценочные материалы (ОМ) для дисциплины включают в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освое-

ния образовательной программы;

- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

- типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

ОМ представляются отдельным компонентом и **входят в состав рабочей программы дисциплины.**

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

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
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**

Общая трудоемкость дисциплины составляет   5   зачетных единиц.

Виды учебной работы	Всего акад. часов	Семестр
		3
Общая трудоемкость дисциплины	<b>180</b>	<b>180</b>
<b><i>Контактная работа, в т.ч. аудиторные занятия:</i></b>	<b>25,9</b>	<b>25,9</b>
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	8	8
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	8	8
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
<i>в том числе в форме практической подготовки</i>	6	6
Консультации текущие	0,9	0,9
Курсовой проект	2	2
Консультация перед экзаменом	2	2
Виды аттестации (экзамен )	0,2	0,2
Рецензирование контрольных работ	0,8	0,8
<b><i>Самостоятельная работа обучающихся:</i></b>	<b>147,3</b>	<b>147,3</b>
Проработка конспекта лекций	25	25
Проработка материала по учебникам	82,3	82,3
Подготовка к практическим и лабораторным занятиям	20	20
Курсовой проект	20	20
<b>Контроль</b>	<b>6,8</b>	<b>6,8</b>

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

по дисциплине

Цифровые многомерные системы управления

---

## 1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования

№ п/п	Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
1	2	3	4
1	ПКв-4	Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции	ИД-1 <sub>ПКв-4</sub> - Разрабатывает алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем, автоматизации производств пищевой продукции

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (показатели оценивания)
1	2
ИД-3 <sub>ПКв-4</sub> - Разрабатывает алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем, автоматизации производств пищевой продукции	<p>Знает: математический аппарат, методы и программные продукты для расчета и проектирования систем автоматизации</p> <p>Умеет: выполнять расчеты блоков и устройств цифровых многомерных систем управления на предмет использования в соответствии с техническим заданием с использованием математического аппарата и средств программирования</p> <p>Имеет навыки: наладки, настройки, регулировки, обслуживанию технических средств и систем программного управления</p>

## 2 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые модули/разделы/темы дисциплины	Индекс контролируемой компетенции (или ее части)	Оценочные средства		Технология оценки (способ контроля)
			наименование	№№ заданий	
1.	Введение. Цели, задачи создания ЦМСУ	ПКв-4	Банк тестовых заданий	1-10, 61-70, 121-130	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	283-288, 314-318, 344-346	Контроль преподавателем
2.	Структурный и параметрический синтез дискретных моделей многомерных объектов	ПКв-4	Банк тестовых заданий	11-20, 71-80, 131-140	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование практическая	202-205, 221-224, 241-243	Защита работ
			Кейс-задача	188, 192, 196	Уровневая шкала
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	289-294, 319-323, 347-349	Контроль преподавателем
3.	Синтез многомерных ЦСУ с перекрестными связями	ПКв-4	Банк тестовых заданий	21-30, 81-90, 141-150	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование практическая	206-208, 225-228, 244-246	Защита работ
			Кейс-задача	189, 193, 197	Уровневая шкала
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	295-300, 324-328, 350-352	Контроль преподавателем
4.	Синтез многосвязно-	ПКв-4	Банк тестовых заданий	31-40, 91-	Бланочное или компьютер-

	комбинированных ЦСУ			100, 151-160	ное тестирование
			Собеседование лабораторная	254-259, 264-269, 274-278	Защита работ
			Собеседование практическая	209-211, 229-232, 247-249	Защита работ
			Кейс-задача	190, 194, 198	Уровневая шкала
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	301-305, 329-333, 353-355	Контроль преподавателем
5.	Синтез многосвязно-комбинированной ЦСУ процессом получения аммиака	ПКв-4	Банк тестовых заданий	41-50, 101-110, 161-170	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование практическая	212-216, 233-236, 250-251	Защита работ
			Кейс-задача	191, 195, 199	Уровневая шкала
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	306-309, 334-338, 356-358	Контроль преподавателем
6.	Техническая реализация ЦСУ	ПКв 4	Банк тестовых заданий	51-60, 111-120, 171-187	Бланочное или компьютерное тестирование
			Собеседование лабораторная	260-263, 270-273, 279-282	Защита работ
			Собеседование практическая	217-220, 237-240, 252-253	Защита работ
			Кейс-задача	191, 195, 200-201	Уровневая шкала
			Собеседование (вопросы к зачету, экзамену)	310-313, 339-343, 359-360	Контроль преподавателем

### 3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

#### 3.1 Тесты (тестовые задания)

##### 3.1.1 ПКв-4 - Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции

№ задания	Тест (тестовое задание)
1.	Приведенное выражение является $\frac{y_{i+1} - y_i}{T_0}$ <b>правым конечно-разностным отношением первого порядка</b> левым конечно-разностным отношением первого порядка центральной конечно-разностным отношением первого порядка
2.	Приведенное выражение является $\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{T_0^2}$ конечно-разностным отношением первого порядка конечно-разностным отношением третьего порядка <b>конечно-разностным отношением второго порядка</b>
3.	Приведенное выражение является $y_i = a_1 y_{i-1} + a_2 y_{i-2} + b u_{i-1}$ конечно-разностным уравнением первого порядка с запаздыванием конечно-разностным уравнением третьего порядка без запаздывания <b>конечно-разностным уравнением второго порядка без запаздывания</b> конечно-разностным уравнением второго порядка с запаздыванием
4.	Выражение является формулой расчета $d = \frac{\tau}{T_0}$ Времени чистого запаздывания Постоянной времени <b>Целого числа тактов запаздывания</b> Параметр $T_0$ называется постоянной времени настроечным параметром регулятора

