

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

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

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

УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по модулю

**«ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»**

направление

**«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ИНЖЕНЕРИИ»**

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.....	44
V.	Банк кейсов	56
VI.	Глоссарий	58
VII.	Список литературы	66

I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Введения

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 включает в себя изучение теоретических и практических основ теории управления, средства, методы, структуру, организацию и проведение занятий по модулю.

Цель и задачи модуля

Цель и задача модуля «Идентификация и моделирование технологических объектов» 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 «Идентификация и моделирование технологических объектов» должен:

иметь представление о:

- основные проблемы данного предмета взаимосвязи с одной единой системой знаний;
- роль и место идентификации и моделирования;
- сущность будущей профессии и социальное значение;

знать и применять:

- тенденция развития моделирование;
- автоматизация процесса производства, управление с помощью компьютерной техники, знание достижений науки, техники и технологии;
- иметь навыки о математическом моделировании и управление процессами с помощью моделей;

иметь навыки:

- проблемы и пути моделирования объектов на ЭВМ и их системы управления;

иметь навыки по задачам составление статических и динамических моделей типичных процессов.

Рекомендации по организации и проведения модуля

Модуль «Идентификация и моделирование технологических объектов» 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 «Идентификация и моделирование технологических объектов» 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 «Идентификация и моделирование технологических объектов» в системе высшего образования.

Организация эффективного и плодотворного образования путем создания новых инновационных технологий обучения дисциплин направления модуля «Идентификация и моделирование технологических объектов» 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			
				Теоретические	Практические	Выездные занятия	Самостоятельная работа
1	Основные сведения об идентификации и моделировании	4	4	2	2		
2	Идентификация структуры модели	4	4	2		2	
3	Построение динамической модели объекта управления	8	8	4		4	
4.	Векторно-матричные модели систем управления в дискретном времени	2	2		2		

5.	Вычислительные алгоритмы формирования векторно-матричных моделей в дискретном времени	4	4		4		
Общие		22	22	8	8	6	

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

1-тема: Основные сведения об идентификации и моделировании

Введение. Основные сведения об идентификации и моделировании.
Идентификация объекта управления графо-аналитическим методом

2-тема: Идентификация структуры модели.

Идентификация как метод построения моделей. Идентификация структуры модели. Методы упрощения моделей

3-тема. Построение динамической модели объекта управления.

Построение статической модели объекта управления. Построение динамической модели объекта управления.

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие: Основные сведения об идентификации и моделировании

Описание объекта управления. Нахождение коэффициентов одномерных линейных статических объектов.

2-практическое занятие: Векторно-матричные модели систем управления в дискретном времени.

Нахождение коэффициентов линейно статических объектов с двумя входами и одним выходом. Нахождение коэффициентов линейно статических объектов с двумя входами и двумя выходами.

**3-практическое занятие: Вычислительные алгоритмы
формирования векторно-матричных моделей в дискретном
времени.**

Нахождение коэффициентов линейно статических моделей относительно параметрам. Оценка постоянного времени динамического звена. Оценка параметров динамического колебательного звена.

Выездные занятия:

1-тема: Идентификация структуры модели

2-тема: Построение динамической модели объекта управления

Знакомство слушателей с научной лабораторией кафедры «Системы обработки информации и управления». ТашГТУ.

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 обучения 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?
- 3.

"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 насколько 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

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 регулирование уровня система вышла из стабильной работы.

Основными причинами неустойчивости 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: ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ

План:

1. Модели, типы моделей и их использование.
2. Идентификация как метод построения моделей
3. Математический аппарат теории идентификации.
4. Основные подходы к построению алгоритмов идентификации.

Опорные слова: модель, физическая модель, математическая модель, статическая модель, динамическая модель, детерминированная модель, стохастическая модель, дискретная модель, непрерывная модель, линейная модель, нелинейная модель, сосредоточенная модель, распределенная модель, стационарная модель, нестационарная модель,

1.1. Модели, типы моделей и их использование.

Одним из главных элементов, необходимых для эффективного решения сложных задач, является построение и соответствующее использование модели.

Модель – представление объекта или системы в некоторой форме, отличной от формы их реального существования.

Очевидно, что модели могут принимать самую разную форму и записываться с разной степенью математической детализации. Выбор того уровня сложности, который делает модель полезной, определяется планируемым ее использованием.

В повседневной практике при работе с системами пользуются умозрительными (субъективными) моделями, в которых математики нет вообще. Примерами таких моделей могут служить алгоритмы функционирования, правила управления системами и т.д.

Для описания свойств некоторых объектов и систем подходят числовые таблицы и (или) графики. Такие описания обычно называют графическими моделями. Например, линейные системы автоматического управления (САУ) могут быть представлены своими импульсными реакциями, реакциями на единичный скачок или частотными характеристиками. Соответствующие графические представления широко используются при проектировании и исследовании САУ.

В более сложных приложениях используются математические модели, в которых соотношения, описывающие связи между переменными объекта, задаются в виде определенных уравнений. Поэтому такие модели иногда называют аналитическими моделями. Математические модели представляют собой формализованные математические описания, отражающие с требуемой точностью процессы, происходящие в исследуемом объекте. Математические модели могут быть снабжены набором поясняющих прилагательных (линейные, нелинейные, дискретные, непрерывные, детерминированные, стохастические и т.д.) в зависимости от типа исследуемых уравнений.

В процессе машинного моделирования моделью системы является программа для ЭВМ. Программа, которой описывается поведение сложных систем, может представлять собой совокупность взаимодействующих между собой подпрограмм и просмотрных таблиц. Формализация такой совокупности в виде некоторой математической модели может оказаться трудноразрешимой задачей. Такие компьютеризованные представления называют программными (или машинными) моделями. Такие модели в настоящее время играют большую роль в процессе принятия оптимальных решений в сложных системах.

Модели можно классифицировать различными способами. Однако ни один из них не является полностью удовлетворительным, хотя каждый из

них служит определенной цели. Укажем некоторые типовые альтернативные группы моделей:

- физические (натурные) и математические (символьные);
- статические и динамические;
- детерминированные и стохастические;
- дискретные и непрерывные;
- линейные и нелинейные;
- сосредоточенные и распределенные;
- стационарные и нестационарные.

Физическими моделями являются модели, в которых свойства реального объекта представляются свойством такого же объекта (макета) или некоторым другим свойством аналогичного по поведению объекта.

К математическим моделям относятся те, в которых для представления процесса используются символы, а не физические устройства.

Математическую модель можно представить в виде множества величин, описывающих процесс функционирования реального объекта:

а) совокупность управляемых входных воздействий на объект

$$u_i \in U, i = \overline{1, n}; \vec{u}(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t));$$

б) совокупность неуправляемых входных воздействий

$$z_i \in Z, i = \overline{1, m}; \vec{z}(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_m(t));$$

в) совокупность внутренних (собственных) параметров объекта

$$x_i \in X, i = \overline{1, r}; \vec{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_r(t));$$

г) совокупность выходных характеристик объекта (переменных состояния)

$$y_i \in Y, i = \overline{1, l}; \vec{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_l(t));$$

Структура моделируемого объекта имеет вид представленный на рис. 1

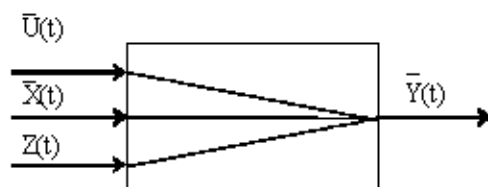


Рис. 1.1.

Входные переменные $\bar{u}, \bar{x}, \bar{z}$ являются независимыми (экзогенными), а выходные - зависимыми (эндогенными) переменными.

Процесс функционирования объекта описывается во времени оператором F , который преобразует независимые переменные в зависимые

$$y(t) = F(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}, t) \quad (1.1)$$

Совокупность зависимостей выходных характеристик объекта от времени $y_i(t), i = \overline{1, l}$ называется выходной траекторией $\bar{y}(t)$.

Зависимость (1.1) называется законом функционирования объекта. В общем случае закон функционирования объекта может быть задан в виде функции, функционала, логических условий, в алгоритмической и табличной формах или в виде словесного правила соответствия.

Весьма важным для описания и исследования объекта является понятие алгоритма функционирования, под которым понимается метод получения выходных характеристик $\bar{y}(t)$ с учетом входных воздействий $\bar{u}(t), \bar{x}(t), \bar{z}(t)$.

Очевидно, что один и тот же закон функционирования может быть реализован различными способами, т.е. с помощью множества различных алгоритмов функционирования.

Соотношения (1.1) являются математическим описанием поведения объекта моделирования во времени t , т.е. отражают его динамические свойства. Поэтому математические модели такого вида называются **динамическими**. Они описывают изменения параметров во времени, например:

$$\frac{d\bar{y}(t)}{dt} = f(\bar{u}(t), \bar{x}(t), \bar{z}(t), \bar{y}(t)) \quad (1.2)$$

Инженеру очень часто приходится сталкиваться с такими моделями при разработке новых технологических процессов, изделий, средств и систем автоматического управления. В сущности любая задача проектирования, связанная с расчетом потоков энергии или движения тел, в конечном счете сводится к решению дифференциальных уравнений.

Статические модели описывают процессы не изменяющиеся во времени, т.е. поведение объекта в установившихся режимах

$$\bar{y} = f(\bar{x}, \bar{u}, \bar{z}) \quad (1.3)$$

Статические модели используют, как правило, при проектной оптимизации объекта.

Обычно динамическая модель задается в виде дифференциальных уравнений, а статическая – в виде алгебраических или трансцендентных.

Модели, у которых существует жесткая связь между переменными, называют **детерминированными**. Такие модели не содержат случайных факторов и значения выходных переменных однозначно определяются значениями входных переменных.

Стохастическая (вероятностная) модель отражает воздействие случайных факторов. Поэтому между входными и выходными переменными существует не функциональная зависимость (детерминированная модель), а вероятностная. Обычно переменные состояния объекта оцениваются в терминах математического ожидания, а входные воздействия - вероятностными законами распределения.

Непрерывная модель описывает непрерывные изменения переменных объекта в течении определенного промежутка времени, например:

$$\frac{dy(t)}{dt} = f(u(t), x(t), z(t), y(t)), t_j \leq t \leq t_{j+1}$$

Дискретная модель описывает зависимость между переменными объекта в дискретные моменты времени, например:

где t_j – начало j -ой стадии моделирования объекта;

t_{j+1} – ее конец, т.е. состояние объекта в момент времени t_{j+1} определяется по известному его состоянию в момент t_j при условии, что $u(t_j)$, $x(t_j)$, $z(t_j)$, $y(t_j)$ известны и остаются постоянными.

У **линейной** модели существует пропорциональная связь между входными и выходными переменными. Модели, не удовлетворяющие этому условию, являются **нелинейными**.

