

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО
ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ
КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по модулю

**«ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ»**

направление

**«ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В
УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»**

ТАШКЕНТ -2019

Данный учебно-методический комплекс разработан на основании учебного плана и программы утвержденного приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 1023 от 2 ноября 2019 года

Разработали: Сиддиков И.Х. – д.т.н., проф. кафедры «Системы обработки информации и управления» ТГТУ
Измайлова Р.Н. – ст.пр. кафедры «Системы обработки информации и управления» ТГТУ

Рецензент: Дж. Мухиддинов – д.т.н., профессор

.\

Данный учебно-методический комплекс рекомендован к изданию Советом Ташкентского государственного технического университета (протокол №1 от 24 сентября 2019 года)

СОДЕРЖАНИЕ

I.	Рабочая программа	4
II.	Интерактивные методы обучения, используемые в модуле....	9
III.	Теоретические материалы.....	13
IV.	Практические материалы.....	34
V.	Банк кейсов	69
VI.	Глоссарий	71
VII.	Список литературы	76

I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Введение

Программа составлена на основе указа ПФ-4732 от 12 июня 2015 года Президентом Республики Узбекистан «О мерах улучшения системы переподготовки и повышения квалификации руководящих и педагогических кадров высших учебных заведений», цель которой является улучшение, переподготовка и суть процесса повышения квалификации на основе современных требований, а так же поставленная задача регулярно повышать профессиональную компетентность педагогических кадров высших учебных заведений.

Рабочая программа помогает системно увеличить качество образования. Отдельное внимание обосновывается формированием знаний, умений и навыков применения современных информационных технологий и педагогических программных средств, информационно-коммуникационных технологий в процессе учебно-воспитательной деятельности.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ МОДУЛЯ

Цель и задача модуля «Цифровые системы управления технологическими процессами» формирует у слушателя теоретические знания, практические навыки, методический подход к событиям и процессам, а также научное мировоззрение.

Требования, предъявляемые к знаниям, умениям и навыкам по модулю

Слушатель в процессе изучения учебной дисциплины «Цифровые системы управления технологическими процессами» должен:

иметь представление о:

- роль автоматизированного управление в управлении технологических процессов;
- разделить по частям производственный процесс

знать и применять:

- общие задачи управления;
- характеристики система управления;
- способы управления технологических процессов;
- построение математических моделей система управления;
- многомерные объекты управления;
- решать задачи устойчивости, наблюдаемости и управляемости в многомерных систем управление;
- многосвязные объекты управление;

иметь навыки:

- общую структуру современных система управлений в управлений технологических процессов и производств.
- выполнить сбор алгоритмов управление и информации;
- построение структурных и функциональных схем технологических процессов и производств.

Рекомендации по организации и проведения модуля

Модуль «Цифровые системы управления технологическими процессами» проводится в виде лекций и практических занятий.

В процессе обучения модуля предусмотрены применение современных методов образования, педагогических технологий и информационно-коммуникационных технологий:

- презентационные и электронно-дидактические технологии с помощью современных компьютерных технологий при проведении лекционных занятий;
- при проведении практических занятий предусмотрены применение технических средств, экспресс-запросов, тестов, опросов, а также применение интерактивных методов “Мозговой штурм”, “Таблица SWOT”, “Кейс-стади” и др.

Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями

Изучение модуля «Цифровые системы управления технологическими процессами» базируется на основе модуля «Технологические измерения и приборы», «Автоматизация технологических процессов» и «Теория управления».

Роль модуля в системе высшего образования

Происходящие коренные изменения в системе образования, особенно научно-техническое развитие определяет роль модуля «Цифровые системы управления технологическими процессами» в системе высшего образования.

Организация эффективного и плодотворного образования путем создания новых инновационных технологий обучения дисциплин направления модуля «Цифровые системы управления технологическими процессами» и их применения в системе образования помогает системно увеличить качество образования. Отдельное внимание обосновывается формированием знаний, умений и навыков применения современных информационных технологий и педагогических программных средств, информационно-коммуникационных технологий в процессе учебно-воспитательной деятельности.

Распределение часов по модулю

№	Темы	Учебная нагрузка, час					
		Общие	Итого	Аудиторная учебная нагрузка			Самостоятельная работа
				Теоретические	Практические	Внеаудиторное	
1.	Современное состояние цифровых систем автоматике.	4	4	2	2		
2.	Влияние на качество управления типов квантования.	4	4	2	2		
3.	Устойчивость и синтез цифровых систем автоматике.	8	8	2	2	4	
Общие		16	16	6	6	4	

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

1-тема: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ.

Введение. Технологические процессы, понятие об объекте. Структура технологической линии. Алгоритмы агрегатирования элементов производственных линий.

2-тема: ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТИПОВ КВАНТОВАНИЯ.

Рассмотрение свойства технологического процесса в качестве объекта алгоритмизации. Многоуровневые системы управления. Особенности алгоритмизации многоуровневых систем управления.

3-тема. Устойчивость и синтез цифровых систем автоматики.

Принцип декомпозиции в автономных системах. Синтез систем автономного управления на основе принципа декомпозиции.

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие: ПРИМЕРЫ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ.

Технологические процессы, понятие об объекте. Структура технологической линии. Алгоритмы агрегатирования элементов производственных линий.

2-практическое занятие: ТИПЫ КВАНТОВАНИЯ И СПОСОБЫ ИХ ЗАДАНИЯ.

Рассмотрение свойства технологического процесса в качестве объекта алгоритмизации. Многоуровневые системы управления. Особенности алгоритмизации многоуровневых систем управления.

3-практическое занятие: КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.

Принцип декомпозиции в автономных системах. Синтез систем автономного управления на основе принципа декомпозиции.

ВЫЕЗДНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Тема: Устойчивость и синтез цифровых систем автоматики.

Знакомство слушателей с организацией управления технологическими процессами на объектах «Химвавтоматике»

Формы обучения

Форма обучения отражает такие внешние стороны учебного процесса, как способ его существования: порядок и режим; способ организации обучения: лекция, семинар, самостоятельная работа и пр; способ организации совместной деятельности обучающего и обучающихся: фронтальная, коллективная, групповая, индивидуальная.

При обучении важным является выбор формы организации учебной деятельности участников:

- Коллективная – коллективное, совместное выполнение общего учебного задания всеми студентами. Характер полученного результата: итог коллективного творчества.
- Групповая – совместное выполнение единого задания в малых группах. Характер полученного результата: итог группового сотрудничества на основе вклада каждого.
- Индивидуальная – индивидуальное выполнение учебного задания. Характер полученного результата: итог индивидуального творчества. Обычно предшествует групповой работе.

II. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЕ

Интерактивная лекция

Интерактивная лекция представляет собой выступление преподавателя перед аудиторией с применением следующих интерактивных форм обучения: 1. Управляемая дискуссия или беседа.

2. Демонстрация слайдов или учебных фильмов.
3. Мозговой штурм.
4. Мотивационная речь и др.

Дискуссия

Дискуссия как интерактивный метод обучения означает исследование или разбор. Учебной дискуссией называется целенаправленное, коллективное обсуждение конкретной проблемы, сопровождающееся обменом идеями, суждениями, мнениями в группе. Эффективность использования учебной дискуссии как метода обучения определяется целым рядом факторов: актуальность выбранной проблемы; сопоставление различных позиций участников дискуссии; информированность, компетентность и научная корректность диспутантов.

Применения метода в учебный процесс

1. Ознакомить слушателей с правилами дискуссии. Определить порядок и регламент выступлений, вопросов и ответов.
2. Организовать деятельность обучающихся, поставить разнообразные проблемные ситуации и вопросы по теме, формировать и поддерживать информационное поле.
3. При завершении дискуссии короткое резюме изложить устно, либо показать с заранее подготовленного слайда. Обобщать и комментировать полученную информацию. Отвечать на возникшие вопросы, сообщать необходимую дополнительную информацию.

Проблемные вопросы для дискуссии по теме «Понятие пространства состояний и формы описания динамических систем».

1. Какие свойства системы управления можно описать в пространстве состояний?
2. Какие преимущества дают описания динамических систем в пространстве состояний?

"Мозговой штурм"

Мозговой штурм (брейнсторминг - мозговая атака) – метод коллективной генерации идеи решения научной или практической задачи.

Во время мозгового штурма участники стремятся совместно решить сложную проблему: высказывают свое мнение по решению задачи (генерируют), отбирают наиболее соответствующие, эффективные и оптимальные идеи без критики остальных вариантов, обсуждают отобранные идеи и развивают их, а также оцениваются возможности их обоснования или опровержения.

Основная цель мозговых атак – активизация учебной деятельности, самостоятельное изучение проблемы и развитие мотивации его решения, культура общения, формирование коммуникативных навыков, избавление от инерции мышления и преодоление привычного хода мышления при решении творческой задачи.

- **Прямой коллективный мозговой штурм** – обеспечивает сбор максимального числа мнений настолько это возможно. Вся группа исследования (не более 20 человек) занимается решением одной проблемы.

- **Массовый мозговой штурм** – дает возможность резко повысить эффективность генерации идей в большой аудитории, разделенной на микрогруппы.

- В каждой группе решается один из аспектов проблемы.

Применения метода в учебный процесс

Вопросы для «Мозгового штурма»

Пример 1 Модель системы получено с высокой адекватностью но параметры рассчитанные на основе модуля не подходят реальному объекту.

Вопрос: Дайте своё мнение по этому поводу. Приведите обоснование. Укажите возможные варианты выхода из положения.

Диаграмма Венна

Графический органайзеры - методы и инструменты демонстрационного представления информации. “Диаграмма Венна” создает возможность систематизировать сведения, полученные в процессе самостоятельного чтения и слушания лекций. Позволяет формировать способность связывать новые данные с ранее полученными а также уметь, сравнит и сопоставляет данных.

Применения метода в учебный процесс

Дайте общие показатели состояний в дискретном времени и в виде сигнального графа?



Кейс-стади (англ. case – набор, конкретная ситуация, stadi-обучение) – это метод обучения, основанный на реальной ситуации из жизни организации или же искусственно созданной ситуации, воссоздающей типичные проблемы, возникающие в организационной жизни и требующей от обучающихся поиска целесообразного решения.

**Пример занятия по методу «Кейс-стади»
Этапы работы над ситуацией в аудитории**

Этапы	Содержание работы
1-этап	индивидуальное изучение текста ситуации и проанализировать ситуацию.
2-этап	разобраться в сути проблем, выделять варианты правильных и ошибочных решений.
3-этап	работа в составе малой группы, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них, обсуждать с членами группы выбирать оптимального решения, принимать коллективные решения.
4-этап	представление «решений» каждой малой группы, общая дискуссия, вопросы, выступление преподавателя, его анализ ситуации.

Мини кейс: При эксплуатации цеха водяного охлаждения, система автоматики регулирования уровня система вышла из стабильной работы. Основными причинами нестабильности приводятся неправильно рассчитанные параметры регулятора.

Задание кейса

1: Проанализируйте систему управление

Исходные данные:

А) экспериментальная переходная функция ОУ.

t	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
$h(t)$	0	0.01	0.1	0.2	0.3	0.38	0.45	0.5	0.58	0.63	0.7	0.75	0.8	0.85	0.85

2: Рассчитайте переходную функцию системы.

III. МАТЕРИАЛЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-ЛЕКЦИЯ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

План:

1. Введение. Основные понятия цифровых систем.
2. Системы автоматизации и управления.

Ключевые слова: *передовые технологии, механизация, автоматизация, автоматика, системы автоматизации, технические устройства*

Введение. Основные понятия цифровых систем.

Современный этап развития производства характеризуется переходом к использованию передовой технологии, стремлением добиться предельно высоких эксплуатационных характеристик как действующего, так и создаваемого оборудования, необходимостью свести к минимуму любые производственные потери. Все это возможно только при условии существенного повышения качества управления технологическими объектами, в том числе путем широкого применения систем автоматизации и управления.

Технико-экономическими предпосылками создания и широкого внедрения систем автоматизации и управления являются прежде всего рост масштабов производства, увеличение единичной мощности технологического оборудования, усложнение производственных процессов, использование форсированных режимов. усиление и усложнение связей между отдельными звеньями технологического процесса. Единственным источником расширения производства становится применение современных систем автоматизации и управления. Без эффективных и развитых систем автоматизации и управления невозможно решить задачи оптимального

управления. Современный этап автоматизации характеризуется внедрением электронно-вычислительной техники и микропроцессорных средств в различные системы управления. Раньше традиционными объектами их внедрения были различного рода автоматизированные системы управления технологическими процессами и сложными технологическими объектами. Сейчас они используются также в виде встраиваемых в основное оборудование управляющих устройств локальных систем управления, в системах программного управления оборудованием, системах управления роботами и т.д.

В Узбекистане достаточно большое внимание уделяется широкому использованию средств и систем автоматизации и управления в различных отраслях, таких как электроэнергетика, автомобильная промышленность, авиационная промышленность, химическое производство, пищевая промышленность, радиоэлектронная промышленность и др. Значительный вклад в развитие отечественной автоматики как науки и техники внесли ученые нашей республики: В.В. Кабулов, М.З. Хамудханов, Н.Р. Юсупбеков и др.

Современный специалист в области автоматизации и управления должен знать следующие основные вопросы. Каковы основные разновидности и назначения современных систем автоматизации и управления? В чем особенности технологических объектов управления? Как осуществляется выбор основных технических элементов и средств автоматизации? Каковы основные особенности создания систем автоматизации и управления? Как можно улучшить эффективность и качество управления автоматических и автоматизированных систем?

Эти и некоторые другие вопросы рассматриваются в рассматриваемом курсе. Курс имеет важное значение при подготовке

специалиста технических наук по автоматизации и управлению. Системы автоматизации и управления - комплекс технических средств, предназначенных как для автоматического, так и для автоматизированного управления, регулирования и контроля технологических объектов и процессов управления.

Дисциплина “Системы Автоматизации и Управления ” предусматривает изучение свойств основных элементов и функциональных устройств автоматических и автоматизированных систем управления техническими объектами, линиями, процессами, особенностей построения самих систем управления и их структура также общих вопросов проектирования.

Целью изучения дисциплин является формирование у студентов знаний по структурным особенностям конкретных систем автоматизации и управления различного назначения, по характеристикам основных элементов и функциональных устройств этих систем, а также умения определять основные характеристики этих систем в статике и динамике по известным характеристикам элементов.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные характеристики объектов управления, элементов и функциональных устройств систем управления, принципы настройки промышленных систем регулирования, основ построения систем управления технологическими процессами, линиями, подвижными объектами, систем программного управления; систем автоматического контроля, а также уметь производить оценку статических и динамических свойств конкретных систем управления.

Рассмотрим некоторые понятия и определения, необходимые для изучения данного курса.

Системы автоматизации и управления.

Автоматика – отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения средств и систем управления производственными процессами, действующими без непосредственного участия человека. Автоматика является основой автоматизации. Автоматизацией называют этап развития машинного производства, характеризуемой освобождением человека от непосредственного выполнения функций управления производственными процессами и передачей этих функций техническим устройствам. Автоматизация является одной из движущих сил научно-технического прогресса, которая существенно влияет на развитие производства, делая возможным создание новых высокоинтенсивных технологических процессов и побуждая к разработке более совершенного механизированного и автоматизированного технологического оборудования.

Под управлением производственным процессом понимают такое воздействие на него, которое обеспечивает оптимальный или заданный режим работы. Управляемый производственный процесс называют объектом управления.

Совокупность технических устройств, используемых для управления, и производственного персонала, принимающего в нём непосредственное участие, образуют совместно с объектом систему управления.