	<p>тактом квантования временем чистого запаздывания</p>
5.	<p>Приведенное выражение является <math>y_i = \sum_{j=1}^n a_j y_{i-j} + b u_{i-1-d}</math></p> <p>конечно-разностным уравнением первого порядка без запаздывания конечно-разностным уравнением первого порядка с запаздыванием <b>конечно-разностным уравнением n-го порядка с запаздыванием</b> конечно-разностным уравнением третьего порядка без запаздывания</p>
6.	<p>Приведенные выражения являются <math>a_1 = \frac{2T_2^2 + T_1^1 T_0 - T_0^2}{T_2^2 + T_1^1 T_0}</math> <math>a_2 = \frac{-T_2^2}{T_2^2 + T_1^1 T_0}</math> <math>b = \frac{kT_0^2}{T_2^2 + T_1^1 T_0}</math></p> <p>Формулами взаимосвязи коэффициентов дифференциального и соответствующего конечно-разностного уравнений первого порядка объекта <b>Формулами взаимосвязи коэффициентов дифференциального и соответствующего конечно-разностного уравнений второго порядка объекта</b> Формулами взаимосвязи коэффициентов дифференциального и соответствующего конечно-разностного уравнений второго порядка регулятора Формулами взаимосвязи коэффициентов дифференциального и соответствующего конечно-разностного уравнений первого порядка регулятора</p>
7.	<p>Разработка дискретной динамической модели объекта на основе экспериментально-статистического подхода по экспериментальным данным входа и выхода называется</p> <p>Оптимизацией <b>Идентификацией</b> Дискретизацией Инвариантностью</p>
8.	<p>Идентификация осуществляется на основе</p> <p>Метода градиента Принципа автономности <b>Метода наименьших квадратов</b> Принципа инвариантности</p>
9.	<p>Выражение является <math>u_i = u_{i-1} + q_0 e_i + q_1 e_{i-1} + q_2 e_{i-2}</math></p> <p>конечно-разностным уравнением ПИ закона регулирования конечно-разностным уравнением П закона регулирования <b>конечно-разностным уравнением ПИД закона регулирования</b> конечно-разностным уравнением И закона регулирования</p>
10.	<p>Приведенные выражения являются <math>q_0 = \frac{T_0 + T_d}{T_0} k_p</math> <math>q_1 = \frac{-T_0 T_u + T_0^2 - 2T_d T_0}{T_0 T_u} k_p</math> <math>q_2 = k_p \frac{T_d}{T_0}</math></p> <p>Уравнениями взаимосвязи дискретных и аналоговых настроечных параметров ПИ закона регулирования Уравнениями взаимосвязи дискретных и аналоговых параметров объекта управления <b>Уравнениями взаимосвязи дискретных и аналоговых настроечных параметров ПИД закона регулирования</b> Уравнениями взаимосвязи дискретных и аналоговых настроечных параметров П закона регулирования</p>
11.	<p>Процедура поиска настроек цифрового регулятора, обеспечивающих наилучший переходной процесс в системе, называется</p> <p><b>Оптимизацией</b> Дискретизацией Инвариантностью Идентификацией</p>
12.	<p>Оптимизация осуществляется на основе</p> <p>Метода наименьших квадратов Принципа автономности <b>Метода градиента</b> Принципа инвариантности</p>
13.	<p>Выражение является <math>\frac{\partial S}{\partial q_k} = 2 \sum ((y_i^3 - y_i) (-\frac{\partial y_i}{\partial q_k}))</math></p> <p>Формулой численного расчета интегральной квадратичной ошибки Начальными условиями при оптимизации регулятора в одноконтурной системе Условие окончания итерационной процедуры поиска оптимума Формулой расчета нормы градиента</p>

	<b>Частной производной интегральной квадратичной ошибки по настройке цифрового регулятора</b>
14.	<p>Выражение является <math>q_k^{l+1} = q_k^l - H_k^l \frac{\partial S^l}{\partial q_k} / \nabla^l</math></p> <p>Начальными условиями при оптимизации регулятора в одноконтурной системе  <b>Формулой расчета оптимальных значений настройки регулятора</b>          Формулой расчета нормы градиента          Системой квазианалитических рекуррентных зависимостей          Частной производной интегральной квадратичной ошибки по настройке цифрового регулятора</p>
15.	<p>Выражение является <math>H_k^l = \begin{cases} k_1 H_k^{l-1}, \frac{\partial S^l}{\partial q_k} \cdot \frac{\partial S^{l-1}}{\partial q_k} &gt; 0 \\ k_2 H_k^{l-1}, \frac{\partial S^l}{\partial q_k} \cdot \frac{\partial S^{l-1}}{\partial q_k} &lt; 0 \end{cases}</math></p> <p>Формулой численного расчета интегральной квадратичной ошибки  <b>Формулой расчета коэффициента шага</b>          Формулой расчета оптимальных значений настройки регулятора          Формулой расчета нормы градиента          Частной производной интегральной квадратичной ошибки по настройке цифрового регулятора</p>
16.	<p>Приведенное выражение является <math>\nabla^l &lt; \xi</math></p> <p>Формулой расчета оптимальных значений настройки регулятора          Формулой расчета нормы градиента  <b>Условие окончания итерационной процедуры поиска оптимума</b>          Системой квазианалитических рекуррентных зависимостей</p>
17.	<p>Оператор сдвига z используется для получения непрерывной передаточной функции  <b>дискретной передаточной функции</b>          конечно-разностного уравнения          квазианалитических рекуррентных зависимостей</p>
18.	<p>Выберите дискретную передаточную функцию, соответствующую приведенному конечно-разностному уравнению</p> $y_i = ay_{i-1} + bu_{i-1-d}$ <p>a) <math>W_0(z) = \frac{bz^{-1-d}}{1+az^{-1}}</math>    b) <math>W_0(z) = \frac{bz^{-1-d}}{1-a}</math>          c) <math>W_0(z) = \frac{bz^{-1-d}}{1-az^{-1}}</math>    d) <math>W_0(z) = \frac{bz^{-1-d}}{-1-az^{-1}}</math></p> <p>a b c d</p>
19.	<p>Выберите дискретную передаточную функцию, соответствующую приведенному конечно-разностному уравнению</p> $u_i = u_{i-1} + q_0 e_i + q_1 e_{i-1}$ <p>a) <math>W_p(z) = \frac{q_0 - q_1 z^{-1}}{1 - z^{-1}}</math>    b) <math>W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1}}{1 - z^{-1}}</math>          c) <math>W_p(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1}}{1 + z^{-1}}</math>    d) <math>W_p(z) = \frac{q_0 - q_1 z^{-1}}{1 + z^{-1}}</math></p> <p>a b c d</p>
20.	<p>Многоконтурные системы используются для объектов, характеризующихся существенной инерционностью          значительными возмущениями          малой инерционностью  <b>взаимосвязью регулируемых параметров</b>          отсутствием возмущений</p>
21.	Укажите формулу для расчета эквивалентного объекта каскадной системы регулирования