Динамическая модель, которая описывает изменение переменных объекта только во времени, называется динамической моделью с **сосредоточенными** параметрами (искомая величина зависит только от одной переменной). Эти модели содержат одну или несколько производных от переменных состояния $\vec{y}(t)$ и представляют собой обыкновенные дифференциальные уравнения. Их можно записать в виде:

$$F(t, x(t), u(t), z(t), y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t)) = 0 \quad (1.4)$$

Полная математическая модель наряду с дифференциальным уравнением (1.4) при решении практических задач содержит также некоторые дополнительные условия (например, значения искомым переменных y) в начальный момент времени t_0 , называемыми **начальными условиями**:

$$y(t_0) = y_0, y'(t_0) = y'_0, \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)},$$

Во многих практических задачах искомая задача зависит от нескольких переменных. В этом случае математическая модель содержит частные производные и называется **моделью с распределенными параметрами**.

Если одной из независимых переменных является время t , то такая модель дает описание динамики процесса как во времени, так и в

пространстве. Полная математическая модель содержит дифференциальное уравнение в частных производных, начальные условия и граничные условия если математическая модель определена в ограниченном пространстве. Примером такой модели может служить модель теплопроводности или диффузии (параболическое уравнение):

$$\frac{\partial y(t, x)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 y(t, x)}{\partial x^2} \quad (1.5)$$

где y – параметр состояния (температура или концентрация);

t – время;

x – пространственная координата (толщина материала);

a – константа,

при заданных начальных и граничных условиях.

В настоящее время трудно назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы модели и методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации.

Идея представления объекта или системы при помощи модели носит столь общий характер, что дать полную классификацию всех функций модели затруднительно. Можно привести по крайней мере следующие основания области применения моделей в инженерной практике:

- управление сложными объектами и системами (техническими, экономическими, социальными и т.д.);
- проектирование технических объектов и систем;
- прогнозирование и диагностика с использованием модели объекта;
- создание средств обучения и тренажа;
- постановка численных экспериментов на имитационной модели объекта.

Математическое моделирование является составной частью всех технических и естественно – научных дисциплин. Действительно, основная задача техники заключается в том, чтобы используя математическую модель, найти хорошее проектно-конструкторское решение, оптимальное управление объектами, наилучшее распределение ресурсов, оптимальный план производства и т.д.

Математические модели являются также мощным инструментальным средством решения задач имитационного моделирования и предсказания (прогнозирования) поведения моделируемых объектов при различных ситуациях, которые часто возникают не только в технике, но и в экономике, экологии, биологии и других областях знания.

Модели широко применяются в качестве средств профессиональной подготовки и обучения лиц, которые должны уметь справляться с всевозможными случайностями до возникновения реальной критической ситуации. Широко известны такие применения моделей, как натурные макеты или модели космических летательных аппаратов, используемые для тренировки космонавтов, тренажеры, для обучения водителей, деловые игры для обучения персонала, принимающего решения.

Применение моделей позволяет проводить контролируемые эксперименты в ситуациях, когда экспериментирование на реальных объектах практически невозможно или экономически нецелесообразно. При экспериментировании с моделью сложной системы мы часто можем узнать больше о ее внутренних взаимодействующих факторах, чем могли бы узнать, проведя эксперименты с реальной системой. Это становится возможным благодаря наблюдаемости переменных структурных элементов модели, благодаря тому, что мы можем контролировать ее поведение при различных внешних воздействиях, легко изменять ее параметры.

Резюмируя изложенное выше отметим, что модель может служить для достижения одной из двух основных целей: либо описательной, если модель служит для объяснения и (или) лучшего понимания объекта, либо предписывающей, когда модель позволяет предсказать и (или) воспроизвести характеристики объекта, определяющие его поведение.

1.2.Идентификация как метод построения моделей

Построение моделей опирается в основном на данные наблюдений. Существует два способа (а также комбинации) формирования математических моделей.

В первом способе исследуемая система расчленяется на такие подсистемы, свойства которых очевидны из ранее накопленного опыта. По существу, это означает, что мы опираемся на известные законы природы и другие надежные соотношения, основанные на ранее проведенных экспериментальных исследованиях. Формальное математическое объединение этих подсистем становится моделью всей системы. Такой подход называется моделированием или аналитическим методом построения моделей. В его рамках проведение натурального эксперимента не обязательно. Конкретный вид процедуры моделирования сильно зависит от прикладной задачи и часто определяется традиционными и специфическими средствами из рассматриваемой прикладной области. Основной прием сводится к структуризации процесса в виде блок-схемы, блоки которой состоят из более простых элементов. Процесс восстановления системы по этим простым блокам чаще всего выполняется с помощью ЭВМ и приводит не к математической, а к машинной модели системы.

В другом способе построения моделей непосредственно используются экспериментальные данные. В этом случае ведётся регистрация входных и выходных сигналов системы, и модель формируется

в результате обработки соответствующих данных. Этот способ называется идентификацией.

Задача идентификации. Задача идентификации формулируется следующим образом: по результатам наблюдений за входными и выходными переменными объекта построить оптимальную в некотором смысле его модель. При этом объект находится в нормальном режиме функционирования (т. е. в обстановке случайных возмущений и помех). Иными словами, если объект описывается некоторым неизвестным оператором F_0 , то имея измеренные значения входа и выхода необходимо построить оценку F , оператора объекта, оптимальную в смысле некоторого критерия.

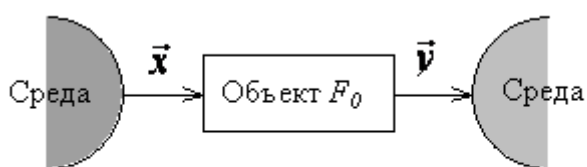


Рис. 1.2

Рис.1.2 иллюстрирует взаимодействие идентифицируемого объекта со средой. Это взаимодействие происходит по каналам \vec{X} и \vec{Y} . По

каналу \vec{X} среда воздействует на объект, а по каналу \vec{Y} объект воздействует на среду. Задача идентификации сводится к определению оператора модели F , связывающего вход и выход объекта

$$\vec{Y} = F(\vec{X}) \quad (1.6)$$

Так как часто отсутствует модель среды, воздействующей на объект, то его вход естественно рассматривать как случайную функцию времени $\vec{X} = \vec{X}(t)$, статистические свойства которой в общем случае неизвестны. Однако известны наблюдения входа и выхода объекта, т.е. реализации функций $\vec{X}(t)$ и $\vec{Y}(t)$. На объект может воздействовать ненаблюдаемые факторы $\vec{Z}(t)$, которые рассматриваются как случайные помехи.

Пусть x_1, \dots, x_n — наблюдения входа объекта, а y_1, \dots, y_n — соответствующие им наблюдения его выхода в дискретные моменты

времени t_1, t_2, \dots, t_n . Эти наблюдения связаны неизвестным оператором объекта F_0 , т.е. $y_i = F_0(x_i)$ ($i = \overline{1, n}$). Задача идентификации заключается в построении (синтезе) модельного оператора F , т.е. в получении оценки F по наблюдениям x_i, y_i в дискретные моменты времени t_i (в общем случае реализации $\dot{x}(t), \dot{y}(t)$ — непрерывны).

Таким образом, идентификация — это синтез оптимального модельного оператора F исследуемого объекта с использованием результатов наблюдений за его входными и выходными переменными.

Классификация идентификации. В соответствии с современной теорией можно предложить следующую классификацию идентификации:

1) по конечному результату идентификации:

- структурная;
- параметрическая;

2) по способу изучения объекта идентификации:

- активная;
- пассивная;

3) по типу идентифицируемой модели:

- линейная и нелинейная;
- детерминированная и стохастическая;
- с непрерывным и дискретным временем;
- стационарная и нестационарная;
- одномерная и многомерная;
- статическая и динамическая;
- с сосредоточенными и распределёнными параметрами.

Успех идентификации объекта существенно зависит от соотношения двух факторов: объема априорной информации о структуре объекта и объема измерительной информации. Априорные сведения помогают определить структуру модели, т.е. ее вид (число входов и выходов, характер

связи между ними). Эту процедуру называют идентификацией в широком смысле, или структурной идентификацией.

При структурной идентификации объем априорной информации об объекте весьма ограничен. Поэтому необходимо решить следующие задачи:

- выделение объекта из среды;
- задание класса моделей;
- определение характера связи между входом и выходом модели объекта;
- определение рационального числа информативных переменных (входов и выходов объекта), учитываемых в модели;
- определение возможности представления модели с требуемой точностью в классе линейных операторов и другие.

Структура модели ещё не сама модель, и для определения ее параметров необходимо располагать измерениями. Задачу определения параметров модели по наблюдениям работы объекта при заданной структуре модели называют идентификацией в узком смысле или параметрической идентификацией. Например, известна система уравнений, описывающая некоторый объект. Необходимо определить только коэффициенты уравнений.



является его реакция на испытательный сигнал. При этом в современной теории идентификации широко применяются методы оптимального планирования эксперимента.

При пассивном способе идентификации в качестве реализаций входа $\bar{X}(t)$ и выхода $\bar{Y}(t)$ объекта принимают естественные их изменения в процессе нормального функционирования объекта.

Критерии идентификации. Формирование критерия качества, характеризующего адекватность модели реальному объекту, является одним из основных этапов идентификации.

Пусть реальный объект описывается оператором F_0 , т.е. $y(t) = F_0(x(t), z(t))$, который нельзя найти, но можно сделать его оценку. Применяя некоторый алгоритм идентификации (АИ), необходимо построить модель $y_M(t) = F(x(t))$ с оптимальным оператором F , достаточно близким к F_0 .

Но близость операторов непосредственно оценить трудно или просто невозможно, тем более что часто об операторе объекта мало известно. В связи с этим естественно оценивать близость операторов по их реакциям на одно и то же входное воздействие $x(t)$, т.е. по выходам объекта:

$$y(t) = F_0(x(t), z(t))$$

и модели $y_M(t) = F(x(t))$, где $z(t)$ — ненаблюдаемое возмущение (рис.1.3)

В общем случае $x(t)$ и $y(t)$ могут быть как детерминированными, так и случайными функциями времени.

Оптимальный оператор F модели ищется в смысле некоторого критерия, связанного с выходами $y(t)$ и $y_M(t)$. С этой целью вводится понятие функции потерь (функции невязки) $A[y(t), y_M(t)]$, которая в любой фиксированный момент времени t зависит от выходов объекта и модели и не зависит от оператора. Эта скалярная неотрицательная функция

векторных аргументов — выходов объекта и модели. В процессе идентификации эта функция минимизируется.

Для ряда практических задач наиболее естественной, а иногда и единственно возможной является оценка эффективности идентификации по максимально возможному на рабочем отрезке времени $0 \leq t \leq T < \infty$ отклонению. Тогда проблема идентификации является по существу задачей минимизации максимального отклонения (детерминированный случай):

$$\rho(y, y_M) = \max_{t \in [0, T]} |y(t) - y_M(t)| \rightarrow \min, \quad (1.7)$$

При наличии случайных возмущений и шумов, действующих на объект, в качестве критерия выбирается не само отклонение, которое так же является случайным, а его математическое ожидание (стохастический случай):

$$\rho(y, y_M) = M|y(t) - y_M(t)| \rightarrow \min. \quad (1.8)$$

Значение критериев (1.7) и (1.8) едва ли оспоримо, однако в практических расчётах они почти не используются. Это связано с недостаточной разработанностью аналитических приёмов.