Процесс управления складывается из следующих основных функций, выполняемых системой управления:

- получение измерительной информации о состоянии производственного процесса как объекта управления;

- переработка полученной информации и принятие решения о необходимом воздействии на объект для достижения цели управления;

-реализация принятого решения, т.е. непосредственного воздействия на производственный процесс, например, увеличить или уменьшить подачу сырья на переработку.

Технические устройства, которые применяются системы управления для автоматизации этих функций, называются техническими средствами автоматизации. Средства, предназначенные для получения информации состоянии объекта управления, называются средствами измерений.

В зависимости от степени участия человека-оператора в управлении различают следующие системы:

-ручного дистанционного управления, в которой функции переработки информации, определение необходимых управляющих воздействий и их реализации (с помощью технических средств дистанционного управления) выполняет человек;

-автоматизированные, в которых человек выполняет только часть функций системы управления;

-автоматические, в которых процесс управления протекает без непосредственного участия человека.

Среди автоматических систем наиболее распространены автоматические системы регулирования, которые предназначены для поддержания заданных значений технологических параметров, характеризующих состояние производственного процесса как объекта регулирования. С появлением новых технических средств автоматизации в виде управляющих вычислительных машин в практику автоматизации производственных процессов вошёл принципиально новый тип систем управления – автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). Широкое внедрение автоматизации производств

позволяет повысить эффективность технологических процессов и обеспечить высокое качество функционирования систем управления, а также повысить производительность технологических агрегатов.

Контрольные вопросы

1. Что такое системы автоматизации и управления?
2. что изучает данная дисциплина?
3. Что такое автоматика?
4. Что такое автоматизация?
5. Основные функции процесса управления.

Список литературы

1. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G`ulomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. Darslik.* –Т.: O`qituvchi, 2011. -576 b.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.; ил.
3. Изерман А.Б. Цифровые системы управления. Учебник. -М.: Мир. 1989. – 541 с.
4. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G`lomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. O`quv qo`llanma.* –Т.: O`qituvchi. 1997. -352 b.
5. [http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20\(72\).html](http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20(72).html)
6. <http://www.zdo.vstu.edu.ru/html/course.html>.

2-ЛЕКЦИЯ.

ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ТИПОВ КВАНТОВАНИЯ.

План:

1. Локальные системы контроля, регулирования и управления.
2. Централизованные системы контроля, регулирования и управления.

3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Ключевые слова: *локальные системы, централизованные системы, ручное управление, автоматический регулятор, исполнительные устройства*

Локальные системы контроля, регулирования и управления.

В сфере промышленного производства в настоящее время практический интерес представляют системы управления трёх классов:

- локальные системы контроля, регулирования и управления (ЛСКРУ);
- централизованные системы контроля, регулирования и управления (СЦКР и У);
- автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

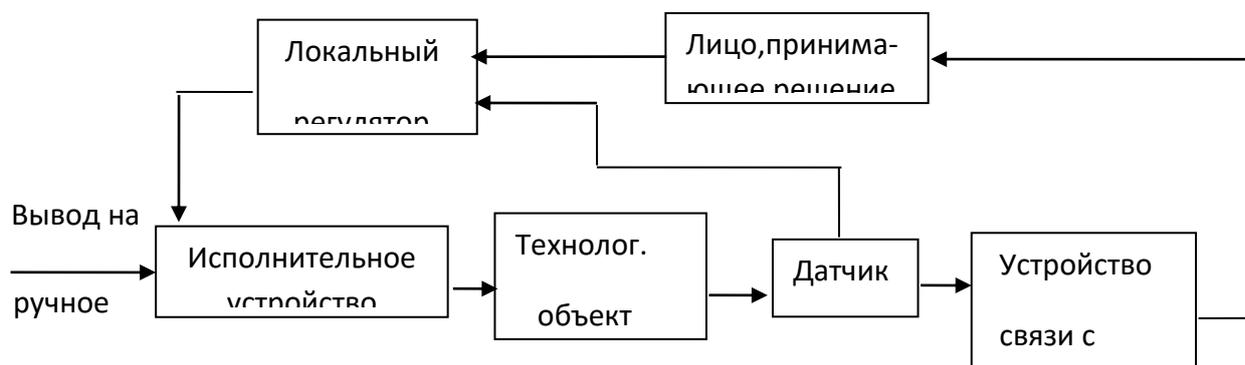


Рис2.1. Типовая структура локальной системы контроля, регулирования и управления.

Локальные системы контроля, регулирования и управления эффективны при автоматизации технологически независимых объектов с компактным расположением основного оборудования и несложными целями управления (стабилизация, программное управление) при хорошо отработанной технологии и стационарных условий эксплуатации. Локальные регуляторы (ЛР) могут быть аналоговыми, цифровыми, одно-

или многоканальными. Наличие человека-оператора (лица, принимающего решение, - ЛПР) в системе позволяет использовать эту структуру на объектах с невысоким уровнем механизации и надёжности технологического оборудования, осуществлять общий контроль за ходом технологического процесса и ручного управления (РУ). Структура ЛСКР и У соответствует классической структуре систем управления: содержит датчики измеряемых переменных (Д) на выходе ТООУ, автоматические регуляторы, исполнительные устройства (ИУ), передающие команды управления (в том числе и от ЛПР в режиме ручного управления) на регулирующие органы ТООУ. Устройство связи с оператором состоит, как правило, из измерительных, сигнализирующих и регистрирующих приборов (рис.2.1).

Централизованные системы контроля, регулирования и управления.

Автоматические или автоматизированные СЦКРиУ предназначены для сбора и обработки данных об объектах управления и выработки на основе их анализа в соответствии с целями систем управляющих воздействий. Появление этого класса систем управления связано с увеличением числа контролируемых и регулируемых параметров, с территориальной рассредоточенностью ТООУ. Структура СЦКРиУ изображена на рис 2.2.

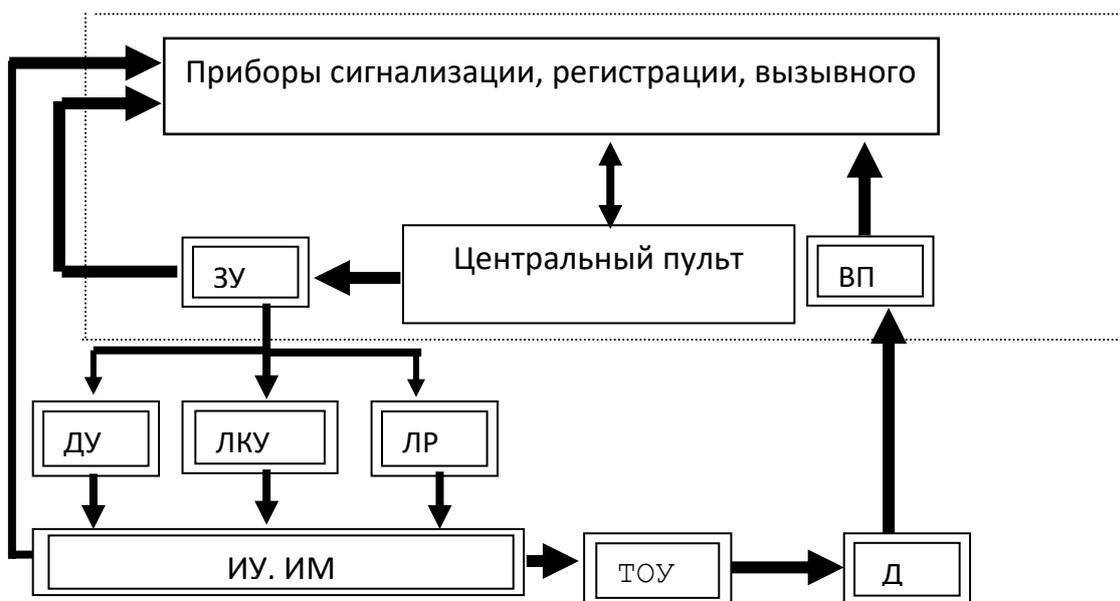


Рис 2.2 Типовая структура системы централизованного контроля, регулирования и управления (СЦКР и У)

Для СЦКРиУ характерны дистанционный контроль, регулирование и управление, что позволяет территориально отделить наблюдение и управление за технологическим процессом от ТОУ. Наряду с этим изменился и состав функций: кроме функций, свойственных ЛСКРиУ, появились функции дистанционного управления (ДУ), логико-командного управления (через ЛКУ). В СЦКРиУ появляются центральный пункт контроля и управления со средствами представления измерительной [от датчиков (Д), вторичных преобразователей (ВП) и командной информации от задающих устройств (ЗУ), исполнительных устройств и механизмов (ИМ, ИМ)] в виде мнемосхем, цифровых табло, приборов сигнализации, вызывного контроля, регистрации.

Первоначально в СЦКРиУ на центральном пульте управления концентрировались одноточечные измерительные и регистрирующие приборы и однокональные регуляторы. В дальнейшем для сокращения

числа необходимого оборудования и уменьшения эксплуатационных расходов в СЦКРиУ стали применять многоканальные средства контроля и регулирования (рис2.3). В многоканальных системах контроля и управления некоторые функциональные устройства являются общими для всех каналов системы и с помощью коммутаторов и распределителей каналов (КК,РК) подключаются к индивидуальным устройствам канала, образуя замкнутый контур управления. В системах управления технологическими процессами, как правило, используют многоканальные вторичные преобразователи (МВП), автоматические контрольно-измерительные и регистрирующие приборы (МКИП), многоканальные регулирующие устройства (МРУ), многоканальные устройства логико-командного управления (МЛКУ).

Функции оператора-технолога (ЛПР) остаются прежними: оценка функционирования СЦКРиУ и формирование оптимального управления путём изменения уставок в ЗУ.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Развитие экономико-математических методов управления с широким использованием современной вычислительной техники позволило существенно облегчить работу оператора при управлении сложными технологическими объектами. В результате появились человеко-машинные системы управления технологическими процессами, в которых обработка информации и формирование оптимальных управлений осуществляется человеком с помощью управляющей вычислительной машины (УВМ). УВМ в этом случае является многоканальным информационно-управляющим устройством в системе автоматизированного управления технологическим процессом.

командной информации для всех управляемых параметров используется центральное устройство (или группа устройств,) управляющая вычислительная машина.

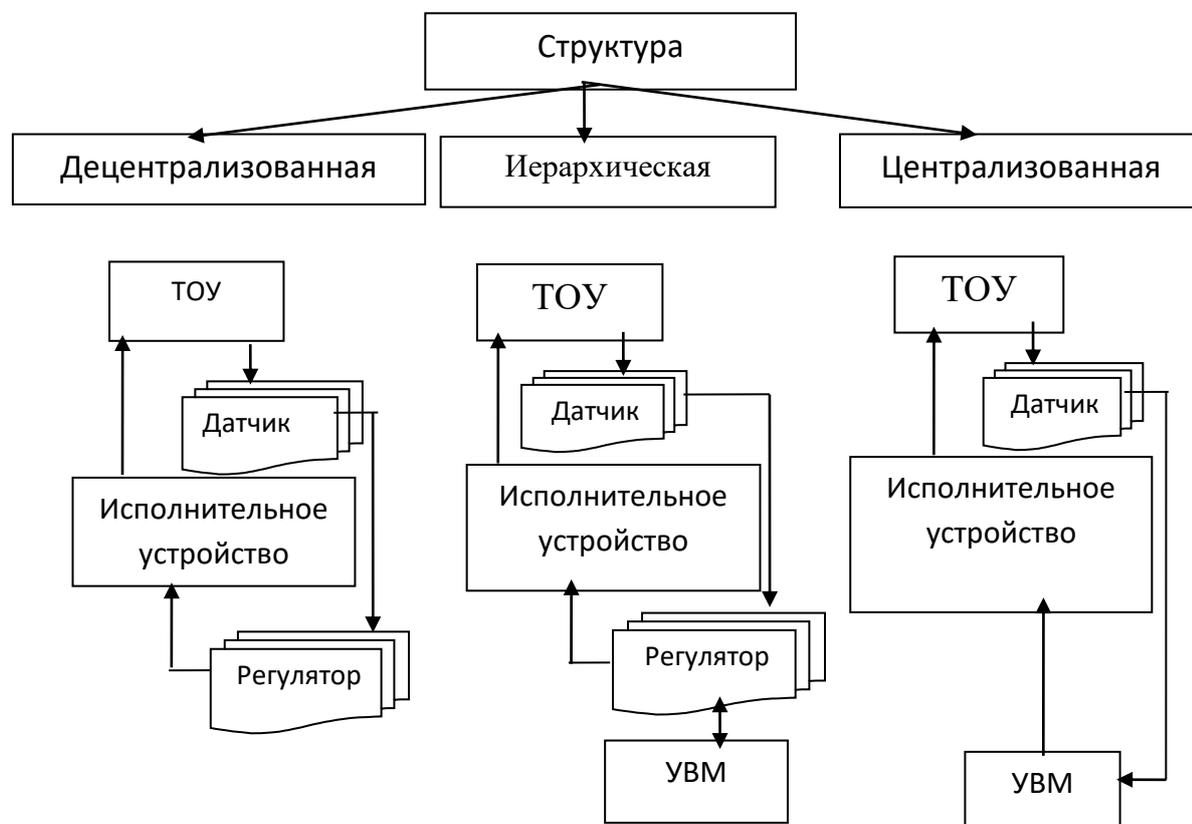


Рис.2.4. Структура сложных систем управления

В зависимости от распределения информационных и управляющих функций между человеком и УВМ, между УВМ и средствами контроля и регулирования возможны различные принципы построения АСУ ТП. Наибольшее распространение в промышленной практике нашли три принципа построения АСУ ТП: централизованные АСУ ТП, АСУ ТП с супервизорным управлением и децентрализованные распределение АСУ ТП.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами предназначены для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления и представляют собой человеко-машинные системы, обеспечивающие автоматизированный сбор и

обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом с соответствии с принятым критерием.

Технологический объект управления (ТОУ) – это совокупность технологического оборудования и реализованного на нём по соответствующим инструкциям или регламентом технологического процесса производства. В зависимости от уровня АСУ ТП в качестве ТОУ можно рассматривать: технологические агрегаты и установки, группы станков, отдельные производства (цехи, участки), реализующие самостоятельный технологический процесс; производственный процесс всего промышленного предприятия, если управление им заключается в рациональном выборе и согласовании режимов работы агрегатов, участков и производств.

Совместно функционирующие ТОУ и управляющая им АСУ ТП образуют автоматизированный технологический комплекс (АТК).

АСУ ТП являются частным видом систем управления, которые представляют, в свою очередь, особый класс систем, характеризующихся наличием самостоятельных функций и целей управления и необходимой для реализации этого специальной системной организацией.

Степень достижения поставленных целей принято характеризовать с помощью критерия управления. Критерием может быть технико-экономический показатель, например себестоимость выходного продукта при заданном качестве, производительность ТОУ при заданном качестве выходного продукта, технологические показатели, параметры процесса, характеристики выходного продукта и т.п.

Отметим, что определение АСУ ТП как системы отличается от классического определения системы управления из теории автоматического управления, согласно которому система автоматического управления - это

совокупность объекта управления и регулятора. В этом смысле понятие АТК подпадает под классическое определение системы управления, где в роли объекта выступает ТОУ, а в роли регулятора АСУ ТП. Обобщённая блок-схема АСУ ТП изображена на рис.(2.5).

Сформулированное выше определение подчёркивает во-первых, наличие в составе АСУ ТП современных автоматических средств сбора и переработки информации, в первую очередь средств вычислительной техники; во-вторых, роль человека как субъекта труда, принимающее содержательное участие в выработке решений по управлению; в-третьих, что АСУ ТП – это система, осуществляющая переработку технологической и технико-экономической информации.

