

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра управления в технических системах



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Е.И. Луковникова

_____ мая 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б1.В.ДВ.07.01

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

27.03.04 Управление в технических системах

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

Управление и информатика в технических системах

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах от 20.10.2015 г № 1171 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 03.02.2020 г № 46 для очной формы обучения, заочно - ускоренной формы обучения для набора 2020 года

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	4
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	8
4.3 Лабораторные работы.....	33
4.4 Практические занятия.....	33
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	33
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	34
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	35
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	35
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	35
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	36
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ практических работ	36
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	45
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	45
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	46
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	49
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	50
Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....	51

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательским и проектно-конструкторским видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Приобретение студентами представлений, знаний, навыков и умений при решении инженерных и прикладных задач идентификации и диагностики технических систем.

Задачи дисциплины

Формирование представлений и знаний студентов при изучении теоретической части дисциплины, в частности, осмысленное понимание связи между физической интерпретацией и математическими моделями изучаемых процессов.

Проведение системного синтеза и анализа проблемных ситуаций при формировании моделей и проверке их адекватности на лекционных, практических и лабораторных занятиях.

Прививание студентами навыков и умений по формированию моделей реальных систем (процессов, явлений), их идентификации и диагностики на практических и лабораторных занятиях.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1	Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных	Знать: - Основные принципы и методы построения и исследования математических моделей систем управления и преобразования для целей управлений; Уметь: - Использовать инструментальные программные средства в процессе разработки и эксплуатации технических систем; Владеть: - Навыками работы с современными аппаратными и программными средствами исследования и проектирования технических систем.
ПК-2	Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления	Знать: - Базовое устройство персонального компьютера. Уметь: - Использовать персональный компьютер для самостоятельной работы. Владеть: - Достаточным уровнем использования универсальных пакетов прикладных компьютерных программ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.7.1 Идентификация и диагностика технических систем относится к дисциплинам по выбору.

Дисциплина Идентификация и диагностика технических систем базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин Б1.Б.16 Теория автоматического управления,

Б1.В.ОД.9 Цифровые системы управления, Б1.В.ОД.14 Автоматизированные информационно-управляющие системы.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Идентификация и диагностика технических систем представляет основу для изучения дисциплин: Б2.П.3 производственная (преддипломная) практика и подготовки к Б3 государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	4	8	108	48	24	12	12	60	-	Зачет
Заочная	4	-	108	14	6	4	4	94	-	Зачет
Заочная (ускоренное обучение)	2	-	108	10	6	2	2	98	-	Зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости:

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			8
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	48	11	48
Лекции (Лк)	24	3	24
Лабораторные работы (ЛР)	12	4	12
Практические занятия (ПЗ)	12	4	12
Индивидуальные (групповые) консультации	+	-	+
II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	60	-	60
Подготовка к лабораторным работам	25	-	25
Подготовка к практическим занятиям	25	-	25
Подготовка к зачету	10	-	10
III. Промежуточная аттестация зачет	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоя- тельная работа обучаю- щихся
			лекции	лабораторные работы	практиче- ские занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Идентификация систем управления	54	12	6	6	30
1.1.	Аналитический метод идентификации	6	2	-	-	4
1.2.	Метод Симаю	8	2	2	-	4
1.3.	Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике	7	2	2	-	3
1.4.	Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	9	2	2	2	3
1.5.	Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа	7	2	-	2	3
1.6.	Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа	7	2	-	2	3
2.	Техническая диагностика систем	54	12	6	6	30
2.1.	Иерархия диагностических моделей	18	4	2	2	10
2.2.	Классификация отказов	18	4	2	2	10
2.3.	Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	18	4	2	2	10
	ИТОГО	108	24	12	12	60

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоёмкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоя- тельная работа обучаю- щихся
			лекции	лабораторные работы	практиче- ские занятия	
1	2	3	4	5	6	7

1.	Идентификация систем управления	68	4	2	2	60
1.1.	Аналитический метод идентификации	12	2	-	-	10
1.2.	Метод Симаю	12	2	-	-	10
1.3.	Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике	10	-	-	-	10
1.4.	Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	12	-	2	-	10
1.5.	Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа	10	-	-	-	10
1.6.	Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа	12	-	-	2	10
2.	Техническая диагностика систем	36	2	2	2	30
2.1.	Иерархия диагностических моделей	12	2	-	-	10
2.2.	Классификация отказов	10	-	-	-	10
2.3.	Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	14	-	2	2	10
	ИТОГО	104	6	4	4	90

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Идентификация систем управления	68	4	2	-	62
1.1.	Аналитический метод идентификации	12	2	-	-	10
1.2.	Метод Симаю	12	2	-	-	10
1.3.	Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике	10	-	-	-	10
1.4.	Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	12	-	2	-	10

1.5.	Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа	10	-	-	-	10
1.6.	Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа	12	-	-	-	12
2.	Техническая диагностика систем	36	2	-	2	32
2.1.	Иерархия диагностических моделей	12	2	-	-	10
2.2.	Классификация отказов	12	-	-	-	12
2.3.	Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	12	-	-	2	10
	ИТОГО	104	6	2	2	94

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.