Наиболее часто функция потерь используется в виде квадрата отклонения:

$$\rho(y, y_M) = \max_{t \in [0, T]} (y(t) - y_M(t))^2 \rightarrow \min; \quad (1.9)$$

$$\rho(y, y_M) = M[(y(t) - y_M(t))^2] \rightarrow \min. \quad (1.10)$$

В случае наличия непрерывных реализаций входа и выхода объекта в течение интервала времени $[0, T]$:

$$\rho(y, y_M) = \int_0^T [y(t) - y_M(t)]^2 dt \rightarrow \min. \quad (1.11)$$

Если реализации входа $x(t)$ и выхода $y(t)$ объекта получены в дискретные моменты времени $t_i (i = \overline{1, n})$, тогда:

$$\mathcal{A}(y, y_M) = \sum_{i=1}^n [y(t_i) - y_M(t_i)]^2 \rightarrow \min. \quad (1.12)$$

В отдельных практических задачах автоматического управления в качестве мер сравнения можно принимать различные характеристики (временные, частотные и т.д.) объекта и модели. Критерием идентификации в этом случае является рассогласование этих характеристик. Однако, если модель используется в самонастраивающейся системе автоматического управления, настройка модели по динамическим характеристикам требует наличие измерителей динамических характеристик объекта и модели, что приводит к конструктивному усложнению САУ и уменьшению быстродействия контуров самонастройки. Поэтому приведенные выше критерии, использующие информацию о выходах объекта и модели, более предпочтительны.

1.3. Математический аппарат теории идентификации.

Для идентификации детерминированных объектов принимают регулярные функции, связывающие входы и выходы объекта. Это обстоятельство и породило первый подход теории идентификации, который появился в математическом анализе в виде теории приближения функций многочленами и ведёт своё начало от трудов Чебышева. Это направление связано с представлением функции в виде разложения по некоторой системе функций (чаще всего по системе полиномов).

Теория приближения имеет две ветви – теорию аппроксимации и теорию интерполяции. Последняя характерна тем, что интерполирующая функция совпадает с исходной в заданном числе точек.

Для идентификации стохастических объектов применяются методы математической статистики, что даёт начало теории оценивания. Основной задачей этой теории является оценка параметров стохастического объекта по наблюдениям в обстановке случайных помех. Другим направлением математической статистики для целей идентификации статических

стохастических объектов стала теория планирования экспериментов, которая рассматривает активные эксперименты с целью повышения эффективности идентификации.

Третьим подходом к решению задач идентификации являются методы теории систем автоматического управления. Эта теория породила специальные методы идентификации динамических объектов управления в режиме нормальной эксплуатации (т.е. в обстановке случайных возмущений и помех). Именно к этим методам вначале был применён термин “идентификация“.

1.4. Основные подходы к построению алгоритмов идентификации.

Возможны два подхода к построению алгоритмов идентификации:

В первом подходе в начале собирается массив данных (реализации входа и выхода объекта на рабочем отрезке времени $[0, T]$) $x_i, y_i, i = \overline{1, n}$ и оценки параметров модели получается после обработки этого массива (идентификация по массиву или ретроспективная идентификация). Место сбора данных и обработки при этом могут быть территориально разобщены.

В другой постановке оценки параметров модели уточняется на каждом шаге поступления новых измерений, т.е. по ходу процесса. Соответствующие алгоритмы и оценки называются рекуррентными (пошаговыми).

В случае если осуществляется некоторый пошаговый процесс вычисления без поступления новых измерений, такие процедуры будем называть итерационными (их называют так же рекурсивными или последовательными приближениями).

Рекуррентные алгоритмы характерны для адаптивных систем управления, когда вследствие дрейфа параметров или недостаточной исходной точности, необходимо уточнение параметров по ходу процесса.

Методы идентификации, реализующие некоторый критерий идентификации, могут быть построены как по рекуррентному, так и по ретроспективному алгоритму.

Алгоритм ретроспективный идентификации с целью оценивания вектора параметров A может быть (для дискретных отсчетов времени $t_i, i = \overline{1, n}$) записан в форме:

$$\tilde{A} = \Phi(x_0^*, y_0^*), \quad (1.13)$$

где (x_0^*, y_0^*) — массив измерений от 0 до n ;

\tilde{A} — оценка вектора A , полученная на полной выборке $0, 1, \dots, n$.

Рекуррентный алгоритм записывается в виде

$$\tilde{A}_{K+1} = \Phi_1(\tilde{A}_K, x_{K+1}, y_{K+1}), \quad (1.14)$$

где \tilde{A}_K — оценка вектора параметров на K -ом шаге;

x_{K+1}, y_{K+1} — измерения на $(K+1)$ -ом шаге.

Контрольные вопросы

1. Что такое модель и какие виды моделей существует?
2. Что такое графическая модель и приведите пример?
3. Разница между математической и физической моделью?
4. Как переходить в структурный вид?
5. Какие методы используются для построения математической модели?
6. Что такое идентификация?
7. Как формируется задача идентификации?
8. Какие классы идентификации существуют? Дайте описание каждому классу.
9. Какие условия должны выполняться при структурной идентификации?

10.Объясните активный метод идентификации.

11.Объясните метод рекуррентного и ретроспективного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.Дорф, Р Бишоп. Современная система управления. Перевод с английского Б.И Копылова. Учеб.пособие. –М.: Лаборатория Базовых Знаний ЮНИМЕДИАСТАЙЛ. 2002. -831 с.
2. Юсупбеков Н.Д., Мухамедов Б.Э., Гуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари . Дарслик. -Т.: Ўқитувчи, 1997, - 720 б.
3. И.Чен, П.Джиблин, А.Ирвинг. Matlab в математических исследованиях. Учеб.пособие. -М.: Мир, 2001, -346 с.
4. В.Дьяконов. Matlab 6. Учеб.пособие. -СПб. Питер, 2001, -592 с.
5. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Гуломов Ш.М. Технологик жараёнларни назорат қилиш ва автоматлаштириш. Дарслик. –Т.: Ўқитувчи. 2011.- 577 б.
6. Қодиров А.А. ва бошқалар. Технологик машиналар ва жиҳозларни автоматлаштириш. Дарслик. -Т.: Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти. 2012. - 224 б.

2-ТЕМА: ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ

План:

1. Составление структуры модели.
2. Модель динамики резистивной печи.

Опорные слова: структура модели, интеграл Дюамеля, преобразование Лапласа, система нелинейного оператора

2.1. Составление структуры модели.

Процесс определения структуры оператора модели F составляет задачу структурной идентификации. Если же структура этого оператора определена, то процесс идентификации сводится к определению параметров этой структуры, т.е. к задаче параметрической идентификации, более простой, чем предыдущая.

Таким образом, идентификация объекта связана прежде всего с предварительным выбором структуры модели. Под структурой модели будем понимать вид оператора F с точностью до его коэффициентов. Заметим, что структура объекта может и не совпадать со структурой модели. Например, стохастические свойства объекта обычно не отражаются в модели (модель выбирается детерминированной). Кроме того модель может иметь меньше входов и выходов, чем объект. Это часто делают при малом объеме наблюдений.

Уравнение связи между входными и выходными переменными можно записать в различной форме. Приведем некоторые общие уравнения связи между переменными.

Всякий одномерный статический непрерывный объект определяется функцией $y = F(x)$. Модель этого объекта можно представить в виде разложения

$$F(x) = \sum_{i=1}^k c_i \cdot f_i(x) \quad (1.15)$$

по определенной системе функций $\Phi(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]$.

Здесь структура модели задается системой функций $\Phi(x)$ и числом k , а ее параметрами являются коэффициенты разложения c_1, c_2, \dots, c_k . Идентификация структуры такого объекта заключается в отыскании удовлетворительной системы функций $\Phi(x)$, а параметрическая идентификация сводится к определению параметров $c_i (i = 1..k)$ при заданной системе функций.

Поведение детерминированного динамического одномерного объекта удобно описывать оператором

$$F = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (1.16)$$

где
$$A(p) = 1 + \sum_{i=1}^m a_i \cdot p^i; B(p) = \sum_{j=0}^l b_j \cdot p^j, \quad p^r = \frac{d^r}{dt^r} - \text{оператор}$$

дифференцирования.

Здесь структура оператора модели определяется линейностью оператора и числами m и l . Из физических соображений $l \leq m$. Коэффициенты $a_i (i = \overline{1, m})$ и $b_j (j = \overline{0, l})$ являются неструктурными параметрами модели.

Оператор (1.16) эквивалентен обыкновенному дифференциальному уравнению вида

$$y + \sum_{i=1}^m a_i \frac{d^i y}{dt^i} = \sum_{j=0}^l b_j \frac{d^j x}{dt^j}. \quad (1.17)$$

Непрерывная модель (1.17) преобразуется в форму разностного уравнения, если отсчет времени происходит в дискретные равноотстоящие моменты. При таком отсчете времени непрерывные функции, описывающие поведение переменных, превращаются в решетчатые.

Для дискретного времени в момент времени n разностное уравнение записывается в форме

$$A_1(q^{-1})y[n] = B_1(q^{-1})x[n], \quad (1.18)$$

$$A_1(q^{-1}) = a_{1m}q^{-m} + a_{1(m-1)}q^{-m+1} + \dots + 1;$$

$$B_1(q^{-1}) = b_{1l}q^{-l} + b_{1(l-1)}q^{-l+1} + \dots + b_{10};$$

где $q^{-r} \mathcal{Y}[n] = \mathcal{Y}[n-r]$.

При переходе от непрерывной модели (1.17) к дискретной (1.18) порядок уравнения m и l сохраняются, но значения коэффициентов для непрерывной и дискретной форм моделей различны. Если известны коэффициенты в одной из форм и интервал дискретизации, значения коэффициентов в другой форме могут быть вычислены.

В теории автоматического управления широко используются также следующие записи связи между переменными на входе и выходе:

1. Интеграл свертки (интеграл Дюамеля)

$$y(t) = \int_{-\infty}^t x(\tau) w(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^t w(\tau) x(t - \tau) d\tau, \quad (1.19)$$

где $x(t), y(t)$ - входная и выходная переменные;

$w(t)$ - импульсная переходная (весовая) функция объекта, т.е. сигнал $y(t)$ на выходе объекта, если входной сигнал $x(t)$ представляет собой дельта-функцию $\delta(t)$.

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0, \\ \infty, & t = 0. \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Если $x(t) = 0$ при $t < 0$, то уравнение (1.19) можно переписать в форме

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) w(t - \tau) d\tau = \int_0^t w(\tau) x(t - \tau) d\tau. \quad (1.20)$$

Для дискретного времени это уравнение записывается в форме

$$y[n] = \sum_{i=0}^n x[i] w[n - i] = \sum_{i=0}^n w[i] x[n - i]. \quad (1.21)$$

2. Запись связи в операторном виде

$$y(p) = w(p)x(p),$$

где $x(p), y(p)$ - изображения по Лапласу входного и выходного сигналов;

$$w(p) - \text{передаточная функция объекта, } w(p) = \frac{B(p)}{A(p)}.$$

В более общей форме модель динамики детерминированного нелинейного непрерывного одномерного объекта может быть представлена в виде разложения по системе операторов

$$F(x) = \sum_{i=1}^k c_i F_i(x),$$

где $F_i(x) (i = \overline{1, k})$ - система нелинейных операторов.