	$a) W_0^{\text{экв}} = \frac{W_p^1}{1 + W_p^1 W_0^1} \cdot W_0^2 \quad b) W_0^{\text{экв}} = \frac{W_p^1 W_0^1}{1 - W_p^1 W_0^1} \cdot W_0^2 :$ $c) W_0^{\text{экв}} = \frac{W_p^1 W_0^1}{1 + W_p^1 W_0^1} \quad d) W_0^{\text{экв}} = \frac{W_p^1 W_0^1}{1 + W_p^1 W_0^1} \cdot W_0^2$ <p>a b c d</p>
22.	<p>Выполняя структурные преобразования (свёртку) каскадную систему регулирования можно представить следующей эквивалентной системой:</p> <p><b>Одноконтурной системой</b> Комбинированной системой Несвязанной системой Связанной системой</p> <p>–</p>
23.	<p>Приведенная формула используется для расчета <math>W_k = -\frac{W_0^f}{W_0^u} :</math></p> <p>Автономного компенсатора перекрестных связей <b>Инвариантного компенсатора возмущений</b> Регулятора каскадной системы Эквивалентного объекта связанной системы</p>
24.	<p>Создание систем связанного регулирования заключается в:</p> <p><b>Устранении внутренних связей в объекте</b> Выборе объекта без перекрестных связей Введении дополнительных внешних компенсирующих связей между регуляторами</p> <p>–</p>
25.	<p>Какие подходы используются при расчете связанной системы:</p> <p>метод наименьших квадратов метод свертки одновременная оптимизация регуляторов и компенсаторов метод декомпозиции раздельная оптимизация регуляторов и компенсаторов метод диагонализации принцип инвариантности <b>на основе принципа автономности</b></p>
26.	<p>Приведенная система уравнений является</p> $\begin{cases} \bar{e} = \bar{y} - \bar{y} \\ \bar{u}^p = \bar{W}_p \cdot \bar{e} \\ \bar{u} = \bar{W}_k \cdot \bar{u}^p \\ \bar{y} = \bar{W}_0 \cdot \bar{u} \end{cases} :$ <p>Векторно-матричным описанием каскадной системы Векторно-матричным описанием одноконтурной системы Скалярным описанием комбинированной системы <b>Векторно-матричным описанием связанной системы</b> Скалярным описанием связанной системы Скалярным описанием несвязанной системы Векторно-матричным описанием несвязанной системы</p>
27.	<p>Укажите структуру матрицы передаточных функций регуляторов при использовании векторно-матричным описанием связанной системы регулирования</p> $a) \bar{W}_p = \begin{bmatrix} W_p^1 & W_p^2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad c) \bar{W}_p = \begin{bmatrix} W_p^1 & 0 \\ 0 & W_p^2 \end{bmatrix} :$ $b) \bar{W}_p = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ W_p^1 & W_p^2 \end{bmatrix} \quad d) \bar{W}_p = \begin{bmatrix} 0 & W_p^2 \\ W_p^1 & 0 \end{bmatrix} :$ <p>a</p>

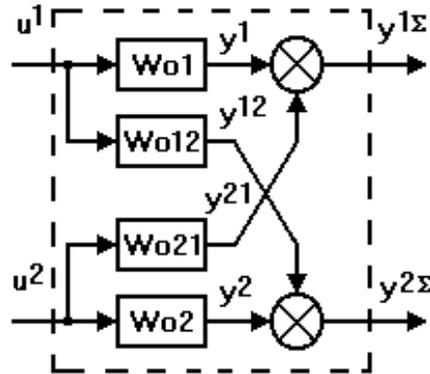
	b c d
28.	<p>Приведенное выражение является <math>\bar{y} = (I + \bar{W}_0 \bar{W}_k \bar{W}_p)^{-1} \cdot \bar{W}_0 \bar{W}_k \bar{W}_p \bar{y}^3</math> :</p> <p>Скалярным описанием комбинированной системы  Векторно-матричным описанием несвязанной системы  Скалярным описанием несвязанной системы  Векторно-матричным описанием каскадной системы  <b>Векторно-матричным описанием связанной системы</b>  Скалярным описанием связанной системы  Векторно-матричным описанием одноконтурной системы</p>
29.	<p>Приведённое выражение является <math>\bar{W}_k^{u,asm} = -(\bar{W}_0^{u,asm})^{-1} \bar{W}_0^{u,asm}</math> :</p> <p>Скалярным описанием несвязанной системы  Скалярным описанием комбинированной системы  Скалярным описанием связанной системы  Векторно-матричным описанием несвязанной системы  Векторно-матричным описанием каскадной системы  <b>Векторно-матричной формулой расчета автономных компенсаторов связанной системы</b></p>

### 3.2 Кейс-задачи (задания) к зачету, экзамену

**ПКв-4** - Разработка новых технологий и средств автоматизации и робо-тизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции

Индекс компетенции	№ задания	Условие задачи (формулировка задания)
ПК-2	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><math>mc</math> - переменная, принимающая наибольшее значение из порядков разностных уравнений моделей каналов объекта (в данном случае <math>mc=2</math>)</p> <p>Расчет динамики проводится при следующих начальных условиях:</p> $y_i^3 = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ y^3 & \text{при } i \geq mc \end{cases}, \quad y^3 - \text{ величина задающего воздействия};$ $u_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}; \quad u_i^1 = 0, \quad i = \overline{1, mc-1}; \quad y_i^1 = 0, \quad i = \overline{1, mc+d1};$ $y_i^2 = 0, \quad i = \overline{1, mc+d1+d2+1}.$
ПК-2	02	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)