Ещё один важный признак АСУ ТП –это осуществление управления в темпе протекания технологического процесса, т.е. в реальном масштабе времени

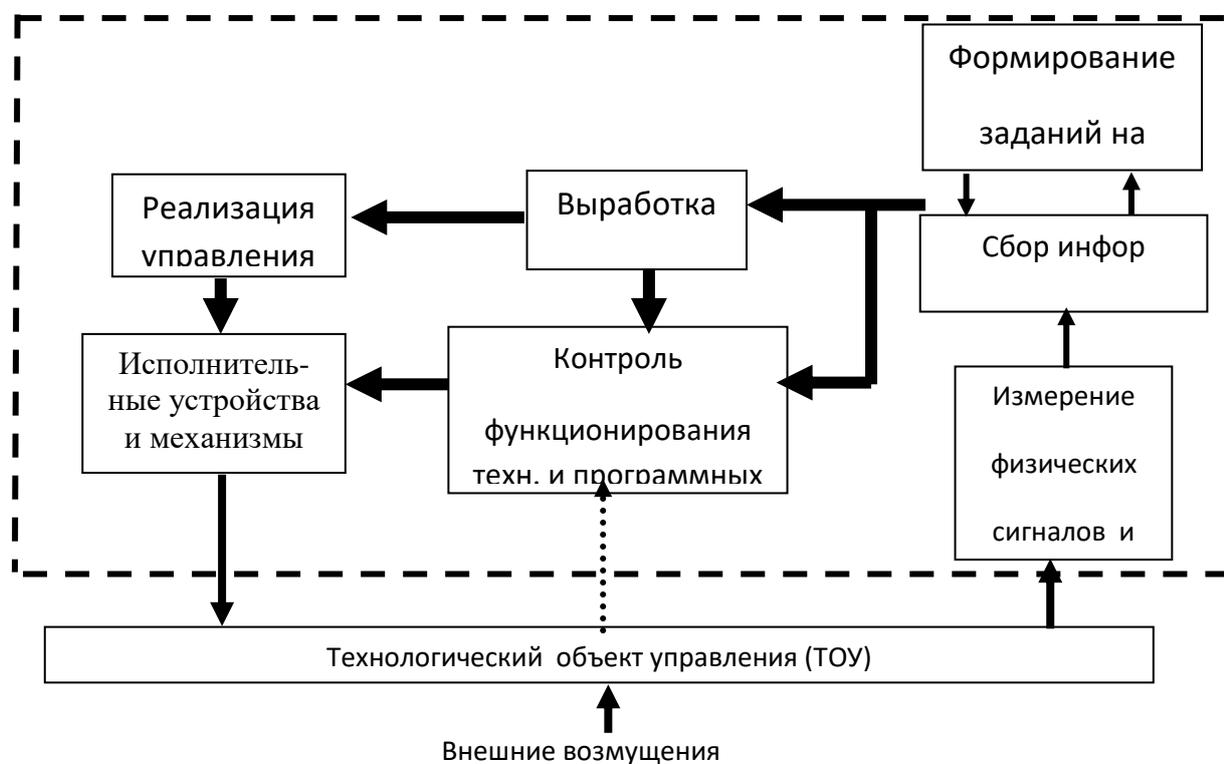


Рис 2.5. Обобщённая блок-схема АСУ ТП

Контрольные вопросы

1. На какие классы подразделяются системы управления?
2. Какой класс СУ наиболее эффективен при автоматизации технологически независимых объектов?
3. Какова структура сложных систем управления?
4. Что называется технологическим объектом управления?

Список литературы

1. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G`ulomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. Darslik.* –Т.: O`qituvchi, 2011. -576 b.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.; ил.
3. Изерман А.Б. Цифровые системы управления. Учебник. -М.: Мир. 1989. – 541 с.
4. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G`lomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. O`quv qo`llanma.* –Т.: O`qituvchi. 1997. -352 b.
5. [http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20\(72\).html](http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20(72).html)
6. <http://www.zdo.vstu.edu.ru/html/course.html>.

3-ЛЕКЦИЯ.

УСТОЙЧИВОСТЬ И СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ.

План:

1. Классификация и структуры ЛСКРУ
2. Технические характеристики и задачи синтеза

Ключевые слова: *системы регулирования, программное управление, подвижный объект, объект управления, задающее устройство,*

сравнивающее устройство, преобразующее устройство, корректирующие устройства

Классификация и структуры ЛСКРУ

Локальные системы контроля, регулирования и управления - комплекс технических средств, предназначенных для непосредственного контроля управления локальными объектами. Классификацию можно осуществлять по различным признакам :

1. По назначению :

- Промышленные системы регулирования (ПСР)
- Системы управления подвижными объектами (СУПО)
- Системы с программным управлением (СПУ)
- Системы автоматизированного контроля (САК)

2. По виду энергии:

- электрические
- гидравлические
- пневматические.

3. По области применения:

- промышленные
- транспортные и т.д.

Промышленные системы регулирования (ПСР) – системы, предназначенные для стабилизации регулируемой величины на априори известном постоянном значении (система стабилизации, напряжения, системы регулирования частоты вращения и т.п.).

Система управления подвижными объектами (СУПО) – системы предназначенные для отработки задающих воздействий, представляющих

собой заранее неизвестные функции времени (системы сопровождение самолёта, системы управления роботом и т.п.)

Системы с программным управлением (СПУ) – системы, предназначенные для отработки задающих воздействий, представляющих собой известные функции времени, изменяющиеся в соответствии с заданной программой (СЧПУ метало режущих станков, регулирования температуры в нагревательной печи и т.п.)

Система автоматизированного контроля (САК) – совокупность технических средств, позволяющих определять состояние объекта контроля с частичным участием человека. САК применяются для диагностирования, контроля работоспособности и прогнозирования системы управления и ТОУ.

В зависимости от назначения ЛСКРиУ имеют различные структуры которые являются модификацией типовой структуры. Типовая функциональная схема, предназначенная для управления объектом имеет следующий вид: (рис3.1):

Объект управления (ОУ) - основной элемент ЛСУ, т.е. машина или установка, которая должна управляться при помощи регулирующих органов.

Задающее устройство (ЗУ) – преобразует управляющее воздействие $g(t)$ в управляющий сигнал. В СПУ для выработки изменяющегося по заданному закону управляющего сигнала применяются программные устройства. В сложных современных системах выработка управляющего сигнала осуществляется вычислительными устройствами на базе – мини, микроЭВМ или микропроцессорах.

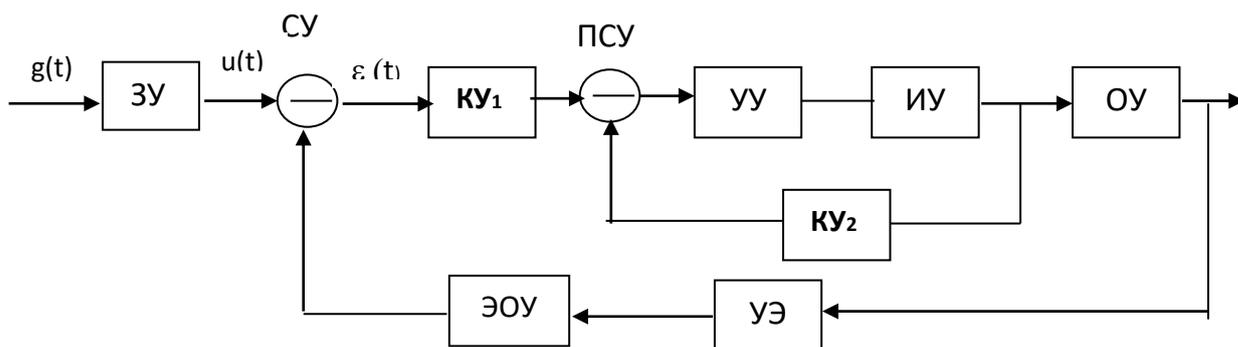


Рис 3.1 Типовая функциональная схема локальных систем управлений

Сравнивающее устройство (СУ)- на основании сравнения управляющего сигнала и сигнала ОС вырабатывает сигнал ошибки $\varepsilon(t)$.

Преобразующее устройство (ПУ)- для преобразования одной физической величины в другую, более удобную в процессе управления.

Корректирующие устройства (КУ)- для повышения устойчивости и улучшения динамических свойств системы. В качестве КУ применяются также вычислительные устройства для реализации сложных законов управления.

Промежуточное сравнивающее устройство (ПСУ)- для сопоставления сигнала в промежуточной точке прямой цепи и сигналом местной обратной связи.

Усиливающее устройство (УУ) – для усиления мощности сигналов. Оно управляет энергией, поступающий от постороннего источника энергии.

Исполнительное устройство (ИУ)- для выработки регулирующего воздействия, непосредственно прикладываемого к объекту управления.

Чувствительный элемент (ЧЭ)- для преобразования управляемых или возмущающих воздействий в сигналы управления, удобные для дальнейшего использования в процессе регулирования.

Элемент главной обратной связи (ЭОС) вырабатывает сигнал, находящегося в определённой зависимости от управляемой переменной.

Функциональная схема САК имеет вид: (рис 3.2)

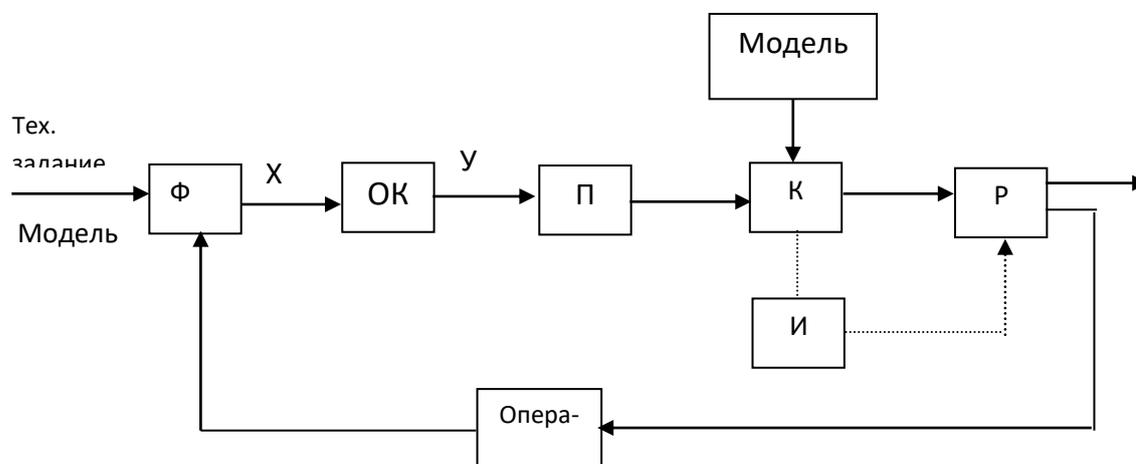


Рис 3.2 Функциональная схема САК

Формирователь (Ф) предназначен для выработки тестовых воздействий X в соответствии с моделью и техническим заданием, а так же с учётом сигнала об состоянии объекта Y .

Преобразователь (П) предназначен для преобразовании информации о текущем состоянии объекта контроля (ОК) в нормированные и унифицированные сигналы.

Классификатор (К) вырабатывает решение о состоянии объекта на основе информации от ОК и имеющийся моделью объекта.

Информатор (И) выдаёт специальную информацию по устранению неисправности.

Регистратор (Р) предназначен для выдачи информации о состоянии объекта, величинах и отклонениях контролируемых параметров, инструкции по устранению неисправностей.

Оператор (О) в зависимости от поставленной задачи и результатов контроля изменяет задание на выработки тестовых воздействий.

Технические характеристики и задачи синтеза

Синтез СА и У заключается в выборе её структуры, параметров, которые при заданных ограничениях удовлетворяют определённым требованиям. При проектировании систем автоматизации и управления необходимо учитывать основные технические характеристики:

1. Статические характеристики: коэффициент усиления и чувствительность, линейность статической характеристики, минимальные и максимальные значения входов и выходных параметров, коэффициент добротности, входная и выходная мощность

2. Динамические характеристики: степень астатизма, частотные характеристики, показатели качества, запасы устойчивости и др.

3. Точностные характеристики: статическая точность, динамическая точность, точность при наличии возмущений, статистическая точность.

4. Эксплуатационные характеристики: эффективность применения, стабильность характеристик и параметров, устойчивость к возмущениям внешней среды (термостойкость, влагостойкость, и т.д.) радиационная стойкость, время готовности к работе, безопасность при эксплуатации, ремонтоспособность и взаимозаменяемость, габаритные размеры, требования к источникам питания и др.

5. Экономические характеристики: надёжность, воспроизводимость параметров и характеристик, КПД, ресурс работы, чувствительность технических параметров к величинам производственных допусков.

Конечная цель решения задачи синтеза-отыскания оптимальной структуры САиУ и её характеристики. Из-за большого количества требований к характеристикам САиУ сформулировать единый критерий оптимальности представляется не возможным . Для упрощения можно учесть лишь несколько основных требований, однако это не всегда применимо. Поэтому задачи синтеза САиУ распадаются на ряд этапов : определение структуры и параметров системы, выбор конкретных элементов, энергетический и конструктивный расчёт, согласование характеристики элементов и т.д. Для нахождения оптимального варианта необходимо просматривать несколько вариантов математической модели системы. Не все эти этапы охватываются математической теорией и относятся к инженерному искусству.

Контрольные вопросы.

1. По каким признакам классифицируются ЛСКРиУ?
2. Приведите типовую функциональную схему локальных систем управления.
3. В чем заключается синтез САиУ.

Список литературы

1. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. Darslik.* –Т.: O'qituvchi, 2011. -576 b.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.; ил.
3. Изерман А.Б. Цифровые системы управления. Учебник. -М.: Мир. 1989. – 541 с.
4. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G'lomov Sh.M. *Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. O'quv qo'llanma.* –Т.: O'qituvchi. 1997. -352 b.

5. [http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20\(72\).html](http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20(72).html)
6. <http://www.zdo.vstu.edu.ru/html/course.html>.

IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическая работа № 1

Исследование аналого-цифрового преобразователя (АЦП)

1. Цель работы

Целью работы является изучение процессов, происходящих в АЦП. Для достижения этой цели в лабораторной работе последовательно решаются следующие задачи:

- в пакете Simulink изучаются блоки, входящие в структурную схему АЦП;
- создается схема моделирования АЦП, соответствующая физической модели преобразования аналогового сигнала в цифровой;
- исследуется влияние параметров АЦП (интервал квантования и шаг дискретности) на информационные параметры цифрового сигнала.

2. Описание работы АЦП в пакете Simulink

Функциональная схема, моделирующая работу АЦП, представлена на рис. 1.