Определение $F_i(x)$ является основной целью структурной идентификации. Отыскание чисел $c_i (i = \overline{1, k})$ составляет задачу параметрической идентификации.

Отыскание наиболее подходящей модели из множества моделей-претендентов составляет весьма важную и в тоже время достаточно трудную часть процедуры идентификации. Именно на этом этапе знание формальных свойств моделей необходимо соединить с априорным знанием, инженерным мышлением и интуицией.

При решении задач идентификации, как правило, существует две возможности выбора структуры модели. Суть одной из них заключается в том, что после тщательного изучения объекта моделирования на основе законов физики и других достоверных знаний формируется структура модели. Такие модели являются неформальными, включают неизвестные физические параметры, параметрическая идентификация сводится к определению их значений. Другая возможность состоит в том, чтобы без всякого физического обоснования использовать стандартные формальные модели. Множество таких моделей, у которых параметры рассматриваются прежде всего как варьируемые средства подстройки моделей к имеющимся данным и не отражают физики процесса называется черным ящиком. Множество моделей с настраиваемыми параметрами, допускающими физическую интерпретацию, называются серыми ящиками.

Построение по возможности неформальных моделей более предпочтительно, так как они наилучшим образом отражают основные свойства реального объекта. Кроме того, построение моделей на основе анализа физических процессов в объекте позволяет составить уравнение даже на стадии проектирования объекта. Метод предполагает знание тепловых, гидравлических, пневматических, электрических процессов, процессов тепломассопереноса и химических реакций объекта.

Несмотря на большое разнообразие объектов и протекающих в них процессов, можно выделить некоторые общие подходы к составлению моделей объектов. Прежде всего следует расчленить мысленно объект на части и составить уравнение для каждой из них, заменив отброшенные части системы эквивалентными воздействиями.

Рассмотрим пример составления математической модели технологического объекта на основе изучения физических процессов.

2.2. Модель динамики резистивной печи.

Тепловой баланс печи резистивного нагрева складывается из изменения накопленной теплоты Q , теплового потока от нагревателя q_1 и теплового потока теплопотерь q_2 вследствие теплоотдачи и конвекции:

$$\frac{dQ}{dt} = q_1 - q_2, \quad (1.24)$$

$$Q = \sum_i c_i m_i \theta, \quad (1.25)$$

где c_i - удельная теплоемкость материала i -го конструктивного элемента печи;

m_i - масса i -го элемента печи;

θ - температура.

Тепловые потери q_1, q_2 в общем случае определяются формулами:

$$q_1 = \frac{U^2}{R}; \quad q_2 = K(\theta - \theta_1). \quad (1.26)$$

где U - напряжение на нагревателе;

R — сопротивление нагревателя;

K — коэффициент теплопередачи;

θ_1 — температура окружающей среды.

Из (1.24), (1.25) и (1.26) получаем уравнение

$$\frac{d\left(\sum_i c_i m_i \theta\right)}{dt} = \frac{U^2}{R} - K(\theta - \theta_1) \quad (1.27)$$

Учитывая, что m_i, c_i постоянные величины, из (1.27) находим уравнение

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{U^2}{R \sum_i m_i c_i} - \frac{K}{\sum_i m_i c_i} (\theta - \theta_1), \quad (1.28)$$

которое может быть линеаризовано

Пусть θ_0 - температура заданного режима нагрева, θ_2 - средняя температура окружающей Среды. Тогда

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad \theta_1 = \theta_2 + \Delta\theta, \quad U = U_0 + \Delta U,$$

где U_0 - постоянное значение напряжения, необходимого для поддержания заданного постоянного значения температуры θ_0 .

В установившемся режиме

$$\frac{d\theta}{dt} = 0, \quad \Delta\theta = \Delta\theta_1 = \Delta U = 0.$$

Тогда из (1.28) следует

$$0 = \frac{U_0^2}{R \sum_i m_i c_i} - \frac{K}{\sum_i m_i c_i} (\theta_0 - \theta_2) \quad (1.29)$$

Вычитая (1.29) из (1.28), находим

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} = \frac{U^2 - U_0^2}{R \sum_i m_i c_i} - \frac{K}{\sum_i m_i c_i} [(\theta - \theta_0) - (\theta_1 - \theta_2)]$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned} U^2 - U_0^2 &= (U - U_0) \cdot (U + U_0) = \Delta U \cdot (U_0 + \Delta U + U_0) = \\ &= \Delta U \cdot (2U_0 + \Delta U) = 2U_0 \Delta U + \Delta U^2, \end{aligned}$$

и пренебрегая величиной ΔU^2 , получаем

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} = \frac{2U_0}{R \sum_i m_i c_i} \Delta U - \frac{K}{\sum_i m_i c_i} (\Delta\theta - \Delta\theta_1);$$

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} + \frac{K}{\sum_i m_i c_i} \Delta\theta = \frac{2U_0}{R \sum_i m_i c_i} \Delta U + \frac{K}{\sum_i m_i c_i} \Delta\theta_1 \quad (1.30)$$

Обозначим:

$$a_0 = \frac{K}{\sum_i m_i c_i}; \quad b_0 = \frac{2U_0}{R \sum_i m_i c_i}; \quad b_1 = \frac{K}{\sum_i m_i c_i} \quad (1.31)$$

Тогда получаем следующую модель объекта

$$\frac{d\Delta\theta}{dt} + a_0 \Delta\theta = b_0 \Delta U + b_1 \Delta\theta_1, \quad (1.32)$$

где a_0, b_0, b_1 -параметры модели, причем, как следует из (1.30), коэффициент b_0 зависит от режима печи (от величины U_0).

При построении модели (1.32) сделано существенное предположение, что температура во всех точках печи одинакова и, следовательно, нагревательная печь является объектом с сосредоточенными параметрами. Определение параметров модели расчетным путем по формулам (1.31) практически не представляется возможным, поскольку характеристики m_i, c_i i -го конструктивного элемента неизвестны, а иногда трудно поддаются к учету. Отметим еще раз, что линеаризованная модель (1.32) справедлива лишь при малых значениях ΔU (когда допустимо пренебрежение величиной ΔU^2). Параметры модели a_0, b_0, b_1 теперь могут быть определены параметрической идентификацией после выбора структуры модели (1.32).

Контрольные вопросы

1. Как определяется структура оператора модели?
2. Составьте модель одномерного непрерывного статического объекта.
3. Опишите оператор одномерного динамического детерминированного объекта.
4. Как выглядит интеграл Дюамеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.Дорф, Р Бишоп. Современная система управления. Перевод с английского Б.И Копылова. Учеб.пособие. –М.: Лаборатория Базовых Знаний ЮНИМЕДИАСТАЙЛ. 2002. -831 с.
2. Юсупбеков Н.Д., Мухамедов Б.Э., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари . Дарслик. -Т.: Ўқитувчи, 1997, - 720 б.
3. И.Чен, П.Джиблин, А.Ирвинг. Matlab в математических исследованиях. Учеб.пособие. -М.: Мир, 2001, -346 с.
4. В.Дьяконов. Matlab 6. Учеб.пособие. -СПб. Питер, 2001, -592 с.
5. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни назорат қилиш ва автоматлаштириш. Дарслик. –Т.: Ўқитувчи. 2011.- 577 б.
6. Қодиров А.А. ва бошқалар. Технологик машиналар ва жиҳозларни автоматлаштириш. Дарслик. -Т.: Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти. 2012. - 224 б.

3-ТЕМА: ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

План:

1. Оптимальное планирование эксперимента.
2. Нормализация переменных моделей.
3. Планирование полного факторного эксперимента.

***Опорные слова:** оптимальное планирование, оптимальное планирование эксперимента, регрессионное уравнение, линейная эффективность, квадратная эффективность, факторное пространство, полнофакторный эксперимент.*

3.1. Оптимальное планирование эксперимента.

Главные цели планирования эксперимента заключается в достижении его максимальной точности и минимальной стоимости. Однако достижение

максимальной точности требует увеличения числа опытов, что приводит к повышению стоимости эксперимента. Поэтому возникает задача оптимизации в постановке эксперимента.

Методически опыты могут быть поставлены двояко. Традиционный метод постановки опытов состоит в изменении одного какого-либо фактора при сохранении всех других факторов, влияющих на процесс, постоянными. Этот метод постановки опытов известен под названием метода однофакторного эксперимента. При такой методике взаимное влияние факторов учесть невозможно.

Оптимальное планирование эксперимента предполагает одновременное изменение всех факторов, влияющих на процесс, что позволяет сразу установить силу взаимодействия факторов и сократить общее число опытов. Такой метод постановки опытов называется методом многофакторного планирования эксперимента. В результате исследований получают не сечения статических характеристик объекта, как это имеет место в классическом однофакторном методе, а функциональную зависимость выхода объекта от всех факторов $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, что очень существенно.

Теория планирования эксперимента и ее приложения в настоящее время развились в самостоятельное научное направление. Попытаемся здесь весьма кратко изложить сущность метода планированного факторного эксперимента применительно к построению модели статики объекта исследования.

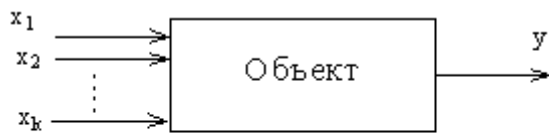


Рис. 3.2.

Сущность метода заключается в следующем. Объект исследования рассматривается как “черный ящик” (рис. 3.2). Его входы называют *факторами*, а выходы — откликами.

Целью исследования является построение модели статики объекта, то есть функцию отклика

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k). \quad (3.12)$$

Координатное пространство с координатами x_1, x_2, \dots, x_k называют *факторным пространством*, а геометрическое изображение функции отклика в факторном пространстве — *поверхностью отклика*.

В процессе эксперимента каждый фактор может принимать одно из нескольких фиксированных значений. Эти значения называются *уровнями*. Сочетание определенных уровней всех факторов определяет одно из возможных состояний объекта. Множество возможных сочетаний уровней факторов определяет множество состояний данного объекта и, следовательно, число возможных различных опытов, равное

$$N = p^k, \quad (3.13)$$

где p — число уровней факторов;

k — число факторов.

Для уменьшения размерности факторного пространства и упрощения модели объекта уменьшают число факторов путем отсеивания малосущественных.

Факторы должны быть управляемыми, независимыми и совместимыми. Это означает, что факторы не должны быть функциями

других факторов, должна существовать возможность установления фактора на выбранных уровнях независимо от уровня других факторов, а все комбинации уровней факторов должны давать осуществимые и безопасные для объекта режимы.