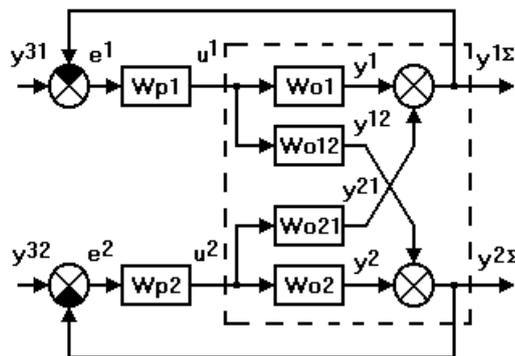


$$\begin{aligned}
 y_{i+d1+1}^1 &= a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^1, \\
 y_{i+d12+1}^{12} &= a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^1, \\
 y_{i+d2+1}^2 &= a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^2 + b_2^2 u_{i-1}^2, \\
 y_{i+d21+1}^{21} &= a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^2, \\
 y_{i+d1+1}^{1\Sigma} &= y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21}, \\
 y_{i+d2+1}^{2\Sigma} &= y_{i+d2+1}^2 + y_{i+d2+1}^{12},
 \end{aligned}$$

ПК-2

03

Составить структурную схему и записать систему 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)



$$\begin{aligned}
 u_i^1 &= u_{i-1}^1 + q_0^1 (y_i^{31} - y_i^{1\Sigma}) + q_1^1 (y_{i-1}^{31} - y_{i-1}^{1\Sigma}) + q_2^1 (y_{i-2}^{31} - y_{i-2}^{1\Sigma}), \\
 u_i^2 &= u_{i-1}^2 + q_0^2 (y_i^{32} - y_i^{2\Sigma}) + q_1^2 (y_{i-1}^{32} - y_{i-1}^{2\Sigma}) + q_2^2 (y_{i-2}^{32} - y_{i-2}^{2\Sigma}), \\
 y_{i+d1+1}^1 &= a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^1, \\
 y_{i+d12+1}^{12} &= a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^1, \\
 y_{i+d2+1}^2 &= a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^2 + b_2^2 u_{i-1}^2, \\
 y_{i+d21+1}^{21} &= a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^2, \\
 y_{i+d1+1}^{1\Sigma} &= y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21},
 \end{aligned}$$

<p>ПК-2</p>	<p>04</p>	<p style="text-align: center;"><math>y_{i+d+1}^{2\Sigma} = y_{i+d+1}^2 + y_{i+d+1}^{12}</math></p> <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> <div style="text-align: center;"> </div> $u_i = u_{i-1} + q_0(y_i^3 - y_i) + q_1(y_{i-1}^3 - y_{i-1}),$ $u_{k_i} = q_0^x(-x_i) + q_1^x(-x_{i-1}),$ $u_{\Sigma i} = u_i + u_{k_i},$ $y_{i+d+1} = a_1 y_{i+d} + a_2 y_{i+d-1} + b u_{\Sigma i},$ $y_{i+dx}^x = a_1^x y_{i+dx}^x + b^x x_i,$ $y_{i+d+1}^\Sigma = y_{i+d+1} + y_{i+d+1}^x,$ <p>Расчет проводится при нулевых начальных условиях:</p> $y_i^3 = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ y^3 & \text{при } i \geq mc \end{cases}; x_i = \begin{cases} 0 & \text{при } i < mc \\ x & \text{при } i = mc \\ 0 & \text{при } i > mc \end{cases},$ <p>где <math>y^3, x</math> - величины входных воздействий (ступенчатого и импульсного); <math>mc</math> - переменная, принимающая наибольшее значение из порядков (<math>mc=2</math>);</p> $u_i = 0, u_{k_i} = 0, u_{\Sigma i} = 0, i = \overline{1, mc-1};$ $y_i = 0, i = \overline{1, mc+d}; y_i^x = 0, i = \overline{1, mc+dx};$ $y_i^\Sigma = 0, i = \overline{1, mc+d},$ <p><math>\bar{d}</math> - наименьшее число тактов чистого запаздывания из <math>d</math> и <math>dx</math></p>
<p>ПК-2</p>	<p>05</p>	<p>Получить вывод разностного уравнения из аналогового ПИД – закона регулирования</p> $u(t) = k_p \left( e(t) + \frac{1}{T_{уз}} \int_0^t e(t) dt + T_{np} \frac{de(t)}{dt} \right)$ $\frac{du(t)}{dt} = k_p \left( \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_{уз}} e(t) + T_{np} \frac{d^2 e(t)}{dt^2} \right)$ <p>Производные <math>\frac{du(t)}{dt}, \frac{de(t)}{dt}, \frac{d^2 e(t)}{dt^2}</math> заменим конечными разностями:</p> $\frac{u_{i+1} - u_i}{T_0} = k_p \left( \frac{e_{i+1} - e_i}{T_0} + \frac{1}{T_{уз}} e_i + T_{np} \frac{e_{i+1} - 2e_i + e_{i-1}}{T_0^2} \right).$ <p>После преобразований получаем рекуррентное разностное уравнение</p>

		<p>ПИД-регулятора:</p> $u_i = u_{i-1} + q_0 e_i + q_1 e_{i-1} + q_2 e_{i-2},$ <p>где <math>q_0 = k_p \left(1 + \frac{T_{np}}{T_0}\right)</math>; <math>q_1 = -k_p \left(1 + 2 \frac{T_{np}}{T_0} - \frac{T_0}{T_{уз}}\right)</math>;</p> $q_2 = k_p \frac{T_{np}}{T_0}.$
ПК-3	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> $u_N = u_{N-1} + q_0 + q_1 + q_2 = (N-2)q_0 + (N-3)q_1 + (N-4)q_2.$
ПК-3	07	<p>Привести расчёт переходного процесса по заданию цифровой одноконтурной 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> $u_N = u_{N-1} + q_0 (y_N^3 - y_N) + q_1 (y_{N-1}^3 - y_{N-1}),$ $y_{N+d+1} = a_1 y_{N+d} + a_2 y_{N+d-1} + b u_N.$
ПК-3	08	<p>Получить выражения квазианалитических производных разностных уравнений регулятора и канала объекта по настройкам цифрового регулятора первого порядка, модель объекта – уравнение второго порядка с запаздыванием. Показать нулевые</p>