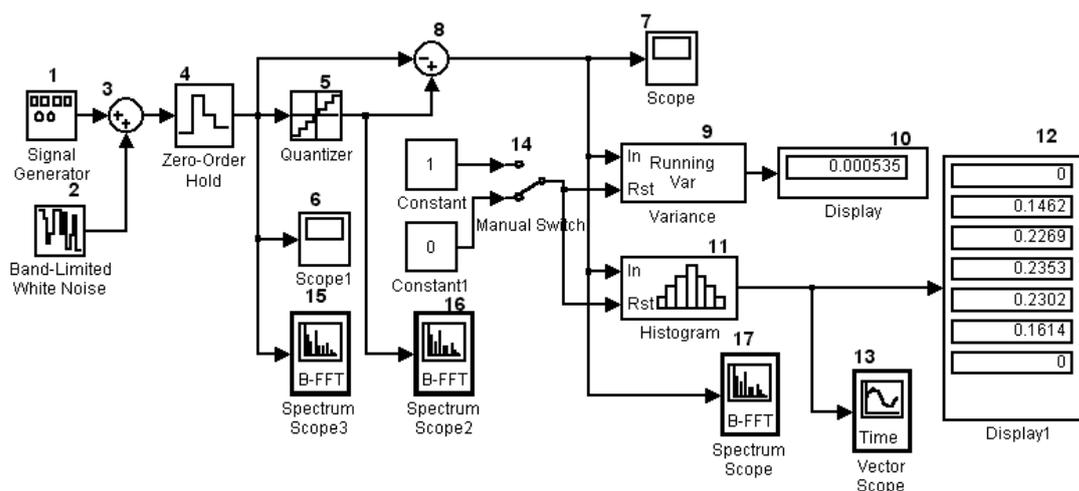


Рис.1. Функциональная схема исследования АЦП

Сигналы генераторов Signal Generator 1 (генератор синусоидальных, пилообразных и случайных сигналов) и Band-Limited White Noise 2 (генератор шума в заданной полосе частот) через сумматор 3 поступают на вход АЦП, моделируемого с помощью последовательно соединенных блоков Zero-Order Hold 4 и Quantizer 5. Осциллограф 6 (Scope 1) позволяют наблюдать сигналы, поступающим на вход АЦП, а второй осциллограф 7 (Scope) - ошибки квантования, которые формируются на выходе сумматора 8.

Вычисление и отображение дисперсии ошибки осуществляется соответственно блоками Variance 9 и Display 10. В блоке вычисления гистограмм 11 (Histogram) вычисляется гистограмма, а в блоке 12 (Display) она отображается. В блоке 13, в зависимости от его настроек, гистограммы представляются во временной или частотных областях. Блоки 9 и 11 имеют управляющий вход Rst. При подаче на этот вход единичного сигнала блоки вычисления дисперсии 9 и построение гистограмм 11 обнуляются. Управление этими блоками осуществляется через переключатель Manual Switch 14.

Кроме моделирования работы АЦП во временной области, лабораторная работа позволяет вычислить и графически отобразить оценки спектральной плотности мощности (СПМ) следующих сигналов:

- квантового по времени – выход блока 4 (Spectrum Scope1) 15;
- квантованного по времени и уровню сигнала – выход блока 5 (Spectrum scope 2) 16;
- сигнала ошибки квантования – выход блока 7 (Spectrum Scope) 17.

Эти блоки вычисляют квадрат амплитуды данных, накопленных в буфере каждого из блоков, а затем выводят результаты в виде графиков. Каждый раз после заполнения буфера, вычисления и графического отображения результата происходит очистка буфера, и процесс повторяется. Таким образом, при моделировании можно наблюдать изменяющийся график СПМ, соответствующий разным выборкам сигналов, взвешенных прямоугольным временным окном. Размер окна совпадает с размером буфера.

Функциональная схема АЦП (рис.1) составляется по технологии «схвати и перетащи» из библиотеки Simulink в создаваемый mdl файл. Нахождение исследуемых блоков и путь к ним приведен ниже.

- Блок выборки и хранения Simulink\Discrete\Zero-Older Hold. Осуществляет выборку мгновенного значения выходного сигнала в заданный момент времени и фиксацию его на выходе вплоть до следующего момента выборки;

- Квантователь Simulink\Nonlinear\Quantizer выполняет квантование входного сигнала по уровню;
- Сумматор Simulink\Math\Sum (пиктограмма имеет вид кружка со знаками арифметических операций «+» или «-») выполняет суммирование входных сигналов с учетом указанных знаков;
- Константа Simulink\Sources\Constant генерирует постоянную величину;
- Ручной переключатель Simulink\ Nonlinear\Manual Switch изменяет свое состояние двойным щелчком левой клавиши мыши;
- Осциллограф Simulink\Sinks\Scope отображает численное значение текущего отчета входного сигнала;
- Блок вычисления дисперсии DSP Blockset\Statistics\Variance вычисляет дисперсию входного сигнала;
- Блок вычисления гистограмм DSP Blockset\Statistics\Histogram вычисляет гистограмму для заданного диапазона значений входного сигнала;
- Цифровой индикатор векторных величин DSP Blockset\DSP Sinks\Display;
- Блок графического отображения DSP Blockset\DSP Sinks\Vector Scope позволяет строить графики входных данных, используя временную или частотную развертку;
- Блок буферизации и вычисления квадрата преобразования Фурье DSP Blockset\DSP Sinks\Spectrum Scope накапливает в буфере отчеты входного сигнала, после заполнения вычисляет квадрат преобразования Фурье.
- Генератор тестовых сигналов Simulink\Sources\Signal Generator подает гармонический сигнал на вход АЦП;
- Генератор шума в заданной полосе частот Simulink\Sources\Band-Limited White Noise подает случайный сигнал на вход АЦП.

3. Настройка параметров модели

Следующим шагом после построения модели АЦП является задание параметров входящих в неё блоков. Для этого надо дважды щелкнуть левой клавишей мыши по выбранному блоку. В результате откроется окно, в котором показаны значения параметров, введенные ранее или установленные по умолчанию. В качестве примера на рис.2 показано окно блока Signal Generator, в котором задана амплитуда, равная единице, и частота синусоидального сигнала, равная 20 Гц (по умолчанию 1 Гц). Чтобы новые параметры установки вступили в силу, после ввода параметров нужно щелкнуть по кнопке «Apply» или «OK». Окно параметров каждого блока имеет кнопку Help для получения необходимой справочной информации.

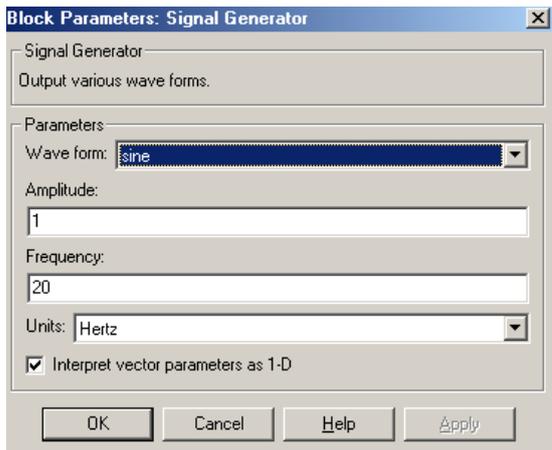


Рис.2. Окно и значение параметров блока Signal Generator

Поэтому детально рассмотрим только блоки Variance, Histogram и Buffered FFT Vector Scope, которые представляют интерес с точки зрения обработки сигналов в АЦП. Эти блоки, как и большинство пакета Simulink, работают как со скалярными, так и векторным последовательностями (скалярными и векторными дискретными сигналами).

Примером скалярной последовательности может служить одноканальный сигнал, когда данные следуют одно за другим, то есть каждому временному отсчету соответствует одно значение сигнала. Многоканальный сигнал, когда одному и тому же временному отсчету соответствуют несколько значений, представляет собой векторную последовательность. Таким образом, скалярный сигнал задается вектором или одномерным массивом u (рис. 3а), в то время как векторный сигнал матрицей U размерности $M \times N$, в которой M строк соответствуют моментам времени $1, 2, \dots, M$, а N значений k -ой строки представляют собой мгновенную выборку сигнала в момент времени k (рис. 3б).

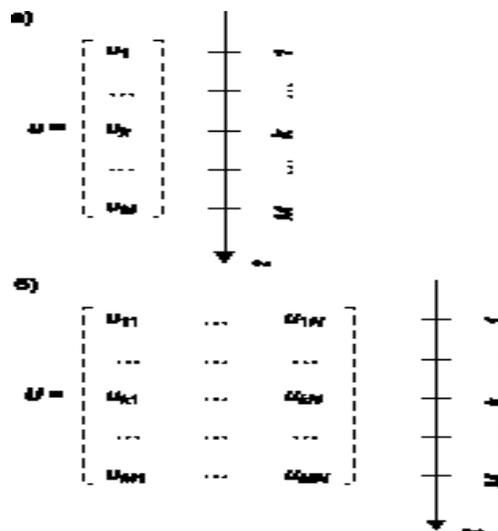


Рис.3. Скалярные и векторные сигналы: а) скалярный сигнал; б) векторный сигнал

Окно параметров блока Variance показано на рис.4. Блок предназначен для вычисления дисперсии входной последовательности данных и, в зависимости от параметра *Running Variance*, может работать в двух режимах: *Basic Operation* и *Running Operation*. Если этот параметр не включен, работа выполняется в режиме *Basic Operation*. В этом случае, если входная последовательность векторная, блок на каждом временном шаге вычисляет дисперсию текущей мгновенной выборки, если же входная последовательность скалярная, то, поскольку мгновенная выборка состоит из одного значения, выходом блока будет нуль.

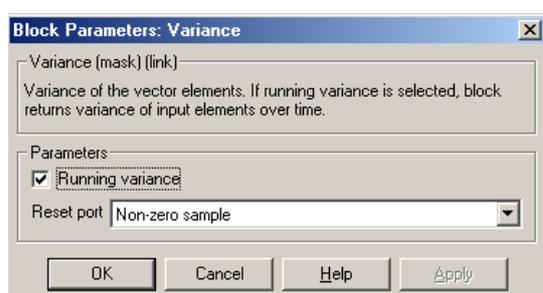


Рис.4. Окно и значения параметров блока Variance

В нашем случае (рис.3) параметр *Running Variance* включен. Это означает, что блок работает в режиме *Running Operation*. Если входной сигнал является скалярным, как это имеет место для обсуждаемой модели, дисперсия вычисляется на каждом временном шаге с учетом всех данных, поступивших на текущий момент времени, и отображается на пиктограмме блока *Display*. Другими словами, в процессе работы модели блок Variance вычисляет, а *Display* отображает число, изменяющееся с частотой следования данных и равное дисперсии сигнала на интервале от начального до текущего момента времени. Если входной сигнал векторный, и мгновенная выборка содержит N значений, блок на каждом временном шаге вычисляет N значений дисперсии

При включении параметра Running Variance активным становится второй (управляющий) вход блока Variance. Выбор сигнала из ниспадающего списка Reset port позволяет определить условия включения этого блока. При выборе Non-zero sample активным становится управляющий вход Rst. При подаче на вход Rst единицы происходит сброс накопленных данных. Использование Manual Switch (ручного переключателя) позволяет в ручном режиме управлять размером временного окна. При подаче на вход Rrt нулевого сигнала интервал времени оценки дисперсии определяется временем работы устройства.

Блок Histogram и окно настроек его параметров приведен на рис.5.

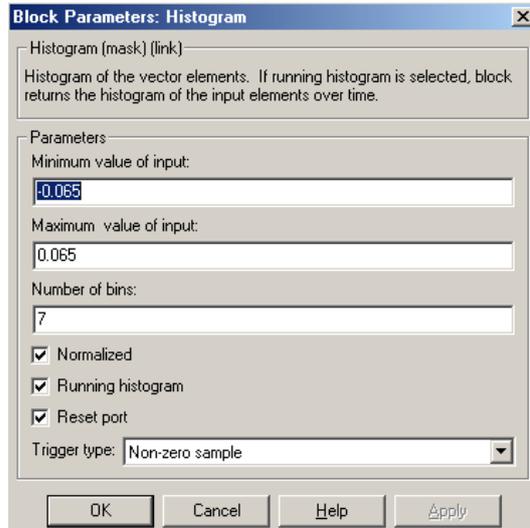


Рис.5. Окно и значение параметров блока Histogram

Параметр **Running Histogram** определяет способ обработки входных данных, он аналогичен параметру **Running Variance** блока **Variance**. Целое число **Number of bins** задает количество бинов (столбцов) для расчета гистограммы, а **Minimum value of input** и **Maximum value of input** определяют, соответственно, минимальное и максимальное значения, откладываемые по оси абсцисс при расчете и построении гистограммы.

Численные значения величин, внесенных в окна настроек Minimum Value of input Maximum Value of input, зависят от разрядности квантователя и амплитуды входного сигнала. Например, если разрядность моделируемого АЦП 10, а процессы изменения входного сигнала составляют $A = \pm 1$, то введенные значения N в соответствующие окна настроен блока Histogram определяются соотношением

$$N = \pm \frac{2A}{2n} = \pm \frac{A}{n} = \pm \frac{1}{10} = \pm 0,1.$$

Если во входном векторе имеются элементы, величины которые больше или меньше параметра N , то они включаются в крайние интервал. Выходом блока является векторный сигнал, размерность которого равна количеству столбцов гистограммы, а компоненты – высоте каждого из столбцов. При правильно выбранных параметрах N гистограмма слева и справа от центра должна иметь по одному нулевому интервалу. Число интервалов (bins) должно быть таким, чтобы гистограмма имела читаемый вид.

Блок Histogram имеет флажок Normalized (нормализация), определяющий способ представления вероятностных характеристик. Если установлен флажок Normalized, каждый выходной векторный отчет нормализуется к единице, то есть

площадь гистограммы приводится к 1, а если флажок снят, то определяется абсолютное число попаданий на каждый интервал.

Если включить параметр Running histogram и Reset port, то становится активным второй вход Rst. Условия управления блока Histogram через вход Rst полностью совпадают с условиями управления блоком Variance через вход Rst.

Блок Spectrum Scope (рис.6) вычисляет и отображает СПМ, которая определяется числом отчетов (FFT length – длиной буфера).

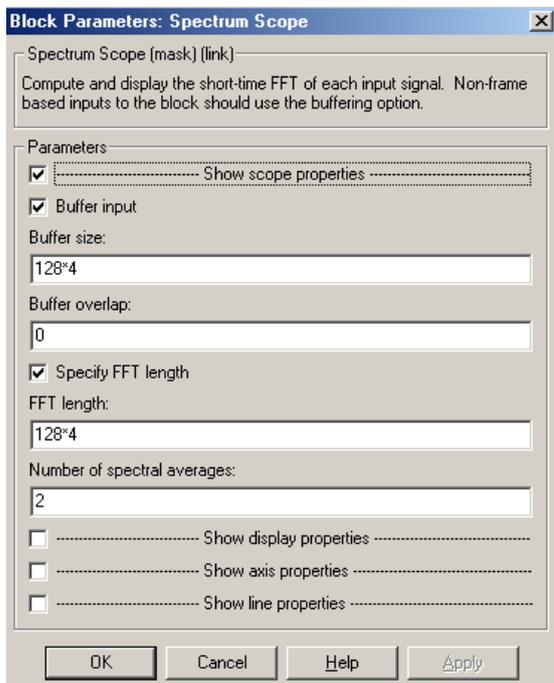


Рис.6. Окно значений параметров блока Spectrum Scope

Увеличение числа отчетов делает резонансные пики более четкими. При скалярной последовательности, разрешающая способность графиков увеличивается, если размер буфера (Buffer size) буфер равен числу отчетов (FFT length), по которым определяется Фурье- преобразование.

При включении параметра Show axis properties (показать свойство осей) появляется дополнительная информация позволяющая выбрать единицы измерения и диапазоны изменения переменных, задаваемых по осям X и Y. Причем, интервал дискретности T_{Π} блока 4 связан с частотой дискретизации F_s известным соотношением

$$F_s=1/T_{\Pi}$$

Частота F_s используется при представлении графиков СПМ и в зависимости от настроек блока Spectrum Scope может задаваться в диапазонах $0 \div F_s/2$; $- F_s/2 \div F_s/2$; $0 \div F_s$.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа выполняется на персональной ЭВМ в пакете MatLab.

1. Из стандартных блоков в пакете Simulink создается структурная схема рис.1 и для заданной частоты и амплитуды тестового сигнала устанавливаются параметры блоков, определяющие квантование по времени и по уровню.

2. Исходя из заданной амплитуды входного сигнала и шага квантования по уровню, в блоке Histogram задаются параметры построения гистограммы.