Перед началом эксперимента необходимо выбрать его план, то есть определить какие сочетания уровней факторов следует реализовать и в каком порядке. Это очень важный этап в рассматриваемом методе, поскольку этим по сути ограничивается класс регрессионных моделей, среди которых отыскивается модель объекта. Следовательно, требуется задать общий вид отыскиваемой модели: линейная, нелинейная с эффектами взаимодействия, квадратичная и т.п.

Математическая модель чаще всего представляется в виде полинома — отрезка ряда Тейлора, в который разлагается неизвестная функция (3.12):

$$y = \alpha_0 + \sum_{j=1}^k \alpha_j \cdot x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u < j}}^k \alpha_{uj} \cdot x_u \cdot x_j + \sum_{j=1}^k \alpha_{jj} \cdot x_j^2 + \dots, \quad (3.14)$$

$$\text{где } \alpha_j = \left. \frac{\partial F}{\partial x_j} \right|_0; \alpha_{uj} = \left. \frac{\partial^2 F}{\partial x_u \partial x_j} \right|_0; \alpha_{jj} = \left. \frac{\partial^2 F}{\partial x_j^2} \right|_0; \alpha_0 = F(\bar{x}^0);$$

индекс 0 означает, что производные вычисляются в точке $\bar{x} = \bar{x}^0$.

Поскольку в реальном объекте всегда существуют неуправляемые и неконтролируемые переменные, изменение величины y носит случайный характер. Поэтому при обработке экспериментальных данных получают так называемые выборочные коэффициенты регрессии $a_0, a_j, a_{uj}, a_{jj}, \dots$, являющиеся оценками теоретических коэффициентов $\alpha_0, \alpha_j, \alpha_{uj}, \alpha_{jj}, \dots$.

Уравнение регрессии, полученное на основании опыта, запишется следующим образом:

$$y = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j \cdot x_j + \sum_{\substack{u,j=1 \\ u < j}}^k a_{uj} \cdot x_u \cdot x_j + \sum_{j=1}^k a_{jj} \cdot x_j^2 + \dots \quad (3.15)$$

Коэффициент a_0 называют свободным членом уравнения регрессии, коэффициенты a_j — линейными эффектами, a_{uj} — эффектами парного взаимодействия, a_{jj} — квадратичными эффектами.

Контрольные вопросы

1. Как определяется структура оператора модели?
2. Составьте модель одномерного непрерывного статического объекта.
3. Опишите оператор одномерного динамического детерминированного объекта.
4. Как выглядит интеграл Дюамеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р.Дорф, Р Бишоп. Современная система управления. Перевод с английского Б.И Копылова. Учеб.пособие. —М.: Лаборатория Базовых Знаний ЮНИМЕДИАСТАЙЛ. 2002. -831 с.
2. Юсупбеков Н.Д., Мухамедов Б.Э., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари . Дасрлик. -Т.: Ўқитувчи, 1997, - 720 б.
3. И.Чен, П.Джиблин, А.Ирвинг. Matlab в математических исследованиях. Учеб.пособие. -М.: Мир, 2001, -346 с.
4. В.Дьяконов. Matlab 6. Учеб.пособие. -СПб. Питер, 2001, -592 с.
5. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни назорат қилиш ва автоматлаштириш. Дасрлик. —Т.: Ўқитувчи. 2011.- 577 б.

6. Қодиров А.А. ва бошқалар. Технологик машиналар ва жиҳозларни автоматлаштириш. Дарслик. -Т.: Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти. 2012. - 224 б.

IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическая работа №1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИИ

1. Общие сведения по теме задания

Под описание объекта управления понимается мысленное отделение его от среды и по цели управления определение выходных, а также управляющих и возмущающих воздействий. В качестве выходного сигнала из всех возможных выходов выбираются только те, которые связаны с целью управления. А в качестве входного воздействия выбираются те, которые определяют значения выхода. Входные воздействия непосредственно разделяются на управляющие и возмущающие воздействия. Основываясь на результаты решения можно выбрать аналитический (теоретический) или экспериментальный метод моделирования. При проведении экспериментального способа выбирается активный или пассивный способ эксперимента.

2. Задание

Выберите объект управления, встречающийся в жизни, в быту, на производстве и тому подобное. Установите цель управления. Дайте описание выходам объекта управления. Определите управляющие и возмущающие входные воздействия.

3. Пример

Объект управления – бьеф. Цель управления – поддержание воды на требуемом уровне. Выход объекта – уровень, единица измерения в метрах.

Управляемые входные величины объекта:

1) объем воды входящий в бьеф; 2) объем выходящей воды из бьефа.

Возмущающие воздействия:

1) объем испаряющей воды в бьефе (f_1); 2) объем воды входящий в бьеф через подземные пути из верхнего бьефа (f_2); 3) объем воды выходящий из бьефа через подземные пути в нижний бьеф (f_3); 4) объем воды входящий в бьеф без контроля (f_4); 5) объем воды выходящий из бьефа без контроля (f_5); 6) объем воды попадающий в бьеф из за осадков (f_6). Единица измерения всех входных воздействий м³/кг. На рисунке 1 условная структура объекта управления.

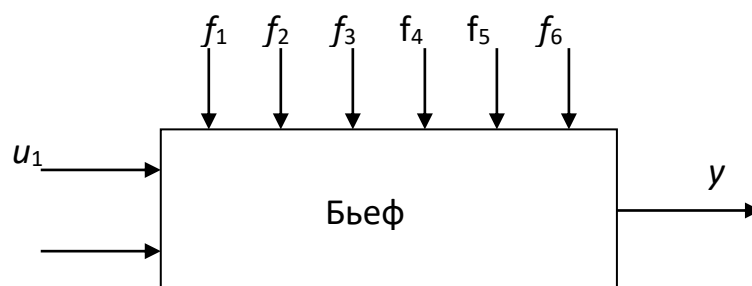


Рис. 1. Условная структура, описывающая в качестве объекта управления бьеф.

4. Контрольные вопросы

- 1) Обоснуйте состав выбранных выходных параметров объекта управления.
- 2) Обоснуйте состав входных управляющих воздействий.
- 3) Обоснуйте состав возмущающих управляющих воздействий.
- 4) Может ли измениться состав выходящих и входящих воздействий, если изменить цель управления?

Практическая работа № 2
ВЕКТОРНО-МАТРИЧНЫЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В
ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ

1. Общие сведения по теме

Переходная функция неперiodического звена

$$h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}),$$

И весовая функция

$$w(t) = k \frac{1}{T} e^{-\frac{t}{T}}.$$

где k – коэффициент статического усилителя, T – постоянная времени.

При проведении касательной в произвольное время t_1 в переходную функцию, то коэффициент угла наклона будет равен следующему

$$\operatorname{tg} \alpha = k \frac{1}{T} e^{-\frac{t_1}{T}},$$

α – угол между касательной и абсциссой.

Уравнение касательной будет выглядеть следующим образом

$$y(t) = k \left[\frac{1}{T} e^{-\frac{t_1}{T}} \cdot t + 1 - \left(1 + \frac{t_1}{T} \right) e^{-\frac{t_1}{T}} \right].$$

Для нахождения t_2 времени среза значения k (значение к которой стремится переходная функция) этой прямой линии используется следующая формула

$$k \left[\frac{1}{T} e^{-\frac{t_1}{T}} \cdot t_2 + 1 - \left(1 + \frac{t_1}{T} \right) e^{-\frac{t_1}{T}} \right] = k$$

Уравнение должно решаться относительно значения t_2 . Это решение определяется по следующей формуле

$$t_2 = T + t_1.$$

От этого видно что, $T = t_2 - t_1$.

Вывод:

1) Разница между временем (t_1) проведения касательной с временем (t_2) в которой эта касательная пересекает установившееся значение равно постоянному времени апериодического звена.

2) касательную можно провести из любой точки переходной функции.

3) Не важно, какое значение может принять коэффициент статического усиления.

Приведенные правила также справедливы по отношению весовой функции. Только в этом случае должна рассматриваться минута, когда касательная пересекает абсциссу.

Значит, если график переходной или весовой функции построить путем эксперимента, то постоянная времени апериодического звена можно найти методом графика. Для этого из любой точки данного графика нужно провести касательную, это должно определить время среза установившегося значения (если используется переходная функция) или ось абсциссы (если используется весовая функция). Разница между минутой данного времени с минутой подходящей точке сечения это и есть оценка постоянного времени.

Временные характеристики измеряются при помощи специальных аппаратур.

2. Задание

а) Используя график данной переходной функции определите постоянную времени апериодического звена.

б) Используя график данной весовой функции определите постоянную времени апериодического звена.

3. Пример

На рис. 6 задан график весовой и переходной функции связанные со временем. Найдите постоянную времени.

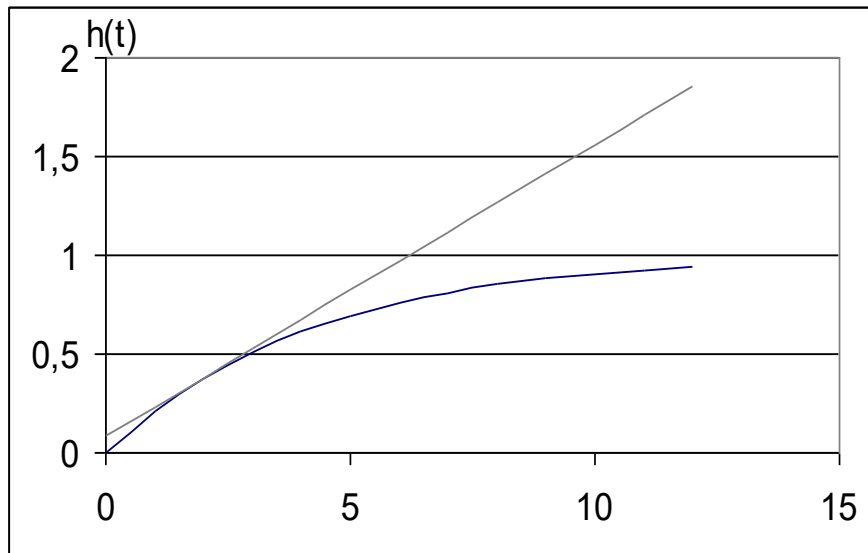


Рис. 6. Нахождение постоянной времени переходной функции

Во времени $t_1 = 2$ с проведена касательная к функции. Эта касательная пересекает значение устойчивости во времени $(h_\infty) \cdot t_2 = 6,2$ с.