Под идентификацией понимают определение структуры и параметров математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат (сигналов) модели и объекта при одинаковых входных воздействиях (сигналах)tt.

Само математическое моделирование – это процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта – математической модели.

В настоящее время математические модели используются очень широко в разных областях: ТАУ, статистике, медицине, геологии, метеорологии и др. Достоинства математических моделей:

- а) возможность быстро провести ряд экспериментов на математической модели с целью поиска оптимального технологического режима или максимально достоверного прогноза при минимальных затратах времени и материальных ресурсов. В практике эксплуатации на эти опыты ушли бы годы и десятилетия.
- б) возможность на модели задать условия эксплуатации, невозможные в реальности, для проверки оптимальных режимов.
- в) математическая модель по разработанным методикам (метод крутого восхождения, градиентный метод и др.) позволяет быстро найти оптимальные условия ведения технологического процесса.

Математическая модель – чаще всего это или одно уравнение математической взаимосвязи выходного сигнала объекта (системы) с входным, или система уравнений взаимосвязи выходных сигналов с входными. Так для одномерного (один вход и один выход) динамического объекта (системы) это дифференциальное уравнение связи выхода с входом или его передаточная функция, которую получают из дифференциального уравнения путем преобразования Лапласа.



Рис. 1. Схема исследования объекта управления.

Для многомерного объекта (несколько входных и выходных сигналов) математическая модель может быть задана в матричной форме.

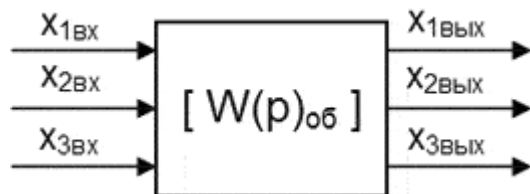


Рис. 2. Схема исследования многомерного объекта управления.

$$[X_{\text{вых}}] = [W(p)_{\text{об}}] \cdot [X_{\text{вх}}],$$

где $[X_{\text{вых}}] = \begin{bmatrix} x_{1\text{вых}} \\ x_{2\text{вых}} \\ x_{3\text{вых}} \end{bmatrix}$ – матрица (вектор-столбец) выходных сигналов,

$$[X_{вх}] = \begin{bmatrix} x_{1вх} \\ x_{2вх} \\ x_{3вх} \end{bmatrix} \text{ – матрица (вектор-столбец) входных сигналов,}$$

$$[W(p)_{об}] = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & w_{13} \\ w_{21} & w_{22} & w_{23} \\ w_{31} & w_{32} & w_{33} \end{bmatrix} \text{ – квадратная } |3 \times 3| \text{ матрица передаточных функций}$$

связей выход-вход сигналов, например: w_{23} – связь 2-го выхода с 3-им входом.

1. Нужно уточнить, что, поскольку в САУ объект управления является наименее изученным элементом, то именно его математическая модель является целью идентификации объекта как в динамическом (когда объект выводится из состояния равновесия), так и в статическом (нормальное течение технологического процесса) режимах работы. Математическая модель динамического режима работы объекта – одно или система дифференциальных уравнений; математическая модель статического режима – одно или система алгебраических уравнений.

Кроме того, математическая модель такого класса относится к объектам с сосредоточенными (компактно размещенными в пространстве) параметрами, и входные-выходные сигналы имеют детерминированную (определенную, не случайную природу), являются непрерывными (аналоговыми), с линейной характеристикой в статическом режиме при малых изменениях входных-выходных сигналов. Такие допущения могут быть сделаны для многих промышленных объектов.

Для такого класса объектов используются:

- 1) **аналитический метод** получения математической модели объекта;
- 2) **экспериментально-аналитический метод** с использованием типовых возмущающих воздействий, применяя математический аппарат ТАУ в виде типовых динамических звеньев.

Для идентификации объектов, у которых какой-либо выходной сигнал зависит от нескольких входных сигналов, используется:

- 3) **метод регрессионного анализа**, когда математическая модель – уравнение регрессии 1-го или 2-го порядка.