		<p>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 <math>\frac{\partial y_i}{\partial q_0}, \frac{\partial y_i}{\partial q_1}</math>, 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> $\frac{\partial u_i}{\partial q_0} = 0, \quad i = \overline{1, mc - 1}, \quad \frac{\partial u_i}{\partial q_1} = 0, \quad i = \overline{1, mc - 1},$ $\frac{\partial y_i}{\partial q_0} = 0, \quad i = \overline{1, mc + d}, \quad \frac{\partial y_i}{\partial q_1} = 0, \quad i = \overline{1, mc + d}.$
ПК-3	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> $W_o^{экв}(z) = \frac{y^2(z)}{u^2(z)} = \frac{W_p^1(z)W_o^1(z)}{1 - W_p^1(z)W_o^1(z)} W_o^2(z)$ $W_p^1(z) = \frac{u^1(z)}{e^1(z)} = \frac{q_0 + q_1 z^{-1}}{1 - z^{-1}} = \frac{Q^1(z)}{P^1(z)},$ $W_o^1(z) = \frac{y^1(z)}{u^1(z)} = \frac{b^1 z^{-d1-1}}{1 - a_1^1 z^{-1} - a_2^1 z^{-2}} = \frac{B^1(z)}{A^1(z)},$ $W_o^2(z) = \frac{y^2(z)}{y^1(z)} = \frac{b^2 z^{-d2-1}}{1 - a_1^2 z^{-1} - a_2^2 z^{-2}} = \frac{B^2(z)}{A^2(z)},$ <p>где <math>Q^1(z), P^1(z), B^1(z), A^1(z), B^2(z), A^2(z)</math> - полиномы.</p> <p>Подставляем передаточные функции объекта внутреннего, внешнего контура и регулятора внутреннего контура в эквивалентную передаточную функцию:</p>

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

После подстановки полиномов и проведения аналитических преобразований получим:

$$W_O^{экв}(z) = \frac{y^2(z)}{u^2(z)} = \frac{\alpha_1 z^{-d_1-d_2-2} + \alpha_2 z^{-d_1-d_2-3}}{1 - \beta_1 z^{-1} - \beta_2 z^{-2} - \beta_3 z^{-3} - \beta_4 z^{-4} - \beta_5 z^{-5} - \beta_6 z^{-d_1-1} - \beta_7 z^{-d_1-2} - \beta_8 z^{-d_1-3} - \beta_9 z^{-d_1-4}} \quad (3.75)$$

где  $\alpha_1 = q_0^1 b^1 b^2$ ;  $\alpha_2 = q_1^1 b^1 b^2$ ;  $\beta_1 = a_1^1 + a_1^2 + 1$ ;  
 $\beta_2 = a_2^1 - a_1^1 - a_1^2 a_1^1 - a_2^2$ ;  $\beta_3 = a_2^1 - a_1^2 a_2^1 + a_1^2 a_1^1 - a_2^2 a_1^1 - a_2^2$ ;  
 $\beta_4 = a_1^2 a_2^1 - a_2^2 a_2^1 + a_2^2 a_1^1$ ;  $\beta_5 = a_2^2 a_2^1$ ;  $\beta_6 = q_0^1 b^1$ ;  
 $\beta_7 = q_1^1 - a_1^2 q_0^1 b^1$ ;  $\beta_8 = -a_1^2 q_1^1 - a_2^2 q_0^1 b^1$ ;  $\beta_9 = -a_2^2 q_1^1$ .

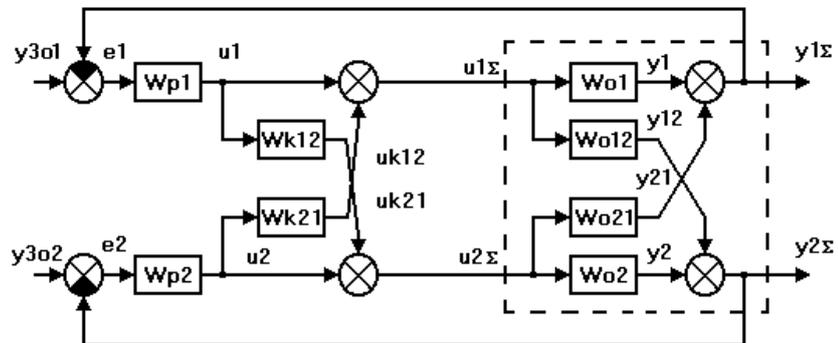
Используя обратное преобразование  $z$ , находим разностное уравнение эквивалентного объекта:

$$y_{i+d_1+d_2+2}^2 = \beta_1 y_{i+d_1+d_2+1}^2 + \beta_2 y_{i+d_1+d_2}^2 + \beta_3 y_{i+d_1+d_2-1}^2 + \beta_4 y_{i+d_1+d_2-2}^2 + \beta_5 y_{i+d_1+d_2-3}^2 + \beta_6 y_{i+d_2+1}^2 + \beta_7 y_{i+d_2}^2 + \beta_8 y_{i+d_2-1}^2 + \beta_9 y_{i+d_2-2}^2 + \alpha_1 u_i^2 + \alpha_2 u_{i-1}^2$$

ПК-3

10

Составить структурную схему и записать систему 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)



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

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

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

$$uk_i^{21} = uk_{i-1}^{21} + q_0^{21} (-u_i^2) + q_1^{21} (-u_{i-1}^2) + q_2^{21} (-u_{i-2}^2),$$

	$u_i^{1\Sigma} = u_i^1 + uk_i^{21},$ $u_i^{2\Sigma} = u_i^2 + uk_i^{12},$ $y_{i+d1+1}^1 = a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1-1}^1 + b^1 u_i^{1\Sigma},$ $y_{i+d12+1}^{12} = a_1^{12} y_{i+d12}^{12} + b^{12} u_i^{1\Sigma},$ $y_{i+d2+1}^2 = a_1^2 y_{i+d2}^2 + b_1^2 u_i^{2\Sigma} + b_2^2 u_{i-1}^{2\Sigma},$ $y_{i+d21+1}^{21} = a_1^{21} y_{i+d21}^{21} + a_2^{21} y_{i+d21-1}^{21} + a_3^{21} y_{i+d21-2}^{21} + b^{21} u_i^{2\Sigma},$ $y_{i+d1+1}^{1\Sigma} = y_{i+d1+1}^1 + y_{i+d1+1}^{21},$ $y_{i+d2+1}^{2\Sigma} = y_{i+d2+1}^2 + y_{i+d2+1}^{12},$
--	--