Отсюда

$$T = t_2 - t_1 = 6,2 \text{ с} - 2 \text{ с} = 4,2 \text{ с}.$$

Во времени $t_1 = 4$ мин построена касательная к функции. Из рисунка 7 видно, что касательная пересекает ось абсциссы во времени $t_2 = 13$ мин. Значит,

$$T = t_2 - t_1 = 13 \text{ мин} - 4 \text{ мин} = 9 \text{ мин}.$$

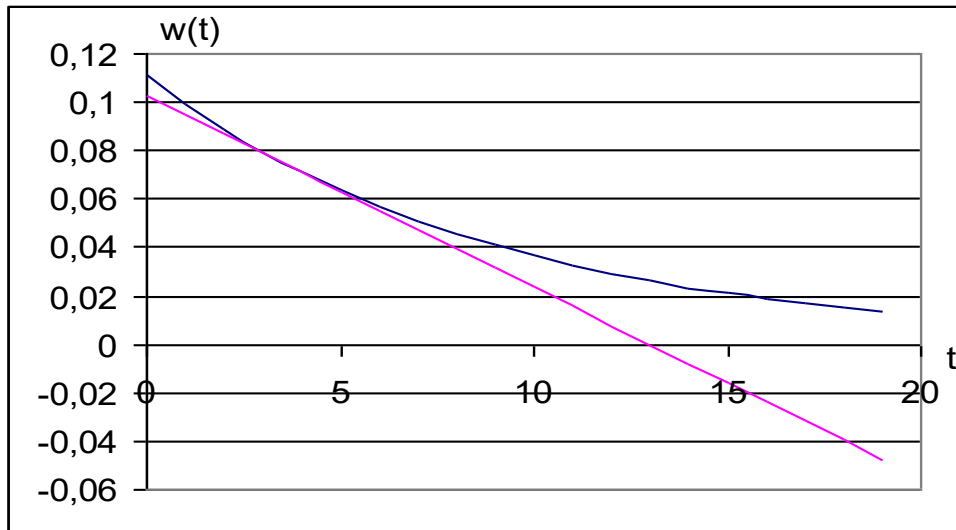


Рис. 7. Определение постоянные времени из весовой функции

4. Контрольные вопросы

- 1) Можно ли оценить данным методом постоянные времени динамического звена второго и более высшего порядка?
- 2) Влияет ли на значение оценки ?
- 3) Как измеряется переходная функция или весовая функция?
- 4) В каких точках нужно провести касательные к переходным или весовым функциям
- 5) Чем отмечается ошибка оценки?

Практическая работа №3 - 4

ОЦЕНКА ФУНКЦИИ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ

1. Общие сведения по теме задания

Если в дискретные минуты времени измерен случайный стационарный процесс, то мы имеем следующие данные

$$u(1), u(2), u(3), \dots, u(n).$$

Значение функции автокорреляции на каждой j -той минуте рассчитывается следующим образом

$$K_{uu}(\mu) = \frac{1}{n - \mu - 1} \sum_{v=1}^{n-\mu} (u(v) - m_u)(u(v + \mu) - m_u), \mu - \text{целое число.}$$

Во многих практических случаях автокорреляцию удобно рассчитать с помощью функции ковариации и математического ожидания

$$K_{uu}(\mu) = \text{Cov}(u(v), u(v + \mu)) - \frac{n - \mu}{n - \mu - 1} m_u^2.$$

Здесь

$$\text{Cov}(u(v), u(v + \mu)) = \frac{1}{n - \mu - 1} \sum_{v=1}^{n-\mu} u(v)u(v + \mu);$$

$$m_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u(i).$$

Из за того что автокорреляционная функция чётная симметричная, достаточно рассмотреть только положительные параметры μ .

Нормированная автокорреляционная функция:

$$k_{uu}(\mu) = \frac{K_{uu}(\mu)}{\sigma_u^2}.$$

2. Задание

Оцените функцию автокорреляции для строки, измеренной во времени и постройте его график. Дайте разъяснение результатам.

3. Пример

Задана следующая строка времени

Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>u</i>	19	8	23	9	-27	-23	19	-26	8	30	14	-17	-16	16	29
Порядковый номер	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
<i>u</i>	-18	0	-16	-7	3	19	-6	9	-30	-16	22	8	25	28	-26

Число измерений: $n=30$.

Математическое ожидание

$$m_u = \frac{1}{30} (19+8+23+9-27-23+19-26+8+30+14-17-16+16+29-18+0-16-$$

$$7+3+19-$$

$$-6+9-30-16+22+8+25+28-26) = \frac{1}{30} (243-182) = \frac{61}{30} = 2,03.$$

Рассчитывается функция ковариации

$$\mu = 0:$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(u(\nu), u(\nu)) &= \frac{1}{29} (19^2 + 8^2 + 23^2 + 9^2 + 27^2 + 23^2 + 19^2 + 26^2 + 8^2 + 30^2 + 14^2 + 17^2 + 16^2 + 16^2 + \\ &+ 29^2 + 18^2 + 16^2 + 7^2 + 3^2 + 19^2 + 6^2 + 9^2 + 30^2 + 16^2 + 22^2 + 8^2 + 25^2 + 28^2 + 26^2) = \\ &\frac{1}{29} (361 + 64 + 529 + \\ &+ 81 + 729 + 529 + 361 + 676 + 64 + 900 + 196 + 289 + 256 + 256 + 847 + 324 + 256 + 49 + 9 + 361 \\ &+ \\ &+ 36 + 81 + 900 + 256 + 484 + 64 + 625 + 784 + 676) = \frac{1}{29} \cdot 11043 = 380,79. \end{aligned}$$

$$K_{uu}(0) = 380,79 - \frac{30}{29} \cdot 2,03^2 = 380,79 - \frac{30}{29} \cdot 4,12 = 380,79 - 4,26 = 376,53.$$

Также это значение равно дисперсии, т.е.:

$$d_u = 376,53.$$

Следовательно

$$\sigma_u = \sqrt{d_u} = \sqrt{376,53} = 19,40.$$

$$\mu = 1:$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(u(\nu), u(\nu + 1)) &= \frac{1}{30 - 1 - 1} (19 \cdot 8 + 8 \cdot 23 + 23 \cdot 9 - 9 \cdot 27 + 27 \cdot 23 - 23 \cdot 19 - 19 \cdot 26 - \\ &26 \cdot 8 + 8 \cdot 30 + 30 \cdot 14 - 14 \cdot 17 + 17 \cdot 16 - 16 \cdot 16 + 16 \cdot 29 - 29 \cdot 18 - 0 \cdot 0 + 16 \cdot 7 - 7 \cdot 3 + 3 \cdot 19 - \\ &19 \cdot 6 - 6 \cdot 9 - 9 \cdot 30 + 30 \cdot 16 - 16 \cdot 22 + 22 \cdot 8 + 8 \cdot 25 + 25 \cdot 28 - 28 \cdot 26) = \frac{1}{28} (152 + 184 + 207 - \\ &243 + 621 - 437 - 494 - 208 + 240 + 420 - 238 + 272 - 256 + 464 - 522 + 112 - 21 + 57 - 114 - \\ &54 - 270 + 480 - 352 + 176 + 200 + 700 - 728) = \frac{1}{28} (4285 - 3937) = \frac{1}{28} \cdot 348 = 12,43. \end{aligned}$$

$$\mu = 2:$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}(u(\nu), u(\nu + 2)) &= \frac{1}{30 - 2 - 1} (19 \cdot 23 + 8 \cdot 9 - 23 \cdot 27 - 9 \cdot 23 - 27 \cdot 19 + 23 \cdot 26 + 19 \cdot 8 - \\ &26 \cdot 30 + 8 \cdot 14 - 30 \cdot 17 - 14 \cdot 16 - 17 \cdot 16 - 16 \cdot 29 - 16 \cdot 18 + 0 + 18 \cdot 16 + 0 - 16 \cdot 3 - 7 \cdot 19 - \\ &3 \cdot 6 + 19 \cdot 9 + 6 \cdot 30 - 9 \cdot 16 - 30 \cdot 22 - 16 \cdot 8 + 22 \cdot 25 + 8 \cdot 28 - 25 \cdot 26) = \frac{1}{27} (437 + 72 - 627 - 207 - \\ &513 + 598 + 152 - 780 + 112 - 510 - 224 - 272 - 464 - 288 + 288 - 48 - 133 - 18 + 171 + 180 - \\ &144 - 660 - 128 + 550 + 224 - 650) = \frac{1}{27} (2784 - 5666) = -\frac{1}{27} \cdot 2882 = -106,74. \end{aligned}$$

$\mu = 3$:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(u(\nu), u(\nu + 3)) &= \frac{1}{30 - 3 - 1} (19 \cdot 9 - 8 \cdot 27 - 23^2 + 9 \cdot 19 + 27 \cdot 26 - 23 \cdot 8 + 19 \cdot 30 - 26 \cdot 14 - \\ &8 \cdot 17 - 30 \cdot 16 + 14 \cdot 16 - 17 \cdot 29 + 16 \cdot 18 + 0 - 29 \cdot 16 + 18 \cdot 7 + 0 - 16 \cdot 19 + 7 \cdot 6 + 3 \cdot 9 - \\ &19 \cdot 30 + 6 \cdot 16 + 9 \cdot 22 - 30 \cdot 8 - 16 \cdot 25 + 22 \cdot 28 - 8 \cdot 26) = \frac{1}{26} (171 - 216 - 529 + 171 + 702 - \\ &184 + 570 - 364 - 136 - 480 + 224 - 493 + 288 - 464 + 126 - 304 - 42 + 27 - 570 + 96 + 198 - \\ &240 - 400 + 616 - 208) = \frac{1}{26} (3231 - 4591) = -\frac{1}{26} \cdot 1360 = -52,31. \end{aligned}$$

$\mu = 4$:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(u(\nu), u(\nu + 4)) &= \frac{1}{30 - 4 - 1} (-19 \cdot 27 - 8 \cdot 23 + 23 \cdot 19 - 9 \cdot 26 - 27 \cdot 8 - \\ &23 \cdot 30 + 19 \cdot 14 + 26 \cdot 17 - 8 \cdot 16 + 30 \cdot 16 + 14 \cdot 29 + 17 \cdot 18 + 0 - 16^2 - 29 \cdot 7 - 18 \cdot 3 + 0 + 16 \cdot 6 - 7 \cdot 9 - \\ &3 \cdot 30 - 19 \cdot 16 - 6 \cdot 22 + 9 \cdot 8 - 30 \cdot 25 - 16 \cdot 28 - 22 \cdot 26) = \frac{1}{25} (-513 - 184 + 437 - 234 - 216 - \\ &690 + 266 + 442 - 128 + 480 + 406 - 256 - 203 - 54 + 96 - 63 - 9 - 304 - 132 + 72 - 750 - 448 - \\ &572) = \frac{1}{25} (2199 - 4756) = -\frac{2557}{25} = -102,28. \end{aligned}$$

Модуль значения ковариации стало превышать, следовательно, заданная статистика для $\mu > 4$ будет мала. Ковариация, рассчитанная для следующих значений не подходит к реальности.