3. Для исследуемого процесса все параметры моделирования, кроме времени окончания переходного процесса, установим по умолчанию. Учитывая, что определяются статистические характеристики, переходной процесс во времени не ограничиваем – ставим inf. Прерывание процесса осуществляется принудительно, обнуление – ручным переключателем.

4. После окончания моделирования определяем дисперсию, строим гистограммы и наносим на графики качественные характеристики, определяющие СПМ.

5. Сравниваем расчетные и экспериментальные данные и делаем выводы.

6. Анализируем характеристики СПМ и делаем выводы.

6. Исходные данные для выполнения лабораторной работы

Таблица 1

№ п/п	Генератор тестового сигнала		Генератор шума	Разрядность
	Частота, Гц	Амплитуда	Мощность	
1	2	3	4	5
1	20	1	0	14
	20	1	0,01	10
	20	1	0,1	10
	20	1	0,1	8
2	30	1	0	14
	30	2	0,01	12
	30	5	0,01	10
	30	5	0,1	8
3	40	2	0	14

	40	4	0,01	12
	40	5	0,1	10
	40	2	0,1	8
4	50	1	0	14
	50	2	0,001	12
	50	3	0,01	10
	50	5	0,1	8
5	60	2	0	14
	60	3	0,001	12
	60	4	0,01	10
	60	5	0,1	8
6	70	2	0	14
	70	5	0,001	12
	70	6	0,01	10
	70	7	0,1	8
7	80	1	0	14
	80	3	0,001	12
	80	5	0,01	10
	80	7	0,1	8
8	90	2	0	14
	90	3	0,001	12
	90	4	0,01	10
	90	5	0,1	8
9	100	1	0,	14
	100	2	0,01	12
	100	5	0,1	10
	100	10	1	8
10	110	2	0	14
	110	4	0,01	12

	110	5	0,1	10
	110	6	1	8
11	20	1	0	10
	20	1	0,01	8
	20	1	0,1	6
	20	1	0,1	5
12	30	1	0	20
	30	2	0,01	15
	30	5	0,01	10
	30	5	0,1	5
13	50	1	0	18
	50	2	0,001	14
	50	3	0,01	10
	50	5	0,1	5

Практическая работа № 2

Цифровая реализация непрерывного регулятора

Цели работы: освоение методов переоборудования непрерывных регуляторов для реализации на цифровом компьютере

Задачи работы

- познакомиться с методами переоборудования непрерывных регуляторов в MATLAB
- научиться моделировать системы с цифровыми регуляторами
- научиться выбирать интервал квантования

Краткие теоретические сведения

Задача переоборудования

Классические методы синтеза позволяют построить непрерывный регулятор, который описывается передаточной функцией или соответствующим дифференциальным уравнением. Для непосредственной реализации такого регулятора можно использовать различные аналоговые элементы, в том числе и электронные (RC-цепочки, операционные усилители и т.п.).

В то же время в современных системах управления законы регулирования чаще всего реализуются с помощью бортового цифрового компьютера или микроконтроллера. При этом

- отсутствует дрейф параметров элементов регулятора (их изменение со временем, при изменении давления, температуры и т.п.);
- компьютер позволяет реализовывать достаточно сложные алгоритмы управления, в том числе и адаптивные, что крайне трудно сделать на базе аналоговой техники;
- для перестройки алгоритма управления не требуется менять аппаратуру, а надо просто заменить программу обработки данных.

Цифровые вычислительные устройства представляют собой элементы дискретного действия. Они периодически выполняют измерения входного сигнала и расчет нового управляющего воздействия. Период, через который эти операции повторяются, называется интервалом квантования и обозначается через T .

На цифровых компьютерах нельзя напрямую реализовать управляющее устройство, которое описывается дифференциальным уравнением в непрерывном времени. **Задача переоборудования** состоит в том, чтобы заменить спроектированный непрерывный регулятор цифровым устройством так, чтобы сохранить все существенные свойства непрерывной системы (устойчивость, качество, подавление постоянных возмущений).

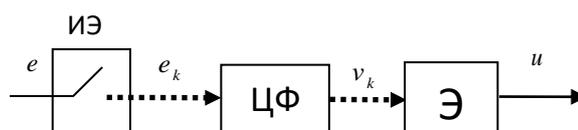
Компьютер в контуре управления

Компьютер в контуре управления можно представить в виде последовательное соединение трех звеньев:

- 1) **импульсного элемента**, который выбирает из непрерывного сигнала ошибки $e(t)$ значения $e_k = e(kT)$ в моменты квантования $t_k = kT$ (при целых k); импульсный элемент моделирует аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 2) линейного **цифрового фильтра**, который преобразует дискретную последовательность e_k в управляющую последовательность v_k ; свойства этого фильтра определяют закон управления;
- 3) восстанавливающее устройство (**экстраполятор**), которое восстанавливает непрерывный сигнал управления $u(t)$ из последовательности v_k ; экстраполятор моделирует цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), чаще всего используется **фиксатор нулевого порядка**, который удерживает постоянное значение $u(t)$ в течение очередного интервала квантования:

$$u(kT + \varepsilon) = v_k, \quad 0 \leq \varepsilon < T.$$

Схема цифрового регулятора показана на рисунке:

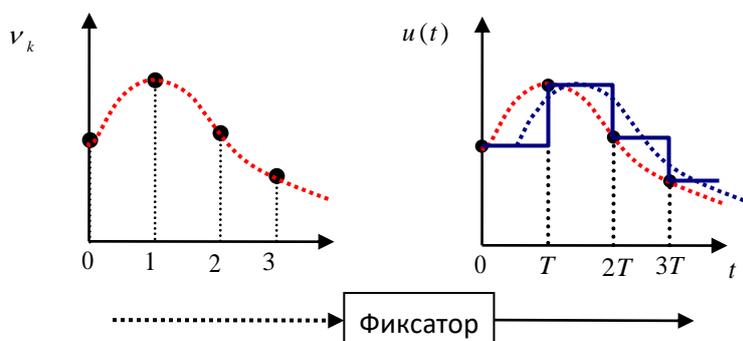


Блок **ИЭ** обозначает импульсный элемент (АЦП), блок **ЦФ** – цифровой фильтр, блок **Э** – экстраполятор (ЦАП). Точечные линии обозначают дискретные сигналы, сплошные линии – непрерывные сигналы.

Экстраполятор

Экстраполятором называют устройство, которое восстанавливает непрерывный сигнал управления $u(t)$ по дискретной последовательности значений $\{v_k\}$, поступающих с выхода цифрового фильтра в моменты времени $t_k = kT$. Обычно вычислительное запаздывание (время, необходимое на расчет очередного значения v_k) включают в модель объекта управления, поэтому считается, что цифровой фильтр выполняет обработку данных мгновенно.

В простейшем случае ЦАП, получив новый управляющий сигнал v_k от цифрового фильтра, просто удерживает (фиксирует) его в течение интервала квантования T (до получения следующего значения v_{k+1}). Такой экстраполятор называется **фиксатором нулевого порядка** (англ. *zero-order hold, ZOH*).



Фиксатор нулевого порядка

Фиксатор нулевого порядка восстанавливает сигнал по правилу

$$u(kT + \varepsilon) = v_k, \quad 0 \leq \varepsilon < T.$$

Здесь ε – так называемое локальное время, прошедшее с момента последнего срабатывания импульсного элемента.

Предположим, что дискретная последовательность получена в результате квантования некоторого непрерывного сигнала. Восстановленный сигнал будет представлять собой «ступеньки», высота которых совпадает с истинным значением сигнала в начале интервала. Если провести линию через середины этих «ступенек», получается сигнал, смещенный относительно исходного на $T/2$. Поэтому говорят, что последовательно примененные операции квантования и восстановления сигнала с помощью фиксатора нулевого порядка приводят к его **запаздыванию на половину периода**.

Существуют и более сложные экстраполяторы, учитывающие несколько последних значений последовательности $\{v_k\}$, но они используются на практике крайне редко из-за проблем в реализации.

Цифровые фильтры

Цифровой фильтр – это устройство, преобразующее входную дискретную последовательность

$$\{e_k\} = e_0, e_1, e_2, \dots$$

в выходную

$$\{v_k\} = v_0, v_1, v_2, \dots$$

В реальных фильтрах для расчета очередного значения управляющей последовательности v_k в момент времени $t = kT$ используется конечное число прошлых значений входного и выходного сигналов, хранящихся в оперативной памяти:

$$v_k = \mathfrak{F}(e_k, e_{k-1}, \dots, e_{k-n}, v_{k-1}, \dots, v_{k-n})$$

Здесь $\mathfrak{F}(\cdot)$ – некоторая функция своих переменных и n – целое число, называемое **порядком** фильтра. Чаще всего используют **линейные** законы управления, которые описываются формулой

$$v_k = a_0 e_k + a_1 e_{k-1} + \dots + a_n e_{k-n} - b_1 v_{k-1} - b_2 v_{k-2} - \dots - b_n v_{k-n},$$

где a_i ($i = 0, \dots, n$) и b_i ($i = 1, \dots, n$) – вещественные числа. Уравнение такого вида называют **линейным разностным уравнением** регулятора. Оно аналогично дифференциальному уравнению непрерывной системы, но входной и выходной сигналы изменяются в дискретном времени, т.е., определены только в моменты времени $t_k = kT$.

Как и для линейных непрерывных систем, для описания линейных цифровых фильтров (линейных дискретных систем) можно использовать операторный метод. В литературе чаще всего используется **оператор сдвига вперед z**

$$ze_k = e_{k+1}, \quad z^m e_k = e_{k+m}.$$

Обозначив через z^{-1} обратный оператор, получим $z^{-1}e_k = e_{k-1}$ и $z^{-m}e_k = e_{k-m}$. Тогда, перенося в левую часть все члены, зависящие от выходной последовательности, можно записать уравнение регулятора в операторной форме

$$(1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_nz^{-n})v_k = (a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n})e_k.$$

Отношение

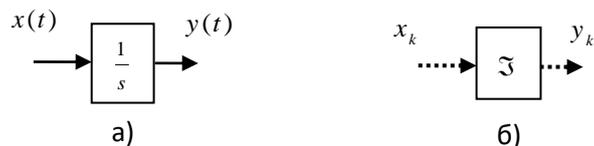
$$D(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_nz^{-n}}{1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_nz^{-n}} = \frac{a_0z^n + a_1z^{n-1} + a_2z^{n-2} + \dots + a_n}{z^n + b_1z^{n-1} + b_2z^{n-2} + \dots + b_n}$$

называется **дискретной передаточной функцией** цифрового фильтра. Таким образом, в операторной форме получаем $v_k = D(z)e_k$.

Фактически задача переоборудования сводится к тому, чтобы заменить передаточную функцию $C(s)$ непрерывного регулятора дискретной передаточной функцией цифрового фильтра $D(z)$ так, чтобы сохранить все существенные свойства системы.

Методы численного интегрирования

Простейшие методы переоборудования основаны на приближенной замене интегрирующего звена с передаточной функцией $1/s$ его дискретной моделью. Это позволяет получить дискретную передаточную функцию цифрового регулятора, сделав соответствующую замену в передаточной функции непрерывного регулятора $C(s)$.



Непрерывный и дискретный интеграторы

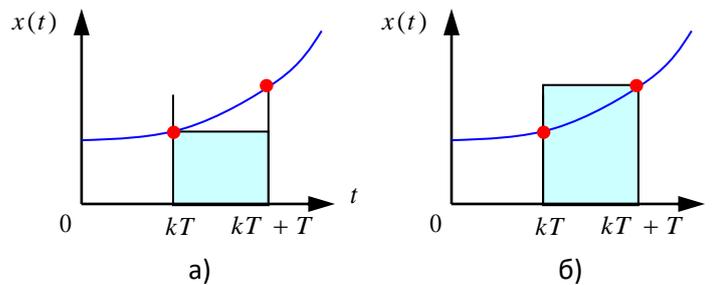
Пусть $x(t)$ и $y(t)$ — входной и выходной сигнал непрерывного интегратора. Если известно значение $y_k = y(kT)$, то

$$y_{k+1} = y(kT + T) = y_k + \int_{kT}^{kT+T} x(t) dt .$$

Такое звено приближенно заменяется дискретным интегратором, для которого

$$y_{k+1} = \mathfrak{Z}(y_k, y_{k-1}, \dots, x_{k+1}, x_k, \dots),$$

где $\mathfrak{Z}(\cdot)$ — некоторое правило построения следующего значения выхода по предыдущим значениям входа и выхода. Для решения этой задачи можно использовать любой метод численного интегрирования. Мы рассмотрим методы прямоугольников и трапеций.



Метод Эйлера (а) и метод обратных разностей (б)

При использовании метода Эйлера имеем

$$y_{k+1} = y_k + T x_k .$$

Используя оператор z (сдвиг вперед), получаем

$$z y_k = y_k + T x_k \quad \Rightarrow \quad \frac{y_k}{x_k} = \frac{T}{z - 1} .$$

Таким образом, переоборудование по **методу Эйлера** сводится к замене

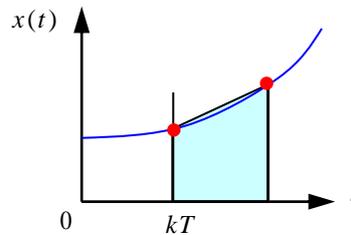
$$s \leftarrow \frac{z - 1}{T} .$$

Аналогично можно построить правило замены для **метода обратных разностей**:

$$s \leftarrow \frac{z-1}{zT}.$$

Из курса численных методов известно, что методы прямоугольников дают низкую точность. Более совершенен метод трапеций:

$$y_{k+1} = y_k + \frac{T}{2}(x_{k+1} + x_k).$$



Метод трапеций

Формула интегрирования по методу трапеций приводит к замене

$$s \leftarrow \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1},$$

которая называется **преобразованием Тастина** (или Тустена).

Для повышения точности аппроксимации можно использовать более сложные методы, например, замены

$$s \leftarrow \frac{3}{T} \cdot \frac{z^2-1}{z^2+4z+1},$$

$$s \leftarrow \frac{10}{T} \cdot \frac{z^4+z^3-z-1}{z^4+6z^3+6z^2+6z+1},$$

соответствующие методам интегрирования Симпсона и Уэддла. Их главный недостаток состоит в том, что порядок переоборудованного регулятора будет выше, чем порядок непрерывного.

Переоборудование ПИД-регулятора

Рассмотрим непрерывный ПД-регулятор с передаточной функцией

$$C_{pd}(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right).$$

Дискретизация с помощью методов Эйлера, обратных разностей и Тастина дает дискретные регуляторы вида

$$D_{pd}(z) = \frac{K_c [a_1 z + a_0]}{b_1 z + b_0},$$

где коэффициенты равны

метод Эйлера

$$a_1 = T_s + T_v, \quad a_0 = T - (T_s + T_v), \quad b_1 = T_v, \quad b_0 = T - T_v.$$

метод обратных разностей

$$a_1 = T + (T_s + T_v), \quad a_0 = -(T_s + T_v), \quad b_1 = T + T_v, \quad b_0 = -T_v.$$

преобразование Тастина

$$a_1 = T + 2(T_s + T_v), \quad a_0 = T - 2(T_s + T_v), \quad b_1 = T + 2T_v, \quad b_0 = T - 2T_v.$$

Все регуляторы имеют тот же самый порядок (равный 1), что и непрерывный регулятор. Полученные дискретные регуляторы только приближенно заменяют непрерывный, фактически они всегда будут работать несколько хуже, чем $C(s)$.

ПД-регулятор будем переоборудовать с помощью преобразования Тастина (интегрирования методом трапеций), которое является наиболее точным из этих методов. В системе MATLAB для этого можно использовать функцию **c2d** из пакета Control Toolbox:

>> Dpd = c2d (Cpd, T, 'tustin')

Здесь **Cpd** – модель (например, передаточная функция) непрерывного ПД-регулятора, **T** – интервал квантования.