При использовании этого метода применяется теория математического планирования эксперимента.

Для объектов, у которых входные-выходные сигналы носят случайный (стохастический) характер, используется:

- 4) **метод корреляционного анализа** для идентификации объекта.

Несколько обособленно стоит метод идентификации объекта и системы с помощью **имитационных моделей**. Имитационная модель задается не в виде системы математических уравнений, а в виде программы на ЭВМ. С помощью имитационной модели с использованием теории математического планирования эксперимента проигрывают на ЭВМ различные варианты опытов для поиска оптимального управления объектом (системой). По сути, имитационная модель – это алгоритм, реализующий модель процесса и воспроизводящий процесс функционирования системы во времени на ЭВМ.

Как мне кажется, развитием имитационных моделей будут **виртуальные модели** объектов и систем, когда на ЭВМ будет выполнено виртуальное изображение физических параметров объекта и системы, и их поведение во времени можно будет наблюдать так, как сейчас наблюдают объекты в компьютерных играх.

При использовании любого метода идентификации объекта или системы необходимо решить следующие задачи:

- а) выбор структуры математической модели и метода идентификации;
- б) выбор информативных входных и выходных переменных (сигналов);
- в) оценка степени стационарности (неизменности во времени), линейности характеристик объекта;

г) оценка степени и формы влияния входных переменных (сигналов) на выходные.

Рассмотрим подробнее перечисленные методы идентификации.

1.1. Аналитический метод идентификации.

Аналитический метод вывода математической модели идентичной (совпадающей) по характеристикам с исследуемым объектом применим тогда, когда физико-химические процессы, происходящие в объекте, хорошо изучены. К таким объектам относятся механические системы, поведение которых в статике и динамике подчиняется законам Ньютона, некоторые химические реакторы с простыми химическими реакциями, протекающими в них. Примером такого объекта может служить бак, изображенный на рис. 1.3.

Пример 1.

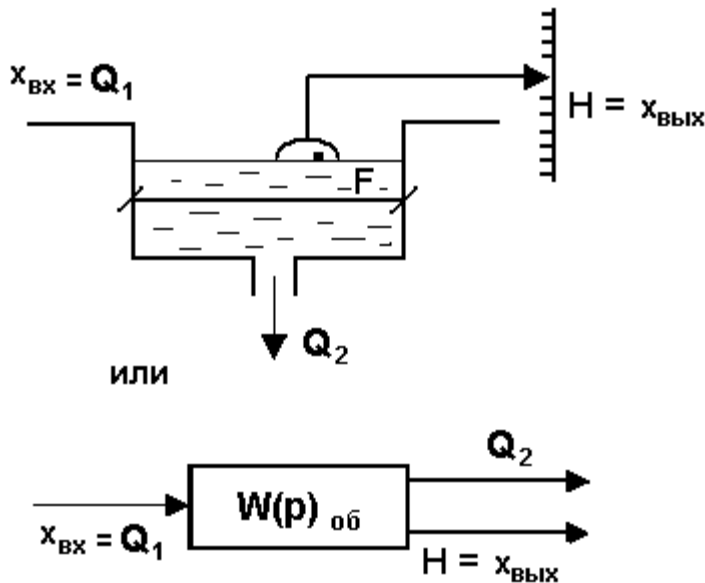


Рис. 3. Схема исследования объекта управления аналитическим методом.

Статический режим: $Q_1^0 = Q_2^0$;

Динамический режим:
$$\begin{cases} Q_1 = Q_1^0 + \Delta Q_1 \\ Q_2 = Q_2^0 + \Delta Q_2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} Q_1 - Q_2 &= Q_1^0 + \Delta Q_1 - Q_2^0 - \Delta Q_2 = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = \\ &= \frac{d(\Delta V)}{dt} = \frac{d(F \cdot \Delta H)}{d\tau} = F \cdot \frac{d(\Delta H)}{d\tau} \end{aligned}$$

Из гидравлики: $Q_2 = \alpha \cdot \sqrt{H}$ или для малых $\Delta Q_2 = a \cdot \Delta H$.

$$\text{Тогда: } \Delta Q_1 - a \cdot \Delta H = F \cdot \frac{d(\Delta H)}{d\tau}$$

или, переходя к бесконечно малым приращениям: $F \cdot \frac{dH}{d\tau} + a \cdot \Delta H = Q_1$

$$\text{или } \frac{F}{a} \cdot \frac{dH}{d\tau} + H = \frac{1}{a} \cdot Q_1$$

Обозначив в относительной размерности:

$$\frac{H}{H_{ном}} = x_{вых}; \quad \frac{Q}{Q_{ном}} = x_{вх}; \quad \frac{F}{a} = T_0; \quad \frac{1}{a} = k_{об}$$

получим:

$$T_0 \cdot \frac{dx_{вых}}{d\tau} + x_{вых} = k_{об} \cdot x_{вх}$$

Пример 2.