Рассчитываются значения автокорреляционной функции.

$$\mu = 0 :$$

$$K_{uu}(0) = Cov(u(v), u(v)) - \frac{n}{n-1} m_u^2 = 380,79 - \frac{30}{29} \cdot 2,03^2 = 380,79 - 4,26 = 376,53.$$

$$\mu = 1 :$$

$$K_{uu}(1) = Cov(u(v), u(v+1)) - \frac{n-1}{n-2} m_u^2 = 12,43 - \frac{29}{28} \cdot 2,03^2 = 12,43 - 4,27 = 8,16.$$

$$\mu = 2 :$$

$$K_{uu}(2) = Cov(u(v), u(v+2)) - \frac{n-2}{n-3} m_u^2 = -106,74 - \frac{28}{27} \cdot 4,12 = -106,74 - 4,27 = -$$

111,01.

$$\mu = 3 :$$

$$K_{uu}(3) = Cov(u(v), u(v+3)) - \frac{n-3}{n-4} m_u^2 = -52,31 - \frac{27}{26} \cdot 4,12 = -52,31 - 4,28 = -56,59.$$

Рассчитывается нормированная автокорреляционная функция

$$\mu = 0 :$$

$$k_{uu}(0) = \frac{K_{uu}(0)}{d_u} = 1.$$

$$\mu = 1 :$$

$$k_{uu}(1) = \frac{K_{uu}(1)}{d_u} = \frac{8,16}{376,53} = 0,022.$$

$$\mu = 2 :$$

$$k_{uu}(2) = \frac{K_{uu}(2)}{d_u} = -\frac{106,74}{376,53} = -0,28.$$

$$\mu = 3 :$$

$$k_{uu}(3) = \frac{K_{uu}(3)}{d_u} = -\frac{56,59}{376,53} = -0,15.$$

На рисунке 9 построен график нормированной автокорреляционной функции.

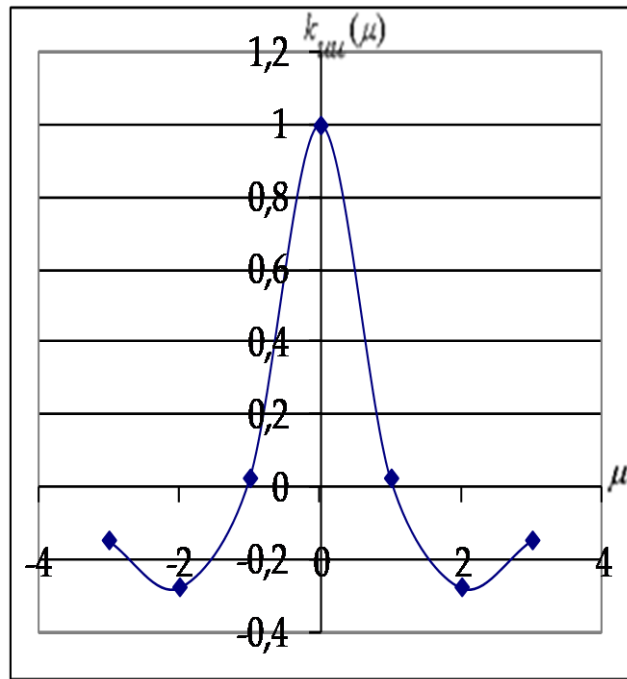


Рис. 9. Нормированная автокорреляционная функция

Примечание:

- 1) Значения мало коррелируются между собой в разные моменты времени последовательного периода.
- 2) Данная статистика недостаточна для расчета корреляции между значениями временного периода расположенные дальше от трех.

4. Задания для самостоятельного решения

№	T/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	u	21	14	30	-12	-18	27	7	7	15	-14	4	15	1	-4	5	22	-7	-19	24	16
2	u	14	0	-7	-12	-27	30	12	9	14	6	-8	18	19	27	21	32	28	-15	-18	13
3	u	0	5	-7	-18	21	31	14	34	15	-24	-19	-13	21	19	6	0	7	14	25	15
4	u	-14	4	15	1	-4	5	24	-14	-28	-15	-8	0	32	16	21	27	16	19	21	9
5	u	16	0	-7	-16	-18	6	24	18	-14	-30	-15	20	18	32	17	-19	-22	-25	8	9
6	u	-7	28	7	16	-22	19	-23	-24	-19	29	16	18	15	30	16	4	8	17	-9	-21
7	u	16	13	15	9	-21	27	7	-12	34	15	-27	19	14	21	19	5	7	9	5	12
8	u	5	9	15	16	23	7	-16	-27	-6	24	18	13	21	7	8	-16	-14	9	16	24
9	u	-4	27	19	14	32	30	21	-18	21	19	8	17	53	-7	-46	-8	1	0	7	12
10	u	30	-7	15	-18	-12	-22	23	32	15	6	-13	0	21	24	-18	6	7	8	42	0
11	u	9	-30	-16	34	18	15	-30	-16	22	4	15	1	19	21	9	5	-8	-15	-24	9
12	u	-7	-16	4	8	17	-9	-26	8	30	8	23	-15	-8	0	32	32	15	6	24	16
13	u	-7	-19	24	-16	-7	3	-19	-8	-15	16	18	-13	19	8	23	9	15	12	9	0
14	u	-7	-18	21	31	18	15	30	16	4	0	-16	-7	3	19	19	5	7	9	5	-4
15	u	19	-26	8	30	14	-17	0	5	9	15	16	23	7	-16	-27	-6	24	18	29	15
16	u	6	19	0	5	27	-16	-7	3	19	-6	24	18	13	15	16	23	22	8	25	28

17	<i>u</i>	-18	0	-16	-7	3	7	-12	34	15	1	-4	5	17	-9	-21	4	8	17	0	9
20	<i>u</i>	-24	-19	-13	30	8	23	-27	-23	19	-26	-7	-16	-18	13	21	7	8	5	9	15

5. Контрольные вопросы

- 1) Как описывается автокорреляционная функция?
- 2) Что показывает автокорреляционная функция?
- 3) Когда вместо среднего значения по множеству можно использовать среднее значение по времени?
- 4) Что нужно сделать, если значение нормированной автокорреляционной функции больше единицы?

V. Банк кейсов

Кейс №1: Фирма «Фасад» производит двери для продажи местным строительным компаниям. Репутация фирмы позволяет ей продавать всю производимую продукцию. На фирме работает 10 рабочих в одну смену (8 рабочих часов), 5 дней в неделю, что дает 400 часов в неделю. Рабочее время поделено между двумя существенно различными технологическими процессами: собственно производством и конечной обработкой дверей. Из 400 рабочих часов в неделю 250 отведены под собственно производство и 150 под конечную обработку. «Фасад» производит 3 типа дверей: стандартные, полированные и резные. В таблице приведены временные затраты и прибыль от продажи одной двери каждого типа.

	Время на производство (мин)	Время на обработку (мин)	Прибыль
Стандартные	30	15	\$ 45
Полированные	30	30	\$ 90
Резные	60	30	\$120

Задания: Каково будет правильное распределение в данном случае?

1. Сколько дверей различных типов нужно производить, чтобы максимизировать прибыль?
2. Оптимально ли распределение рабочего времени между двумя технологическими процессами (производство и конечная обработка)?
3. Как изменится прибыль, если распределить рабочее время между этими процессами оптимально?

Кейс №2. На предстоящей неделе «Фасад» должен выполнить контракт на поставку 280 стандартных, 120 полированных и 100 резных дверей. Для выполнения заказа «Фасад» может закупить некоторое количество полуфабрикатов дверей у внешнего поставщика. Эти полуфабрикаты «Фасад» может использовать только для производства стандартных и полированных, но не резных дверей. При этом изготовление стандартной двери требует лишь 6 мин процесса обработки, а полированной – 30 мин обработки (процесс собственно производства для

этих полуфабрикатов не требуется). Полученная таким образом стандартная дверь приносит \$15 прибыли, а полированная - \$50. Предполагая, что по-прежнему 250 часов в неделю отведено под производство и 150 под обработку, определите сколько и каких дверей «Фасад» должен произвести самостоятельно, и сколько полуфабрикатов закупить для изготовления стандартных и полированных дверей?

Задания: Как решать эту проблему?

Как изменится оптимальный план, полученный при выполнении предыдущего пункта, если правильно распределить время между собственно производством и обработкой дверей? Каково будет правильное распределение в данном случае?

Фирма «Фасад»					
	Время на производст во (мин)	Время на обработк у (мин)	Прибыль , \$	Переменные	
Стандартные	30	15	45	0	X1
Полированные	30	30	90	100	X2
Резные	60	30	120	200	X3
				Целевая функция	
	15000	9000	24000	33000	
Ограничения	15000	9000	24000		

Мини кейс: По внешним признакам неисправности определить причины возникновения неисправности, и перечислить пути их устранения: «Дизель не запускается».

Задание: «По внешним признакам неисправности определить причины возникновения неисправности, и перечислить пути их устранения: «Дизель не запускается». При решении задачи учесть, что Вы проводите диагностику трактора с трактористом. Распределите обязанности между Вами и диагностом.

VI. ГЛОССАРИЙ

O'zbekcha nomi	Inglizcha nomi	Ruscha nomi	Ma'nosi
Kompyuterli model	Computer model	Компьютерная модель	sonli bo'lmagan algoritmlar bilan ishlovchi va EXMda amalga oshiriluvchi matematik model.
Matematik model	Mathematical model	Математическая модель	tizim xususiyatlari va tavsiflari haqida fikr yuritish imkonini bera oladigan, o'rganilayotgan sistemaga o'xshash matematik bog'liqliklarning yig'indisi.
Texnologik parametr	Process parameter	Технологический параметр	har qanday texnologik jarayon va ob'ekt turli fizik kattaliklar: harorat, bosim, tezlik, taranglik, namlik, sath va boshqalar kabi ko'rsatkichlari bilan ifodalanadi.
Rostlanuvchi parametr	Adjustable parameter	Регулируемый параметр	rostlanishi, o'zgarimas qilib ushlab turilishi yoki berilgan dastur bo'yicha o'zgartirilishi talab qilinadigan parametr
Boshqarish ob'ekti	Control object	Объект управление	parametrlari rostlanayotgan texnologik mashina.
Boshqarish	Control	Управление	har qanday jarayonni qo'yilgan maqsad sari

			yo`naltirish
Rostlagich	Regulator	Регулятор	boshqarish ob`ektining rostlanuvchi parametrini berilgan qiymat bo`yicha ushlab turish uchun xizmat qiluvchi va boshqarish ob`ektiga boshqarish signali ishlab chiquvchi qurilma
Avtomatik rostdash sistemasi	Automatic control systems	Система автоматического регулирования	rostlanuvchi ob`ekt va rostlagich majmui
Avtomatik boshqarish	Automatic control	Автоматическое управление	ob`ektning ishlashi va undan kutilgan natija – ma`lum miqdorli, sifatli mahsulot, jarayon olish uchun avtomatik boshqarish qurilmalari orqali boshqarish maqsadida, ya`ni ma`lum dastur asosida ko`rsatiladigan ta`sirlar to`plami
Aprior axborot	Apriori information	Априорная информация	dastlabki yoki tizim ishlashidan oldin boshqariladigan jarayon va boshqarish tizimi haqida ixtiyorimizda bo`lgan ma`lumotlar
Ishchi axborot	Working Information	Рабочая информация	tizim ishlayotgan vaqtda olinadigan axborot
Algoritm	Algorithm	Алгоритм	dastlabki ma`lumotlarni izlangan natijaga o`tkazish yo`l-yo`rig`i mazmunini