Теперь рассмотрим интегральный канал:

$$C_I(s) = \frac{1}{T_I s}.$$

Используя рассмотренные выше методы переоборудования, получаем

метод Эйлера

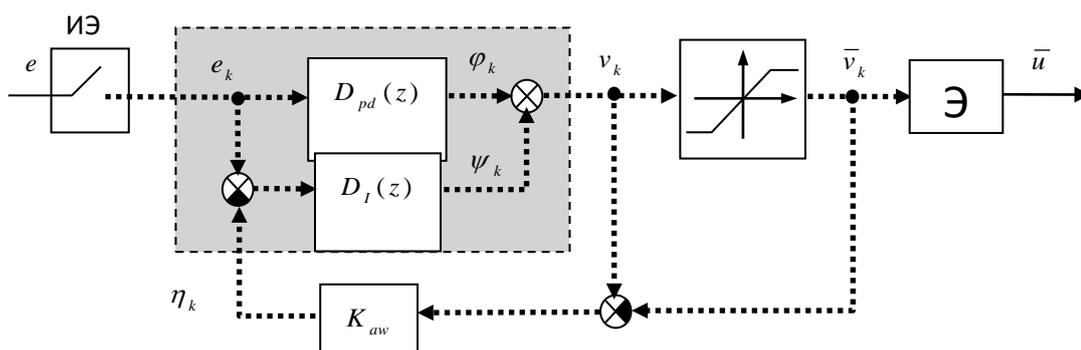
$$D_I(z) = \frac{T}{T_I(z-1)},$$

метод обратных разностей $D_I(z) = \frac{Tz}{T_I(z-1)}$,

преобразование Тастина $D_I(z) = \frac{T(z+1)}{2T_I(z-1)}$.

Как будет показано дальше, для переоборудования интегрального канала лучше использовать преобразование Эйлера.

Ниже показана схема цифрового регулятора с компенсацией насыщения:



Здесь сплошные линии обозначают непрерывные сигналы, а штриховые – дискретные (числовые последовательности). ИЭ обозначает импульсный элемент (АЦП), а блок Э – экстраполятор (ЦАП).

Алгебраические циклы

Пусть интегральный канал переоборудован по методу обратных разностей

$$D_I(z) = \frac{Tz}{T_I(z-1)},$$

что соответствует разностному уравнению

$$\psi_k = \psi_{k-1} + \frac{T}{T_I}(e_k - \eta_k).$$

(*)

Теперь построим выражение для сигнала $\eta_k = K_{aw}(v_k - \bar{v}_k)$. Учтем, что

$$v_k = \varphi_k + \psi_k \quad \text{И} \quad \bar{v}_k = \text{sat}(v_k) = \text{sat}(\varphi_k + \psi_k),$$

где функция $\text{sat}(\cdot)$ задает нелинейность типа «насыщение»:

$$\text{sat}(v_k) = \begin{cases} u_{\min}, & v_k < u_{\min}, \\ v_k, & u_{\min} \leq v_k \leq u_{\max}, \\ u_{\max}, & v_k > u_{\max}. \end{cases}$$

Объединяя эти формулы, получим разностное уравнение для вычисления ψ_k :

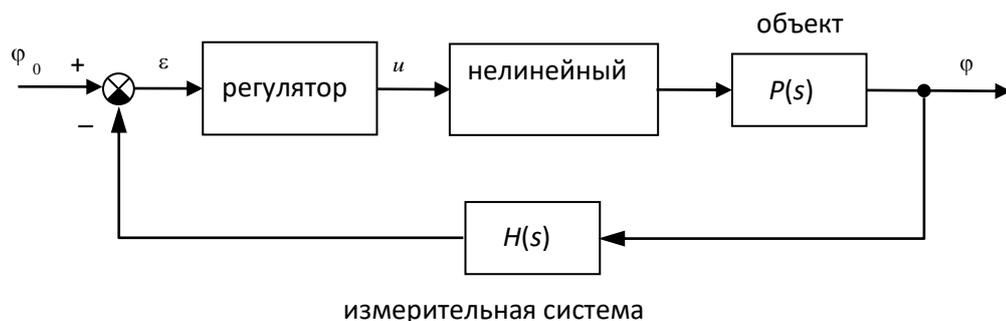
$$\psi_k = \psi_{k-1} + \frac{T}{T_I} [e_k - K_{aw} (\varphi_k + \psi_k - \text{sat}(\varphi_k + \psi_k))].$$

В этой формуле значение ψ_k , которое требуется рассчитать, входит и в правую часть! Это значит, что для вычисления ψ_k требуется не просто подставить в формулу известные значения, а решить нелинейное уравнение относительно ψ_k . Такое явление называется **алгебраическим циклом**, его желательно избегать. Более того, в сложных случаях это уравнение может не иметь решения вообще. Система MATLAB-SIMULINK выдает предупреждение в случае обнаружения алгебраического цикла (*algebraic loop*) при моделировании.

Для того, чтобы не было алгебраического цикла, правая часть разностного уравнения (аналогичного уравнению (*)) не должна зависеть от ψ_k . Это будет в том случае, если передаточная функция $D_I(z)$ – строго правильная, т.е., степень ее числителя меньше степени знаменателя. Из всех рассмотренных вариантов переоборудования интегратора этому условию удовлетворяет метод Эйлера, который мы и будем использовать в работе. При попытке применить метод обратных разностей или преобразование Тастина возникает алгебраический цикл, потому что степени числителя и знаменателя передаточной функции $D_I(z)$ равны.

Описание системы

В работе рассматривается система управления судном по курсу. Ее структурная схема показана на рисунке.



Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Линейная математическая модель, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\begin{aligned}\dot{\varphi} &= \omega_y \\ \dot{\omega}_y &= -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta\end{aligned}$$

где φ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность *рад/сек*. Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$P(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}.$$

Линейная модель привода (рулевой машины) представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией

$$R_0(s) = \frac{1}{T_R s},$$

охваченное единичной отрицательной обратной связью. На угол перекадки руля и скорость перекадки накладываются нелинейные ограничения

$$|\dot{\delta}(t)| < 3 \text{ } ^\circ / \text{сек} , \quad |\delta(t)| < 30 \text{ } ^\circ .$$

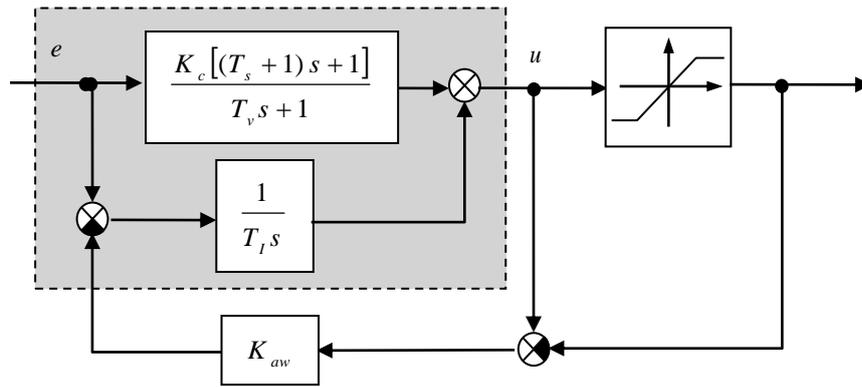
Для измерения угла рыскания используется гирокомпас, математическая модель которого записывается в виде аperiodического звена первого порядка с передаточной функцией

$$H(s) = \frac{1}{T_{oc} s + 1},$$

В непрерывной системе в качестве управляющего устройства используется ПИД-регулятор с передаточной функцией

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{T_s s}{T_v s + 1} \right) + \frac{1}{T_I s}, \text{ где } T_v = 1 \text{ сек и } T_I = 200 \text{ сек.}$$

Для компенсации эффекта насыщения, вызванного ограниченным углом перекадки руля, используется схема с внутренней нелинейной обратной связью, охватывающей интегратор в составе регулятора.

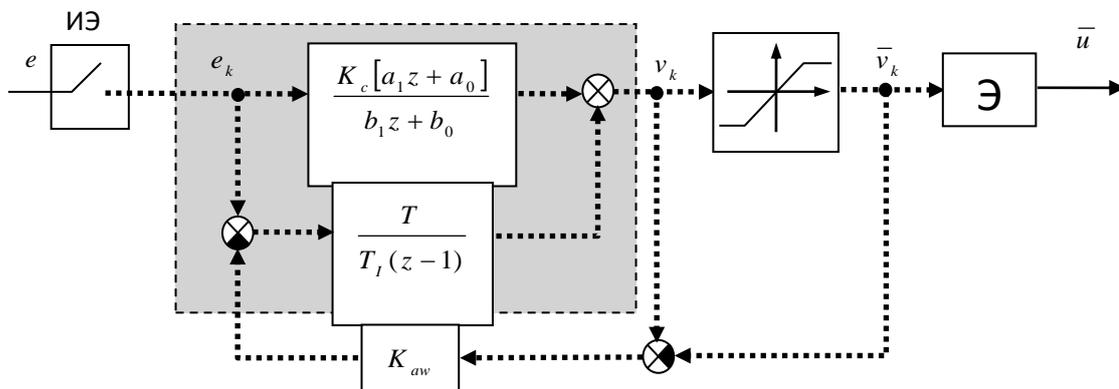


Для реализации регулятора используется цифровой компьютер с интервалом квантования T . Регулятор в расчетной схеме заменяется не последовательное соединение трех звеньев:

- 4) **импульсного элемента**, который выбирает из непрерывного сигнала $e(t)$ значения $e_k = e(kT)$ в моменты квантования $t_k = kT$ (при целых k); импульсный элемент моделирует аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 5) **линейного цифрового фильтра**, который преобразует дискретную последовательность e_k в управляющую последовательность v_k ; передаточная функция этого фильтра определяет закон управления;
- 6) **восстанавливающее устройство (экстраполятор)**, которое восстанавливает непрерывный сигнал управления $u(t)$ из последовательности v_k ; экстраполятор моделирует цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), чаще всего используется фиксатор нулевого порядка, который удерживает постоянное значение $u(t)$ в течение очередного интервала квантования:

$$u(kT + \varepsilon) = v_k, \quad 0 \leq \varepsilon < T.$$

Схема цифрового регулятора показана на рисунке:



Блок **ИЭ** обозначает импульсный элемент (АЦП), блок **Э** – экстраполятор (ЦАП). Точечные линии обозначают дискретные сигналы, сплошные линии – непрерывные.

Цифровые регуляторы обладают многими преимуществами в сравнении с классическими (непрерывными):

- отсутствует дрейф параметров элементов
- в цифровой форме можно реализовать сложные законы управления
- цифровые регуляторы легко перестраивать, настройка сводится к просто к замене алгоритма обработки измеряемых сигналов

В то же время между моментами квантования (моментами съема измеряемых сигналов и выдачи нового управляющего воздействия) система ведет себя как разомкнутая (неуправляемая). Это может привести к потере устойчивости (при больших интервалах квантования в сравнении с постоянной времени объекта) и скрытым колебаниям (колебаниям непрерывного сигнала, которые не проявляются в моменты квантования).

Для построения дискретной модели ПД-регулятора используется преобразование Тастина

$$s \leftarrow \frac{2}{T} \frac{z-1}{z+1},$$

соответствующее интегрированию по методу трапеций. Для рассматриваемого ПД-регулятора такая замена дает

$$D_{pd}(z) = \frac{K_c [a_1 z + a_0]}{b_1 z + b_0},$$

где коэффициенты равны

$$a_1 = T + 2(T_s + T_v), \quad a_0 = T - 2(T_s + T_v), \quad b_1 = T + 2T_v, \quad b_0 = T - 2T_v.$$

Для построения дискретной передаточной функции интегрального канала применяется метод интегрирования Эйлера (метод прямоугольников), т.е., замена

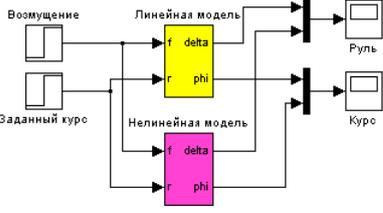
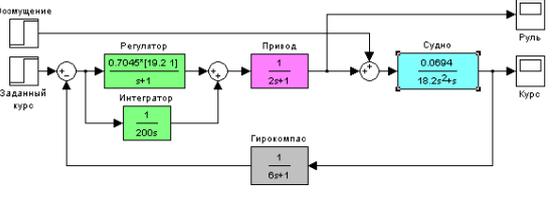
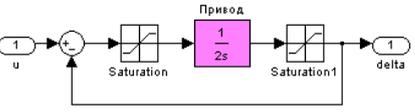
$$s \leftarrow \frac{z-1}{T}.$$

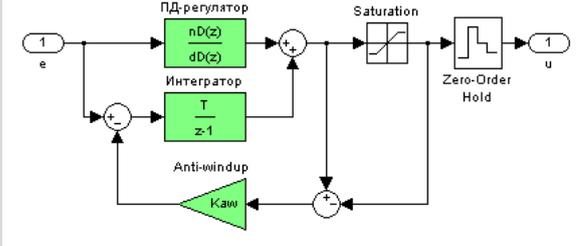
В ходе выполнения работы требуется построить цифровые реализации регулятора при различных интервалах квантования и сравнить переходные процессы в непрерывной и цифровой системе управления.

Инструкция по выполнению работы

Этап выполнения задания	Команды MATLAB
-------------------------	----------------

1. Сделайте свою папку рабочей папкой MATLAB.	ЛКМ по кнопке  справа от поля Current Directory
2. Создайте новый М-файл, в первой строчке наберите имя скрипта sysdata для загрузки исходных данных. Добавьте в него строчку, которая задает полученное в предыдущей работе значение $K_{ав}$. Сохраните файл с именем lab7go.m и выполните его.	File – New – M-file sysdata; Kaw = ... File – Save
3. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров) 1 T = 1; 2 Cpd = tf(Kc*[Ts+1 1], [1 1]); 3 Dpd = c2d (Cpd, T, 'tustin'); 4 [nD,dD] = tfdata (Dpd, 'v'); Комментарий: 1 – установить значение интервала квантования 1 с; 2 – построение передаточной функции ПД-регулятора; 3 – применение преобразования Тастина к передаточной функции Cpd; в результате будет построения соответствующая дискретная передаточная функция; 4 – числитель и знаменатель дискретной передаточной функции Dpd записываются в переменные nD и dD.	
4. Выполните скрипт lab7go.m .	клавиша F5
5. Откройте окно рабочей папки.	View – Current directory

<p>6. Соберите модель системы</p>	 <p>Где линейная модель</p>  <p>Нелинейная модель</p> 
<p>7. Сохраните модель в своей папке под именем lab7.mdl.</p>	 <p>File – Save as ...</p>
<p>8. Откройте подсистему Цифровая система - Регулятор. Удалите блоки ПД-регулятор и Интегратор.</p>	<p>ЛКМ выделить ЛКМ, нажать Delete</p>
<p>9. Откройте окно библиотеки блоков и скопируйте на освободившиеся места два блока Discrete Transfer Fcn (дискретная передаточная функция) из группы Discrete.</p>	<p>View – Library browser перетащить ЛКМ</p>

<p>10. Назовите новые блоки ПД-регулятор и Интегратор и задайте их параметры.</p>	<p>ПД-регулятор</p> <p>Numerator: nD</p> <p>Denominator: dD</p> <p>Sample time: T</p> <p>Интегратор</p> <p>Numerator: $[T]$</p> <p>Denominator: $Tz*[1 - 1]$</p> <p>Sample time: T</p>
<p>11. Добавьте на выход регулятора блок Zero-order hold (фиксатор нулевого порядка) из группы Discrete и установите интервал квантования T.</p>	<p>перетащить ЛКМ из окна Library browser</p> <p>Sample time: T</p>
<p>12. Соберите схему, показанную на рисунке. Скопируйте ее в отчет.</p>	
<p>13. Установите время моделирования 250 с.</p>	<p>Simulation – Simulation parameters – Stop time</p>
<p>14. Выполните моделирование и сравните переходные процессы в непрерывной и цифровой системах (они должны практически совпадать).</p>	<p>двойной щелчок ЛКМ по блокам Курс и Руль</p>
<p>15. Далее мы сравним переходные процессы в цифровых системах при различных интервалах квантования. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):</p> <pre> 1 close all; 2 figure(1); 3 subplot(2,1,1); 4 set(gca,'FontSize',16); 5 subplot(2,1,2); </pre>	

```
6 set(gca,'FontSize',16);
```

Комментарий:

1 – закрыть все рисунки;

2 – создать рисунок номер 1;

3 – разбить его на две части по вертикали (курс и угол перекаладки руля) и активизировать первый график;

4 – установить размер шрифта 16 пунктов;

5, 6 – те же операции для второго графика.