### 3.3 Вопросы к собеседованию при защите отчетов по практическим работам (текущие опросы)

#### 3.3.1 ПКв-4 - Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции

Индекс компетенции	Формулировка задания
30.	Уравнение материального баланса в равновесном состоянии.
31.	Уравнение материального баланса в переходном режиме.
32.	Уравнение теплового баланса в равновесном состоянии.
33.	Уравнение теплового баланса в переходном режиме.
34.	Линеаризация дифференциального уравнения
35.	Переход от абсолютных величин физических параметров к приращениям при разработке математической модели объекта управления.
36.	Переход от приращений физических параметров к безразмерным величинам при разработке математической модели объекта управления.
37.	Что представляют собой безразмерные величины при разработке математической модели объекта управления.
38.	Как выбирают базисные значения величин при разработке модели объекта.
39.	Уравнение материального баланса в равновесном состоянии для смесителя.
40.	Уравнение материального баланса в переходном режиме для смесителя.
41.	Уравнение материального баланса в равновесном состоянии для емкости под давлением.
42.	Уравнение материального баланса в переходном режиме для емкости под давлением.
43.	Уравнение теплового баланса в равновесном состоянии для поверхностного теплообменника.
44.	Уравнение теплового баланса в переходном режиме для поверхностного теплообменника.
45.	По дифференциальному уравнению записать передаточные функции объекта по каждому входу (каналу).
46.	По передаточной функции составить структурную схему объекта.
47.	По полученному дифференциальному уравнению записать зависимости коэффициентов уравнения от физико-химических параметров процесса и характеристик аппаратов.
48.	Как по виду графика переходного процесса определить порядок объекта?
49.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления устойчивого объекта первого порядка?
50.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления устойчивого объекта второго порядка?
51.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления устойчивого объекта третьего порядка?
52.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления устойчивого объекта четвертого порядка?
53.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления устойчивого объекта пятого порядка?
54.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления нейтрального объекта первого порядка?
55.	Как по графику переходного процесса определить постоянную времени, время запаздывания и коэффициент усиления нейтрального объекта второго порядка?

56.	Как по описанию объекта определить необходимую схему регулирования?
57.	Как по описанию объекта выбрать закон регулирования?
58.	Как по описанию объекта определить настройки закона регулирования?
59.	Какие приближенные модели объектов используются при графоаналитическом методе расчета закона регулирования?
60.	Назовите типовые переходные процессы систем регулирования.
61.	От чего зависит переходной процесс в системе автоматического регулирования?
62.	Какие подходы существуют к определению свойств объектов?
63.	Какие подходы используются для определению свойств простых объектов?
64.	Какие подходы используются для определению свойств сложных объектов?
65.	Какие показатели качества используются при выборе закона регулирования?
66.	Поясните порядок выбора закона регулирования?
67.	Что такое динамический коэффициент регулирования в системах с устойчивыми объектами?
68.	Что такое динамический коэффициент регулирования в системах с нейтральными объектами?
69.	Как выбирают величину амплитуды входного ступенчатого воздействия $x_B$ ?
70.	С какого регулятора начинают проверку для систем регулирования с нейтральным объектом?
71.	Для систем с каким регулятором проверяют величину статической ошибки?
72.	Какими свойствами обладают системы автоматического регулирования с И-регуляторами?
73.	Какими свойствами обладают системы автоматического регулирования с П-регуляторами?
74.	Какими свойствами обладают системы автоматического регулирования с ПИ-регуляторами?
75.	Какими свойствами обладают системы автоматического регулирования с ПИД-регуляторами?
76.	Приведите схему выбора регулятора для систем с устойчивыми объектами.
77.	Приведите схему выбора регулятора для систем с нейтральными объектами.
78.	Область применения П-регулятора.
79.	Область применения И-регулятора.
80.	Область применения ПИ-регулятора.
81.	Область применения ПИД-регулятора.

### **3.4 Вопросы к собеседованию при защите отчетов по лабораторным работам (текущие опросы)**

#### **3.4.1 ПКв-4 - Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции**

№ вопроса	Формулировка задания
82.	Приведите схему учебно-исследовательской лабораторной установки автоматизации технологических параметров процесса.
83.	Назовите составные элементы технологической части учебно-исследовательской лабораторной установки.
84.	Назовите технические средства измерения температуры, используемые в учебно-исследовательской лабораторной установке. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
85.	Назовите технические средства измерения расхода, используемые в учебно-исследовательской лабораторной установке. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
86.	Назовите технические средства измерения уровня, используемые в учебно-исследовательской лабораторной установке. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
87.	Назовите технические средства измерения давления, используемые в учебно-исследовательской лабораторной установке. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
88.	Назовите устройства связи объекта приборной части учебно-исследовательской лабораторной установки. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
89.	Назовите регуляторы приборной части учебно-исследовательской лабораторной установки. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
90.	Назовите программируемые логические контроллеры приборной части учебно-исследовательской лабораторной установки. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.