			va ketma – ketlik operasiasini belgilab beradigan yo`l – yo`riq
Yopiq boshqaruv tizimi	Closed control system	Замкнутая система управления	boshqarishning oxirgi ikki turi boshqaruv ob`ektining kirishiga teskari bog`lanish zanjirlari orqali axborot berilishi
Bosh teskari bog`lanish	Main feedback	Главная обратная связь	avtomat rostlash tizimini hech bo`lmaganda rostlanadigan koordinatani haqiqiy va berilgan (topshiriq) qiymatlarini solishtirish uchun xizmat qiladigan bitta teskari bog`lanishga ega bo`lishi
Kuzatuvchi tizimlar	Tracking systems	Следящие системы	baholaydigan narsa bu chiqish koordinatasining o`zgarish qonuni vaqtning tasodifiy funksiyasi bo`lishidir
Dasturli boshqariladigan tizim	Software control system	Программно управляющая система	rostlanadigan koordinatani oldindan o`rnatilgan ma`lum dastur deb ataluvchi qonunga binoan vaqt bo`yicha o`zgartirishga mo`ljallangan
Uzluksiz boshqariladigan tizim	Continuous control system	Непрерывная управляющая система	boshqaruvchi signal vaqt bo`yicha uzluksiz funksiyani tashkil etadi
Statik xarakteristika	Static characteristic	Статическая характеристика	rostlanadigan koordinataning yuklamaga bog`liqligi bo`lib, u

			berilgan topshiriq ta'sirning o'zgarmas qiymatida olinadi
Davriy signal	Periodic signal	Периодический сигнал	$f(x)=f(t+T)$ shartini bajaradigan vaqt funksiyasi tasviriga ega bo'lib, unda T-davr deb nomlanadigan ma'lum o'zgarmas qiymatdir
Nodavriy signal	Non-periodic signal	Непериодический сигнал	vaqt funksiyasi ko'rinishida berilgan chekli ($t_1 \leq t \leq t_2$) chegarada yoki yarim chekli ($t_1 \leq t \leq +\infty$) vaqt oralig'ida muntazam signallarga aytiladi, bu vaqtlardan tashqarida esa u aynan nolga teng bo'ladi
Tasodifiy signal	Random signal	Случайный сигнал	esa oldindan berilgan vaqt funksiyasi bilan ifodalab bo'lmaydi. Tasodifiy signallar matematik tavsirlash uchun eqtimollik nazariyasi va statistik dinamika uslublaridan foydalaniladi.
Diskret signallar	Discrete signals	Дискретные сигналы	sath bo'yicha yoki ham sath, ham vaqt bo'yicha diskret bo'lishlari mumkin.
Pog'onali signal	Step Signal	Ступенчатый	eng sodda ko'rinishli

		сигнал	signallardan biri bo`lib, ABT o`tkinchi jarayonlarni hisoblashda ishlatiladi. U vaqt funksiyasi bo`lib, $t=0$ paytda $A=const$ qiymatiga erishadi va kelgusida o`zgarmasdan qoladi. $t<0$ bo`lganda esa $x(t)=0$.
Garmonik (sinusoidal yoki kosinusoidal) signal	Harmonic signal	Гармонический сигнал	avtomat boshqaruv tizimini va uni elementlarini chastotali xususiyatlarini tadqiqot qilishda keng qo`llaniladi. U vaqt funksiyali bo`lib, $x(t)=A\sin(\omega t+\varphi)$ ko`rinishda bo`ladi va garmonik signalni Laplas bo`yicha o`zgartirilishi:
Chiziqli o`svuvchi signal	Linearly increasing signal	Линейно увеличивающий сигнал	odatda kuzatuvchi tizimlar dinamikasini tadqiqot qilganda ko`proq qo`llaniladi. U vaqt bo`yicha chiziqli funksiya ko`rinishida ifodalaniladi:
Tizimning dinamik xarakteristikalar i	Dynamic characteristics of the system	Динамические характеристики системы	har xil ta`sirlar tufayli hosil bo`ladigan o`tkinchi jarayonlarga aytiladi. Ular tizimni uzatish funksiyasi asosida olinishi mumkin.
Amplituda va faza chastota xarakteristikasi	Amplitude Phase Frequency	Амплитудно фаза частотная характеристика	kompleksli ifodalarning nisbatidan iborat: $F(j\omega) = \frac{y(t)}{x(t)}$

(AFChX)	Response		
Zvenoning statik xarakteristikasi	Static characteristic of the unit	Статическая характеристика звена	o`rnatilgan xolatdagi chiqish va kirish qiymatlarning bog`lanishiga aytiladi. Dinamik zvenolarning statik xarakteristikasi analitik (ya`ni tenglama ko`rinishida) yoki grafik $y_{ch}=f(x_k)$ funksiya ko`rinishida, nohiziq zvenolarning esa ko`proq grafik ko`rinishda taqdim etiladi.
Inersiyasiz zveno	The inertia-free unit	Безинерционное звено	har onda chiqish u_{ch} va kirish x_k qiymatlari orasida proporsionallik bo`lgan zvenoga aytiladi. $u_{ch}=kx_k$; $W(p)=\frac{y_q}{x_k} = k$
Loyihalash	design	проектирование	- bu obyektning birlamchi bayoni va (yoki) uni mavjud qiladigan algoritm asosida berilgan sharoitda ham mavjud bo`lmagan obyektни yaratish uchun zarur bo`lgan bayonini tuzish jarayonidir. Loyihalash berilgan talablarga javob beradigan, yangi buyumni yaratish yoki yangi jarayonni amalga oshirish uchun zarur va yetarli bo`lgan loyihaladigan predmet bayonini olish maqsadidagi

			izlanish, tadqiqot, hisob va konstruksiyalash bo`yicha ishlar majmuini o`z ichiga oladi. Loyihalash - bu chuqur ilmiy bilimlarga va ijodiy izlanishlarga hamda ma`lum sohada to`plangan tajriba va ko`nikmalardan foydalanishga asoslangan, lekin sermashaqqat oddiy ishlarni bajarish zarurati bo`lgan inson bunyodkorlik faoliyatining murakkab, o`ziga xos turidir.
Birinchi darajali inersiyali (nodavriy, reaksiyali, aperiodik, bir sig`imli) zveno	Inertial unit of the first degree	Инерционное звено первого степени	chiqish qiymati vaqt bo`yicha eksponensial qonun bo`yicha o`zgaradigan zvenoga aytiladi.
Faktor	Factor	Фактор	ob`ektga ta`sir etuvchi ta`sir.
Tashqi muhit	External area	Внешняя среда	uyushmaning faoliyati amalga oshirilayotgan shlartlar to`plami. Tashqi muhit tashqi va ichki faktorlarga bog`liq bo`ladi.
Tadqiqot ob`ektining reaksiyasi	Response to inquire object	Реакция исследуемого объекта	ob`ektning kirish ta`siriga bo`lgan javobi (xolat o`zgarishi).
Tajriba ob`yekti	Object of experiment	Объект эксперимента	tajriba yo`li orqali o`rganilayotgan xar qanday xarakterdagi ob`ekt.
Model	Structure of	Структура	koeffisientlarigacha aniq

strukturasi	model	модели	bo'lgan F operatorining ko'rinishi.
Fizik model	Physical models	Физическая модель	real ob'ektning xususiyatlarining yoki xarakterini o'zida mujassam etgan fizik qurilma yoki maketga aytiladi.
Dinamik model	Dynamic model	Динамическая модель	ma'lum vaqt mobaynida jarayonning borishini tasvirlovchi matematik model.
Model	Model	Модель	ob'ekt yoki sistemaning real mavjudligidan farqli ravishda bir qancha ko'rinishlardagi tasviridir.
Avtomatlashtirilgan loyihalash (CAD)	Automated projection (CAD)	Автоматизированная проекция (CAD)	– bu loyihalarni yaratish, o'zgartirish, tahlil qilish va optimallashtirishni osonlashtirish uchun kompyuter tizimlaridan foydalanishga asoslangan texnologiyadir
O'lchov	Measurement	Измерение	Berilgan o'lchamli fizik kattalikni qayta hosil qilish uchun muljallangan o'lchash vositasidir. O'lchovlar bir qiymatli va ko'p qiymatli o'lchovlarga, xamda o'lchovlar to'plamiga bo'linadi. Bir qiymatli ulchavlar bir o'lchamli fizik kattalikni qayta hosil qilish uchun muljallanadi.

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 қураимиз. – 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.

Основная литература

22. Р.Дорф, Р Бишоп. Современние система управления. Перевод с английского Б.И Копылова. Учеб.пособие. –М.: Лаборатория Базовых Знаний ЮНИМЕДИАСТАЙЛ. 2002. -831 с.

23. Юсупбеков Н.Д., Мухамедов Б.Э., Фуломов Ш.М. Технологик жараёнларни бошқариш системалари . Дарслик. -Т.: Ўқитувчи, 1997, -720 б.
24. И.Чен, П.Джиблин, А.Ирвинг. Matlab в математических исследованиях. Учеб.пособие. -М.: Мир, 2001, -346 с.
25. В.Дьяконов. Matlab 6. Учеб.пособие. -СПб. Питер, 2001, -592 с.
26. Юсупбеков Н.Р., Мухамедов Б.И., Фуломов Ш.М. Техологик жараёнларни назорат қилиш ва автоматлаштириш. Дарслик. –Т.: Ўқитувчи. 2011.- 577 б.
27. Қодиров А.А. ва бошқалар. Технологик машиналар ва жиҳозларни автоматлаштириш. Дарслик. -Т.: Ўзбекистон файласуфлари миллий жамияти. 2012. - 224 б.
28. Методы классической и современной теории автоматического управления / Под ред. К.А.Пупкова. Учебник. Том 1-5. - М.: МГТУ им. Баумана, 2004 г.

Дополнительная литература

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. Учеб.пособие. -М.: Наука, 1991. - 432 с.
2. Игамбердиев Х.З. Регулярная идентификация динамических систем. Учеб.пособие. - Т.: Фан, 1987. - 120 с.
3. Крут К.Г. Планирования эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. Учеб.пособие. –М: Наука 1987. -324 с.
4. Моделирование систем: Учебное пособие / Под ред. Б.Я.Советова. –М.: Высш.шк, 1985, -207 с.
5. Гроп Д. Методы идентификации систем. Учеб.пособие. -М.: Мир, 1979. – 256 с.
6. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Учебник. -М.: Мир, 1979. -683 с.
7. Игамбердиев Х.З. Идентификация моделей многомерных систем: Учеб. пособие. –Т.: 1985. - 81 с.
8. Типовые линейные модели объектов управления / Под ред. Н.С. Райбмана. Учеб.пособие. -М.: Энергоатомиздат, 1983. - 264 с.
9. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. Учеб.пособие. -М.: Наука, 1984.-320 с.

Интернет сайты

1. <http://bigc.ru/theory/books/kvisam/glava4.php>
2. <http://www.kazedu.kz/referat/122754>
3. http://www.big.spb.ru/publications/bigspb/process/tehprocompany/tehnolog_proc_opisaniya_comp_part_3.shtml
4. <http://tekhnosfera.com/identifikatsiya-dinamiki-tehnologicheskikh-protsessov-na-osnove-modeley-nechetkoy-logiki>