16. В цикле будем изменять интервал квантования T , строить новую дискретную модель ПД-регулятора, проводить моделирование и строить очередной график, не стирая существующий. Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):

```
1 aT = [2 3 5];
```

```
2 col = 'bgr';
```

```
3 for i=1:length(aT)
```

```
4 T = aT(i);
```

```
5 Dpd = c2d ( Cpd, T, 'tustin' );
```

```
6 [nD,dD] = tfdata ( Dpd, 'v' );
```

```
7 sim('lab7')
```

```
8 subplot(2,1,1);
```

```
9 plot(phi(:,1),phi(:,3),col(i));
```

```
10 hold on;
```

```
11 subplot(2,1,2);
```

```
12 plot(delta(:,1),delta(:,3),col(i));
```

```
13 hold on;
```

```
14 end;
```

Комментарий:

1 – создается массив интервалов квантования;

2 – создается символьный массив с обозначениями цветов графиков ('b' – синий, 'g' – зеленый, 'r' – красный);

3 – заголовок цикла, i – номер графика;

4 – выбрать значение интервала квантования из массива;

5 – построить дискретную модель ПД-регулятора с помощью преобразования Тастина;

6 – получить числитель и знаменатель этой модели;

7 – выполнить моделирование;

8 – перейти к первому графику;

9 – построить изменение угла курса, цвет линии определяется символом из массива col;

10 – при выводе следующего графика не стирать существующие кривые;

11-13 – те же операции для второго графика (угол перекадки руля);

14 – конец цикла

17. Остается построить (для сравнения) переходные процессы в непрерывной системе (второй столбец в массивах phi и delta). Добавьте в скрипт следующие строки (без номеров):

```
1 subplot(2,1,1);
2 plot(phi(:,1),phi(:,2),'k--');
3 legend('T=2', 'T=3', 'T=5', 'Непрерывная система');
4 h = get(gca, 'Children');
5 for i=1:4
6   set(h(i), 'LineWidth', 1.5);
7 end;
```

Комментарий:

1 – перейти к первому графику;

2 – строится переходный процесс в непрерывной системе, штриховая линия ('--') черного цвета ('k');

3 – выводится легенда;

4 – получить массив указателей на линии;	
5-7 – цикл для изменения толщины линий	
6 – установить толщину линий 1,5;	
18. Добавьте самостоятельно аналогичные команды для второго графика (используйте второй столбец массива delta).	
19. Выполните скрипт.	клавиша F5
20. Скопируйте график в отчет.	print –dmeta ПКМ - Вставить
21. Сделайте выводы о максимальном допустимом интервале квантования, при котором переходные процессы в цифровой системе практически совпадают с переходными процессами в непрерывной системе.	

Таблица коэффициентов

Вариант	T_s , сек	K , рад/сек	T_R , сек	T_{oc} , сек
1.	16.0	0.06	1	1
2.	16.2	0.07	2	2
3.	16.4	0.08	1	3
4.	16.6	0.07	2	4
5.	16.8	0.06	1	5
6.	17.0	0.07	2	6
7.	17.2	0.08	1	1
8.	17.4	0.07	2	2
9.	17.6	0.06	1	3
10.	17.8	0.07	2	4
11.	18.0	0.08	1	5
12.	18.2	0.09	2	6
13.	18.4	0.10	1	1

14.	18.6	0.09	2	2
15.	18.8	0.08	1	3
16.	19.0	0.07	2	4
17.	19.2	0.08	1	5
18.	19.4	0.09	2	6
19.	19.6	0.10	1	1
20.	18.2	0.0694	2	6

Практическая работа № 3

Исследование метода цифрового переоборудования непрерывного регулятора

Цели работы

- освоение технологии моделирования в среде MATLAB/SIMULINK
- освоение метода цифрового переоборудования непрерывного регулятора

Описание системы управления

Объект управления

В работе рассматривается задача стабилизации судна на курсе. Линейная математическая модель первого порядка, описывающая рыскание судна, имеет вид

$$\dot{\varphi} = \omega_y$$

$$\dot{\omega}_y = -\frac{1}{T_s} \omega_y + \frac{K}{T_s} \delta$$

где φ – угол рыскания (угол отклонения от заданного курса), ω_y – угловая скорость вращения вокруг вертикальной оси, δ – угол поворота вертикального руля относительно положения равновесия, T_s – постоянная времени, K – постоянный коэффициент, имеющий размерность сек^{-1} . Передаточная функция от угла поворота руля к углу рыскания запишется в виде

$$F(s) = \frac{K}{s(T_s s + 1)}$$

В лабораторной работе будем исследовать модель судна-контейнеровоза при

$$T_s = 18,2 \text{ сек}, \quad K = 0,0694 \text{ сек}^{-1}.$$

Привод (рулевая машина) приближенно моделируется звеном первого порядка

$$G(s) = \frac{K_R}{T_R s + 1},$$

с параметрами

$$T_R = 2 \text{ сек}, \quad K_R = 1.$$

Для измерения угла рыскания используется гироскоп, математическая модель которого записывается в виде апериодического звена первого порядка с передаточной функцией

$$G(s) = \frac{K_{oc}}{T_{oc} s + 1},$$

где для данной системы

$$T_{oc} = 6 \text{ сек}, \quad K_{oc} = 1.$$

Структурная схема системы стабилизации показана на рис. 1.

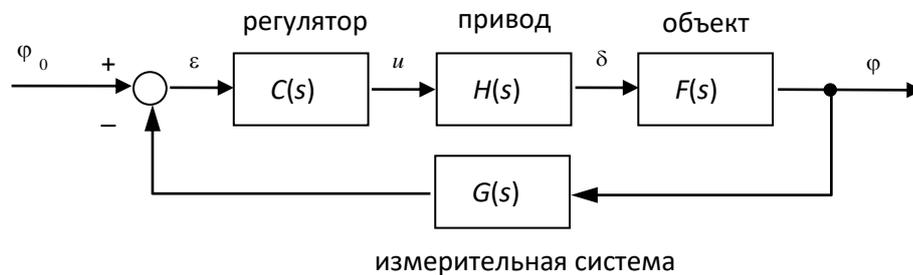


Рис. 1. Структурная схема системы стабилизации судна на курсе

Регулятор

На период установлен пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) непрерывный регулятор, который описывается передаточной функцией

$$C(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_I s} + \frac{T_D s}{T_V s + 1} \right)$$

с параметрами

$$K_c = 0,8, \quad T_I = 1000 \text{ сек}, \quad T_D = T_s = 18,2 \text{ сек}, \quad T_V = 1 \text{ сек}.$$

Задачи практической работы

- построить модель непрерывной системы в среде MATLAB/SIMULINK
- построить переходный процесс в непрерывной системе при изменении скорости вращения двигателя на 500 оборотов
- выполнить переоборудование непрерывного регулятора с помощью преобразования Тастина $s = \frac{2}{T} \cdot \frac{z-1}{z+1}$ при выборе интервала квантования $T = 1$ сек
- построить модель цифровой системы в среде MATLAB/SIMULINK
- сравнить переходные процессы в непрерывной и цифровой системах при изменении скорости вращения двигателя на 500 оборотов
- повторить процедуру для интервала квантования $T = 5$ сек, объяснить эффекты, наблюдающиеся при увеличении интервала квантования
- для последнего варианта рассчитать перерегулирование и время переходного процесса

Порядок выполнения работы

Подготовка исходных данных

1. Запустите систему MATLAB.
2. Введите данные для передаточной функции $F(s)$:

$$T_s = 18.2;$$

$$K = 0.0694;$$

$$F = \text{tf}(K, [T_s \ 1 \ 0])$$

$$[nF, dF] = \text{tfdata}(F, 'v')$$

Последняя строчка означает, что числитель и знаменатель скалярной передаточной функции $F(s)$ будут записаны в полиномы **nF** и **dF**.

3. Аналогично опишите все остальные передаточные функции (эти операции можно выполнить иначе, написав скрипт на языке системы MATLAB в виде файла).

Модель непрерывной системы

1. Запустите пакет SIMULINK, набрав в командном окне системы MATLAB

>> simulink

2. Создайте новую модель (**File – New – New model**).

3. Выберите группу элементов **Continuous** в окне **Simulink Library Browser** и перетащите в окно новой модели элемент **Transfer Fcn** (передаточная функция).

Сделайте двойной щелчок мышью по этому блоку и введите **nF** в поле **Numerator** и **dF** в поле **Denominator**. Это означает, что числитель и знаменатель передаточной функции $F(s)$ должны быть заданы в командном окне системы MATLAB как полиномы с именами **nF** и **dF**.

Щелкните на этом блоке правой кнопкой мыши и выберите пункт **Format – Flip name** из контекстного меню. При этом название блока должно переместиться вверх.

Щелкните на блоке левой кнопкой мыши и измените название блока на **Ship**.

4. Аналогично добавьте блоки, соответствующие рулевому устройству, измерительной системе и регулятору.

Чтобы изменить направление прохождения сигнала через блок обратной связи, дважды выберите пункт **Format – Rotate block** из контекстного меню.

5. Для того, чтобы смоделировать ступенчатый входной сигнал, перетащите блок **Sources – Step** из окна **Simulink Library Browser** в окно модели.

Сделайте двойной щелчок мышью по этому блоку и введите **0** в поле **Step time** и **500*pi/180** в поле **Final value** (изменение скорости вращения двигателя на 500 оборотов).

6. Для создания суммирующего элемента перетащите блок **Math operation – Sum** из окна **Simulink Library Browser** в окно модели.

Сделайте двойной щелчок мышью по этому блоку и введите **|-** в поле **List of signs** (второй вход – отрицательная обратная связь).

7. Для того, чтобы на выходе получить значения угла рыскания и угла перекладки руля в градусах, добавьте в модель два блока-усилителя (**Math operations - Gain**). Для каждого из них установите (щелкнув дважды по блоку) коэффициент усиления **180/pi**.

8. Для просмотра графиков изменения угла рыскания и угла перекладки руля добавьте в модель два блока-осциллографа (**Sinks – Scope**).

9. Соедините нужные входы и выходы блоков. Для этого надо нажать левую кнопку мыши на выходе элемента-источника сигнала и вести мышью к нужному входу элемента-приемника, где отпустить кнопку мыши. Для того, чтобы сделать развилку, например, при создании линии обратной связи, надо нажать на правую кнопку мыши в нужном месте линии и, не отпуская ее,

протянуть линию к входу нужного блока. В результате должна получиться схема, показанная на рис. 2.

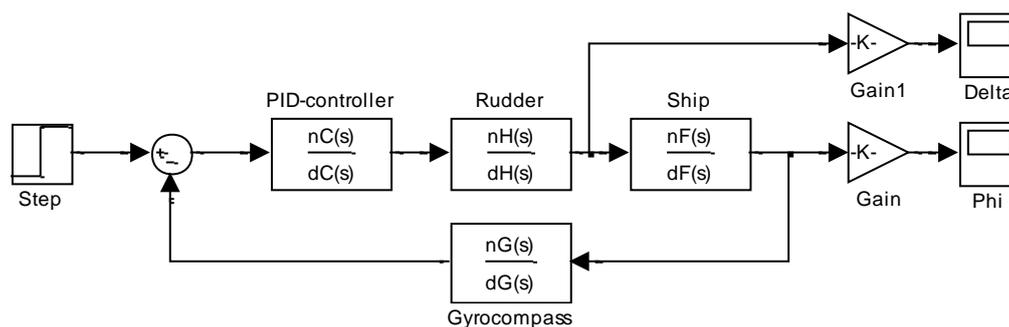


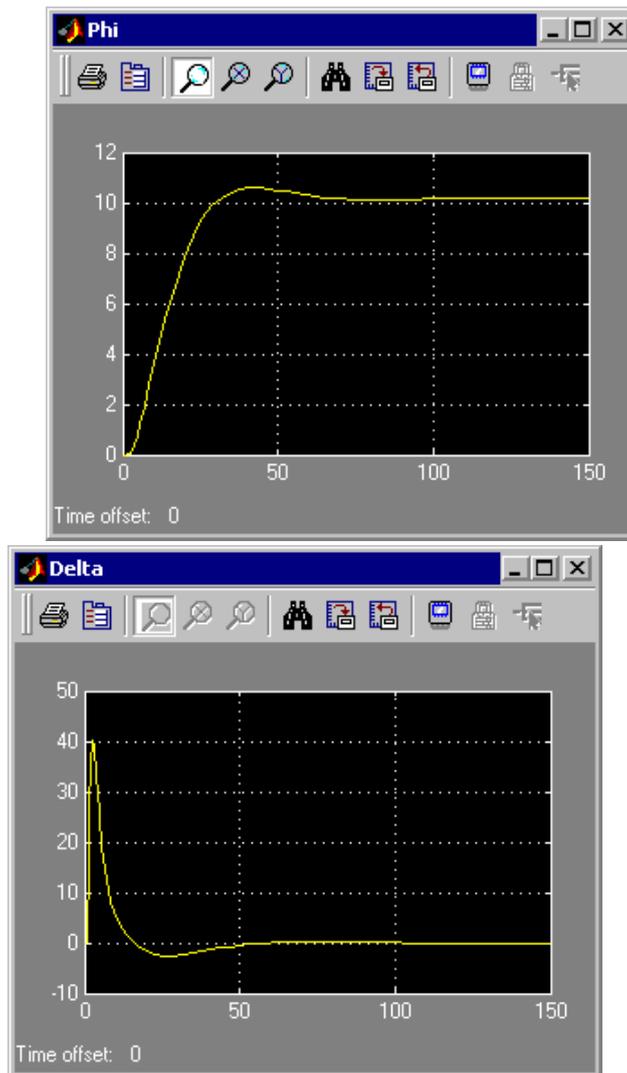
Рис. 2. Модель непрерывной системы стабилизации

Моделирование

1. Для установки времени моделирования (150 секунд) в окне модели выберите пункт меню **Simulation – Parameters** и установите для параметра **Stop time** значение **150**.

2. Для того, чтобы начать моделирование, щелкните по кнопке  или выберите пункт меню **Simulation – Start**.

3. Для того, чтобы посмотреть графики, щелкните дважды по блоку **Scope**. Если график не помещается в окно, для автоматического масштабирования щелкните по кнопке  в окне графика, а затем – по кнопке  (чтобы запомнить настройки). Таким образом настройте окна обоих элементов.



Переоборудование непрерывного регулятора

1. Перейдите в командное окно системы MATLAB. Для построение дискретного регулятора, переоборудованного по методу Тастина, введите команды

```
>> T = 1;
```

```
>> Cd = c2d ( C, T, 'tustin' );
```

```
>> [nCd,dCd] = tfdata ( Cd, 'v' ) ;
```

Первая из них определяет интервал квантования (1 сек), вторая – строит дискретный регулятор, полученный из регулятора C с помощью преобразования Тастина, а третья выделяет его числитель и знаменатель.