91.	Назовите исполнительные устройства приборной части учебно-исследовательской лабораторной установки. Опишите принцип их работы. Назовите технические характеристики.
92.	Аппаратно-независимая система программирования контроллеров CoDeSys? Назначении и краткая характеристика.
93.	Программные компоненты и ресурсы CoDeSys.
94.	Создание проекта в CoDeSys.
95.	Разработка приложения в CoDeSys.
96.	Добавление в CoDeSys модулей опроса и записи по протоколу ModBus.
97.	Формирование канала опроса в CoDeSys.
98.	Архивирование данных в CoDeSys.
99.	Построение графиков трендов измеряемых параметров в CoDeSys.
100.	Реализация закона регулирования в CoDeSys системными средствами.
101.	Реализация закона регулирования в CoDeSys путем написания собственной программы.
102.	Разработка функционального блока (POU).
103.	Операторы языка программирования ST.
104.	Инициализация функционального блока (POU).
105.	Запись разработанного проекта в устройство (ПЛК или СПК).
106.	Стандартные подзадачи при создании графического пользовательского интерфейса (визуализации) для контроллера СПК207 в среде CoDeSys v3.5.
107.	Графические элементы используемые при создании графического пользовательского интерфейса (визуализации) для контроллера СПК207 в среде CoDeSys v3.5.
108.	Основные этапы визуализации.
109.	Изменение свойств графических элементов, используемых при создании графического пользовательского интерфейса (визуализации) для контроллера СПК207 в среде CoDeSys v3.5.
110.	Связь переменных проекта с графическими элементами.

### 3.5 Вопросы к зачету, экзамену

#### 3.5.1 ПКв-4 - Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции

№ вопроса	Формулировка задания
111.	Понятие АСУТП. Назначение, функции.
112.	Классификация АСУТП.
113.	Режимы работы АСУТП.
114.	Подсистемы АСУТП. Назначение, функции.
115.	Типовые схемы автоматизированного регулирования процессов перемещения жидкостей.
116.	Типовые схемы автоматизированного регулирования процессов перемещения газов.
117.	Типовые схемы автоматизированного регулирования процессов разделения и щистки неоднородных систем.
118.	Типовые схемы автоматизированного регулирования тепловых процессов. Теплообменник смешения.
119.	Типовые схемы автоматизированного регулирования тепловых процессов. Поверхностный теплообменник.
120.	Типовые схемы автоматизированного регулирования тепловых процессов. Конденсаторы.
121.	Типовые схемы автоматизированного регулирования тепловых процессов. Трубчатые печи.
122.	Типовые схемы автоматизированного регулирования тепловых процессов. Выпарная установка.
123.	Типовые схемы автоматизации массообменных процессов. Абсорбция.
124.	Типовые схемы автоматизации массообменных процессов. Абсорбция-десорбция.
125.	Типовые схемы автоматизации массообменных процессов. Ректификация.
126.	Типовые схемы автоматизации массообменных процессов. Экстракция.
127.	Типовые схемы автоматизации массообменных процессов. Сушка.
128.	Типовые схемы автоматизации реакторных процессов.
129.	Автоматизация производства аммиачной селитры.
130.	Автоматизация производства бутадиена из бутана.
131.	Автоматизация основных процессов производства хлеба.
132.	Автоматизация основных процессов производства сахара.
133.	Автоматизация основных процессов производства молочных продуктов.
134.	Автоматизация основных процессов производства мясных продуктов.
135.	Одноконтурные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные эле-

	менты.
136.	Каскадные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
137.	Комбинированные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
138.	Несвязные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
139.	Связные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
140.	Адаптивные системы регулирования. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
141.	Системы регулирования низкой чувствительности. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
142.	Системы регулирования объектов с запаздыванием. Назначение. Структурная схема. Составные элементы.
143.	Виды математических описаний объектов химической и пищевой промышленности.
144.	Свойства объектов химической и пищевой промышленности.
145.	Подходы к составлению математического описания объектов химической и пищевой промышленности.
146.	Основные характеристики объектов химической и пищевой промышленности.
147.	Составление математического описания объекта на основе аналитического (детерминированного) подхода на примере смесителя постоянного объема.
148.	Составление математического описания объекта на основе аналитического (детерминированного) подхода на примере аппарата с газом под давлением.
149.	Составление математического описания объекта на основе аналитического (детерминированного) подхода на примере поверхностного теплообменника.
150.	Составление математического описания объекта на основе аналитического (детерминированного) подхода на примере химического реактора непрерывного действия.
151.	Получение временных характеристик на основе экспериментального подхода.
152.	Аппроксимация переходных (временных) характеристик объекта
153.	Измерительные преобразователи и приборы измерения температуры. Математическое описание.
154.	Измерительные преобразователи и приборы измерения давления. Математическое описание.
155.	Измерительные преобразователи и приборы измерения уровня жидкости. Математическое описание.
156.	Измерительные преобразователи и приборы измерения расхода и количества вещества. Математическое описание.
157.	Измерительные преобразователи и приборы измерения состава и концентрации вещества. Математическое описание.
158.	Преобразователи. Математическое описание.
159.	Автоматические регуляторы. Классификация. Описание и характеристики.
160.	Исполнительные устройства. Виды и характеристики.
161.	Составление математического описания и исследование автоматических систем регулирования объектов химической и пищевой технологии.
162.	Выбор типа автоматического регулятора и определение параметров его настройки
163.	Расчет исполнительных устройств
164.	Схема расчета систем стабилизации.
165.	Разработка математической дискретной динамической модели ОУ. Виды и подходы к построению моделей.
166.	Синтез математической модели с использованием экспериментально-статистического подхода. Определения.
167.	Снятие временных характеристик.
168.	Аппроксимация переходных процессов. Замена производных КРО (формула Эйлера). Переход от дифференциальных уравнений к конечно-разностным. КРО для третьей и четвертой производных.
169.	Получение конечно-разностных уравнений типовых динамических звеньев (усилительное звено, звено запаздывания, апериодическое звено первого порядка с запаздыванием и без запаздывания, апериодическое (колебательное, консервативное) звено второго порядка с запаздыванием и без запаздывания). Ограничения на параметры.
170.	Получение конечно-разностных уравнений типовых динамических звеньев (интегрирующее и дифференцирующее реальное и идеальное, звенья третьего и четвертого порядков). Ограничения на параметры.
171.	Расчет переходных процессов объекта управления по дискретной динамической модели объекта. Начальные условия в общем виде и на примере конкретного уравнения.