Моделирование цифровой системы управления

1. Перейдите в окно модели системы. На этом этапе надо построить модель цифровой системы и сравнить ее с исходной моделью. Для этого сделаем

так, чтобы каждый элемент **Scope** выводил два сигнала (от непрерывной и цифровой систем).

2. Обведите рамкой (при нажатой левой кнопке мыши) два элемента **Scope** вместе с усилителями и отделите их от системы, перетащив при нажатой клавише **Shift**.

3. Выделите все элементы замкнутого контура и скопируйте их (перетащив при нажатой клавише **Ctrl**) на свободное место ниже первой схемы.

4. В скопированной схеме удалите блок, соответствующий непрерывному регулятору, и установите на его место блок типа **Discrete Transfer Fcn** из группы **Discrete**. Сделайте двойной щелчок мышью по этому блоку и введите **nCd** поле **Numerator**, **dCd** поле **Denominator** и **T** поле **Sample time**.

5. Для того, чтобы объединить два сигнала в один векторный сигнал, используют блок-мультиплексор. Перетащите два таких блока (блоки **Mux** из группы **Signal routing** или, в других версиях, из группы **Connections**) в свою модель. На вход одного мультиплексора подайте сигналы выхода непрерывной и цифровой систем (углы рыскания), а на входы второго – сигналы управления (углы поворота руля). Выходы мультиплексоров соедините со входами усилителей перед блоками-осциллографами. Теперь в окне осциллографов будут выведены два графика.

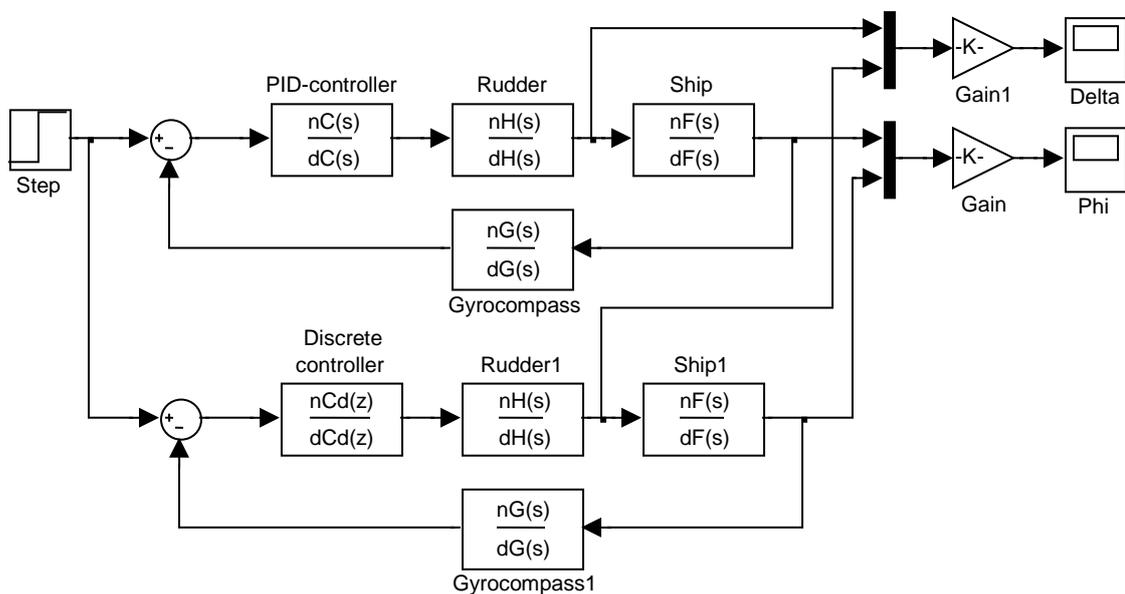


Рис. 3. Модель для сравнения непрерывной и цифровой систем

6. Выполните моделирование этой системы.

7. Выполните переоборудование для интервала квантования 5 сек и заново проведите моделирование. Объясните полученные результаты.

По графикам определите время переходного процесса и перерегулирование для непрерывной и цифровой систем.

У. Кейс банков

Кейс-стади (англ. case – набор, конкретная ситуация, stadi-обучение) – это метод обучения, основанный на реальной ситуации из жизни организации или же искусственно созданной ситуации, воссоздающей типичные проблемы, возникающие в организационной жизни и требующей от обучающихся поиска целесообразного решения.

Пример занятия по методу «Кейс-стади» Этапы работы над ситуацией в аудитории

Этапы	Содержание работы
1-этап	индивидуальное изучение текста ситуации и проанализировать ситуацию.
2-этап	разобраться в сути проблем, выделять варианты правильных и ошибочных решений.
3-этап	работа в составе малой группы, предложить возможные решения и выбрать лучшее из них, обсуждать с членами группы выбирать оптимального решения, принимать коллективные решения.
4-этап	представление «решений» каждой малой группы, общая дискуссия, вопросы, выступление преподавателя, его анализ ситуации.

1-мини кейс: При эксплуатации цеха водяного охлаждения, система автоматики регулирования уровня система вышла из стабильной работы. Основными причинами неустойчивости приводятся неправильно рассчитанные параметры регулятора.

Задание кейса

1: Проанализируйте систему управления

Исходные данные:

А) экспериментальная переходная функция ОУ.

t	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
$h(t)$	0	0.01	0.1	0.2	0.3	0.38	0.45	0.5	0.58	0.63	0.7	0.75	0.8	0.85	0.85

2: Рассчитайте переходную функцию системы.

2-мини кейс: Технические характеристики и задачи синтеза

Синтез СА и У заключается в выборе её структуры, параметров, которые при заданных ограничениях удовлетворяют определённым требованиям. При проектировании систем автоматизации и управления необходимо учитывать основные технические характеристики:

1. Статические характеристики: коэффициент усиления и чувствительность, линейность статической характеристики, минимальные и максимальные значения входов и выходных параметров, коэффициент добротности, входная и выходная мощность

2. Динамические характеристики: степень астатизма, частотные характеристики, показатели качества, запасы устойчивости и др.

3. Точностные характеристики: статическая точность, динамическая точность, точность при наличии возмущений, статистическая точность.

4. Эксплуатационные характеристики: эффективность применения, стабильность характеристик и параметров, устойчивость к возмущениям внешней среды (термостойкость, влагостойкость, и т.д.) радиационная стойкость, время готовности к работе, безопасность при эксплуатации, ремонтоспособность и взаимозаменяемость, габаритные размеры, требования к источникам питания и др.

5. Экономические характеристики: надёжность, воспроизводимость параметров и характеристик, КПД, ресурс работы, чувствительность технических параметров к величинам производственных допусков.

Конечная цель решения задачи синтеза-отыскания оптимальной структуры САиУ и её характеристики.

Задача: Из-за большого количества требований к характеристикам САиУ сформулировать единый критерий оптимальности представляется не возможным.

1.Для упрощения что можно предпринять?

2.Задача синтеза САиУ распадаются на каких этапах?

Решения: Для нахождения оптимального варианта необходимо просматривать несколько вариантов математической модели системы. Не все эти этапы охватываются математической теорией и относятся к инженерному искусству.

VI.ГЛОССАРИЙ

№	Русское название термина	Узбекское название термина	Английское название термина	Сущность
1.	<i>абстрактные системы</i>	<i>mavhum tizimlar</i>	<i>abstract system</i>	языки, системы счисления, идеи, планы, гипотезы и понятия, алгоритмы и компьютерные программы, математические модели, системы наук
2.	<i>входные параметры</i>	<i>kirish parametrlari</i>	<i>entry parameter</i>	представляющие сигналы, генерируемые системами, внешними по отношению к исследуемой, и влияющие на поведение системы
3.	<i>вероятные системы</i>	<i>ehtimolli tizim</i>	<i>possible system</i>	прогнозирующее
4.	<i>вещественные</i>	<i>moddiy</i>	<i>material</i>	объекты в реальном

	<i>системы</i>	<i>tizimlar</i>	<i>system</i>	времени
5.	<i>весовая функция</i>	<i>vazn funksiyasi</i>	<i>gravimetric function</i>	реакция от импульсного сигнала системы
6.	<i>граф</i>	<i>graf</i>	<i>graph</i>	$G(X, U)$ называется упорядоченная пара множеств: X и $U \subseteq X^2$
7.	<i>динамические системы</i>	<i>dinamik tizim</i>	<i>dynamical system</i>	состояние меняется со временем
8.	<i>дизъюнкция</i>	<i>diz`yunksiya</i>	<i>disjunction</i>	любого количества различных независимых переменных, входящих в нее в утвердительной или инверсной форме не более одного раза
9.	<i>единичный сигнал</i>	<i>bir pog`onali signal</i>	<i>unitary graph</i>	не изменяется амплитуда со временем
10.	<i>естественные системы</i>	<i>tabiiy tizimlar</i>	<i>natural systems</i>	объективно существующие в действительности. в живой и неживой природе и обществе
	<i>изолированный узел</i>	<i>izolyasiyalangan tugun</i>	<i>isolation pack</i>	неинцидентную никакому ребру
11.	<i>импульсные динамические системы</i>	<i>impulsli dinamik tizimlar</i>	<i>impulse dynamical system</i>	если информация предостал в дискретные моменты времени с

				помощью функций, принимающих произвольные значение
12	<i>интенсивность</i>	<i>intensivlik</i>	<i>intensive</i>	среднее число ситуации единичной времени
13	<i>картеж</i>	<i>kartej</i>	<i>cortege</i>	упорядоченные элементы
14	<i>квадратная матрица</i>	<i>kvadrat matritsa</i>	<i>quadrate matrix</i>	если $m = n$
15	<i>конъюнкция</i>	<i>kon `yunksiya</i>	<i>conjunction</i>	любого количества различных независимых переменных, входящих в нее в утвердительной или инверсной форме не более одного раза
16	<i>контур</i>	<i>kontur</i>	<i>contour</i>	конечный путь $\mu = (x_1, \dots, x_k)$, у которого начальная вершина x_1 совпадает с конечной x_k
17	<i>логические системы</i>	<i>mantiqiy tizimlar</i>	<i>logically system</i>	дедуктивное или индуктивное выражение вещественных систем
18	<i>логическая алгебра</i>	<i>mulohazalar algebrasi</i>	<i>logically algebra</i>	высказывание и выполняемые

				операции над ними
19	<i>линейные динамические системы</i>	<i>chiziqli dinamik tizimlar</i>	<i>linear dynamical system</i>	если она описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, интегральными и т. п.)
20	<i>линейные динамические системы</i>	<i>chiziqli dinamik tizimlar</i>	<i>linear dynamical system</i>	если она описывается линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, интегральными и т. п.)
21	<i>линеаризация</i>	<i>chiziqlantirish</i>	<i>linearization</i>	преобразовать нелинейных систем уравнений в линейных систем уравнений
22	<i>множества</i>	<i>to`plam</i>	<i>plenty</i>	совокупность вполне различных элементов, рассматриваемых как единое целое
23	<i>нелинейные динамические системы</i>	<i>nochiziqli dinamik tizimlar</i>	<i>non capital dynamical system</i>	имеется принцип суперпозиции
24	<i>нуль граф</i>	<i>0 graf</i>	<i>0 graph</i>	состоящий только из изолированных вершин

25	неориентированный граф	yo`naltirilmagan graf	non orientation graph	если направление не указывается
26	объединение множеств	to`plamlarning birlashmasi	combination plenty	объединением множеств X и Y называется множество, состоящее из всех тех и только тех элементов, которые принадлежат X или принадлежат Y
27	ориентированный граф	yo`naltirilgan graf	orientation graph	если указывается направление
28	определенный граф	aniqlangan graf	determined graph	граф которое его дуги имеет определенное число
29	однородный граф	bir jinsli graf	similar graph	если степени всех его вершин равны
30	простой (элементарный) контур	oddiy (elementar) kontur	elementary contour	если все его вершины различны

VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Ўзбекистон Республикаси Президентининг асарлари

1. Каримов И.А. Ўзбекистон мустақилликка эришиш оstonасида. - Т.:“Ўзбекистон”, 2011.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамыз. – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 488 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 592 б.

II. Норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар

4. Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси. – Т.: Ўзбекистон, 2019.
5. Ўзбекистон Республикасининг “Таълим тўғрисида”ги Қонуни.
6. Ўзбекистон Республикасининг “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Қонуни.
7. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муасасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сонли Фармони.
8. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-сонли Фармони.
9. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 3 февралдаги “Хотин-қизларни қўллаб-қувватлаш ва оила институтини мустаҳкамлаш соҳасидаги фаолиятни тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5325-сонли Фармони.
10. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 17 июндаги “2019-2023 йилларда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университетида талаб юқори бўлган малакали кадрлар тайёрлаш тизимини тубдан такомиллаштириш ва илмий салоҳиятини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4358-сонли Қарори.
11. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим тизимида бошқарувнинг янги тамойилларини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4391- сонли Қарори.
12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим соҳасида бошқарувни ислоҳ қилиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПФ-5763-сон фармони.
13. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 августдаги

“Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг узлуксиз малакасини ошириш тизимини жорий этиш тўғрисида”ги ПФ-5789-сонли фармони.

14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиqlаш тўғрисида”ги 2018 йил 21 сентябрдаги ПФ-5544-сонли Фармони.

15. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 майдаги “Ўзбекистон Республикасида коррупцияга қарши курашиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5729-сон Фармони.

16. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 февралдаги “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Ўзбекистон Республикаси Қонунининг қоидаларини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2752-сонли қарори.

17. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2909-сонли қарори.

18. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқларининг иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сонли қарори.

19. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Нодавлат таълим хизматлари кўрсатиш фаолиятини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 15 сентябрдаги ПҚ-3276-сонли қарори.

20. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий таълим муассасаларида таълим сифатини ошириш ва уларнинг мамлакатда амалга оширилаётган кенг қамровли ислохотларда фаол иштирокини таъминлаш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 2018 йил 5 июндаги ПҚ-3775-сонли қарори.

21. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 26 сентябрдаги “Олий таълим муассасалари педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 278-сонли Қарори.

Основные литературы:

22. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G`ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. Darslik. –Т.: O`qituvchi, 2011. - 576 b.

23. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.; ил.

24. Изерман А.Б. Цифровые системы управления. Учебник. -М.: Мир. 1989. – 541 с.

25. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.E., G'lomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. O'quv qo'llanma. –Т.: O'qituvchi. 1997. - 352 б.

26. Кодиров А.А. Динамические графовые модели в задачах автоматического управления. Учеб.пособие. -Т.: Фан. 1984. -288 с.

27. Автоматизированное управление технологическими процессами. Учебное пособие под ред. Яковлева В.Б. Л. АСУ, 1989. -364 с.

28. Стефани Е.П. Основы построения АСУТП. Учеб.пособие. -М.: Энергоиздат. 1982. -318 с.

29. Рей У. Методы управления технологическими процессами. Учеб.пос. -М.: Мир. 1983. -368 с.

Интернет сайты

1. <http://www.toehelp.ru/theory/tau/contents.html>.
2. <http://www.zdo.vstu.edu.ru/html/course.html>.
3. <http://ziyonet.uz/uzc/library/libid/030100>
4. <http://ziyonet.uz/uzc/library/libid/010000>
5. [http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20\(72\).html](http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/qollanma/tekstil-im%20(72).html)
6. [http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/Darsliklar/tekstil-im%20\(71\).html](http://titli.uz/index.php/ru/axborot-resurslari1/Darsliklar/tekstil-im%20(71).html)