172.	Параметрическая идентификация дискретной динамической модели методом наименьших квадратов. Общий случай и на примере конкретного звена.
173.	Получение конечно-разностных уравнений цифровых регуляторов и области допустимых изменений параметров (П, И, Д, ПД, ПИД, ПИ). Задание начальных условий и построение их переходных характеристик. Уравнение цифрового регулятора и начальные условия в общем виде.
174.	Расчет переходных процессов в замкнутой цифровой системе регулирования по задающему и возмущающему воздействию. Начальные условия. В общем виде и на конкретном примере.
175.	Алгоритм оптимизации настроек цифрового регулятора. Укрупненная схема алгоритма поиска оптимальных настроек цифрового регулятора.
176.	Использование z-преобразования для описания дискретных систем.
177.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу декомпозиции по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
178.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Каскадные системы регулирования. Общие положения. Подходы к настройке. Алгоритм оптимизации по методу свертки по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
179.	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.
180.	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.
181.	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.
182.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
183.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы несвязанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
184.	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.
185.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
186.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы связанного регулирования. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм одновременной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
187.	Синтез многоконтурных ЦСУ. Системы регулирования объектами со связанными параметрами. Общие положения. Подходы к расчету. Алгоритм последовательной оптимизации по критерию интегральной квадратичной ошибки с использованием квазианалитических рекуррентных зависимостей.
188.	Расчет показателей качества регулирования (интегральная квадратичная ошибка, время регулирования, статическая ошибка, перерегулирование, коэффициент затухания).

### 3.6 Курсовая работа

3.6.1 ПКв-4 - Разработка новых технологий и средств автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой и химической продукции

#### Примерная тематика 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.

#### **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 Положение о курсовых, экзаменах и зачетах;
- П ВГУИТ 4.1.02 Положение о рейтинговой оценке текущей успеваемости

Для оценки знаний, умений, навыков студентов по дисциплине **«Цифровые многомерные системы управления»** применяется бально-рейтинговая система оценки студента.

**1. Рейтинговая система** оценки осуществляется в течение всего семестра при проведении аудиторных занятий, показателем ФОС является текущий опрос в виде собеседования и сдачи реферата по предложенной преподавателем теме, за каждый правильный ответ магистрант получает 5 баллов (зачтено - 5, незачтено - 0), реферат оценивается по системе «зачтено»-«незачтено». Максимальное число баллов по результатам текущей работы в семестре 50.

**2. Бальная система** служит для получения зачета по дисциплине.

Максимальное число баллов за семестр – 100.

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

Максимальное число баллов на зачете – 50.

Минимальное число баллов за текущую работу в семестре – 30.

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

Магистрант, 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 зачета, однако ему дополнительно задаются вопросы на собеседовании по разделам, выносимым на зачет.

В случае неудовлетворительной сдачи зачета студенту предоставляется право повторной сдачи в срок, установленный для ликвидации академической задолженности по итогам соответствующей сессии. При повторной сдаче зачета количество набранных студентом баллов на предыдущем 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. Матрица соответствия результатов обучения, показателей, критерием и шкал оценки

Результаты обучения по этапам формирования компетенций	Предмет оценки (продукт или процесс)	Показатель оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	Шкала оценивания	
				Академическая оценка или баллы	Уровень освоения компетенции
<b>ПКе-4 - Разработка новых технологий и средств механизации, автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой продукции</b>					
<b>Знать</b> мехатронные и робототехнические системы; принципы действия и конструкции устройств технических средств и систем автоматизации и роботизации; алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем механизации, автоматизации и роботизации	Тест	знание мехатронных и робототехнических систем; принципы действия и конструкции устройств технических средств и систем автоматизации и роботизации	90 и выше	отлично	Освоена (повышенный)
			от 75 до 89,99	хорошо	Освоена (повышенный)
			60 до 74,99	удовлетворительно	Освоена (базовый)
			менее 60	неудовлетворительно	Не освоена (недостаточный)
	Собеседование (защита лабораторных работ)	Умение применять измерительные устройства для контроля технологических параметров	обучающийся выполнял роль наблюдателя при выполнении работы, не внес вклада в обработку результатов эксперимента, не защитил лабораторную работу	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
			обучающийся грамотно разобрался в ситуации, выявил причины случившейся ситуации, предложил несколько альтернативных вариантов выхода из сложившейся ситуации	Зачтено	Освоена (повышенный)
<b>Уметь</b> организовать и проводить экспериментальные исследования на действующих мехатронных и робототехнических системах; проектировать технические средства и системы механизации, автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой продукции; разрабатывать алгоритмическое и программное обеспечение средств и систем механизации, автоматизации и роботизации	Собеседование (ЛР, ПЗ)	Умение использовать современную контрольно-измерительную технику для контроля качества продукции и метрологического обеспечения	обучающийся активно участвовал в выполнении работы, получил и обработал результаты эксперимента, проанализировал их, допустил не более 5 ошибок в ответах на вопросы при защите лабораторной работы	Зачтено	Освоена (базовый, повышенный)
			обучающийся выполнял роль наблюдателя при выполнении работы, не внес вклада в обработку результатов эксперимента, не защитил лабораторную работу	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
	Кейс-задание	Решение кейс-задание	обучающийся грамотно решил кейс-задания, но допустил одну ошибку	Зачтено	Освоена (повышенный)
			обучающийся правильно решил кейс-задания, но допустил две ошибки	Зачтено	Освоена (повышенный)
			обучающийся предложил вариант решения кейс-задания, ответил не на все вопросы, но в тех, на которые дал ответ, не допустил ошибки	Зачтено	Освоена (базовый)
			обучающийся не предложил вариантов решения кейс-задания, в ответе допустил более пяти ошибок	Не зачтено	Не освоена (недостаточный)
	Собеседование Курсовая работа	Ответы на вопросы	обучающийся ответил на все вопросы, но допустил одну ошибку	отлично	Освоена (повышенный)
			обучающийся правильно ответил на все вопросы, но допустил две ошибки	хорошо	Освоена (повышенный)

механизации, автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой продукции; навыками составления описания принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем механизации, автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой продукции; навыками разработки алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и роботизации промышленных линий по производству пищевой продукции			обучающийся ответил не на все вопросы, но в тех, на которые дал ответ, не допустил ошибки	удовлетворительно	Освоена (базовый)
			обучающийся в ответе допустил более пяти ошибок	неудовлетворительно	Не освоена (недостаточный)