Электрический двигатель с нагрузкой описывается дифференциальным уравнением:

$$J \cdot \frac{d\omega}{d\tau} = M_{двиг} - M_{сопр.}$$

J – момент инерции,

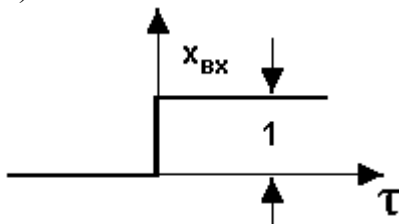
$M_{двиг.}$ $M_{сопр.}$ – момент на валу и момент сопротивления.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ – частота вращения вала двигателя.}$$

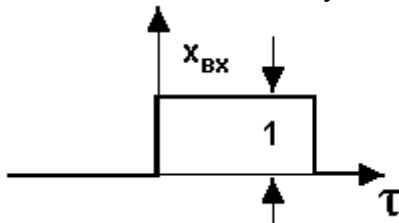
Экспериментально-аналитический метод идентификации.

Суть метода заключается в следующем: на действующем объекте по входному каналу подается одно из трех типовых возмущающих воздействий:

а) типа «единичного скачка»



б) типа «единичного импульса»



в) в виде синусоидальных колебаний различной частоты

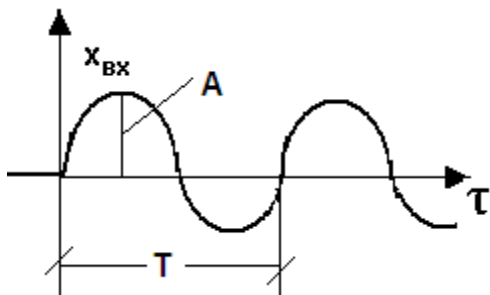


Рис. 4. Типовые возмущающие воздействия.

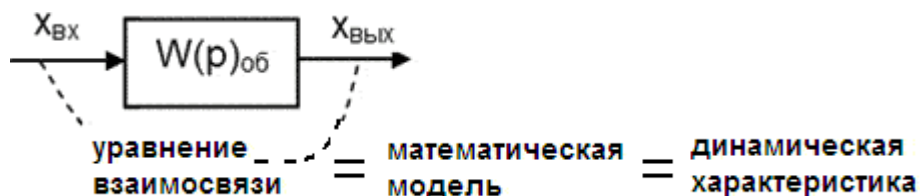


Рис. 5. Схема получения математической модели объекта.

Чаще всего используется возмущение типа «единичного скачка». Реакция объекта на такое возмущение – график изменения во времени выходного сигнала объекта называется **экспериментальной кривой разгона**.

Далее применяется специальный, уникальный (только в ТАУ) математический аппарат – совокупность шести типовых динамических звеньев.

Если рассматривать объект как «черный ящик», т.е. считать, что нам ничего не известно о физико-химических процессах, происходящих в нем, то оказывается, что различные по природе технологического процесса, объему и конфигурации объекты управления в динамическом режиме работы математически описываются (имеют математическую модель) в виде одного и того же типового уравнения взаимосвязи выходного сигнала объекта с входным. В ТАУ были подобраны всего 6 типов уравнений взаимосвязи выходного сигнала объекта с входным сигналом, которые назвали **типовыми динамическими звеньями**. Поскольку в динамическом режиме работы объекта, когда нарушено равновесие между притоком и стоком энергии или вещества в объекте, входной и/или выходной сигналы изменяются во времени, то большинство типовых уравнений взаимосвязи типовых динамических звеньев (ТДЗ) являются дифференциальным, т.е.

$$x_{\text{вых}} = a + b \cdot x_{\text{вх}} \text{ (алгебра), а } \frac{dx_{\text{вых}}}{d\tau} = a + b \cdot x_{\text{вх}} \text{ (диф. уравнение).}$$

Методика использования математического аппарата ТАУ – совокупности ТДЗ – заключается в следующем: каждое типовое динамическое звено, кроме типового уравнения взаимосвязи входного и выходного сигналов, имеет свою **типовую кривую разгона** и ряд других типовых характеристик. Полученную на действующем объекте экспериментальную кривую разгона сравнивают с набором шести типовых кривых разгона ТДЗ и по совпадению характера изменения во времени экспериментальной и какой-либо типовой кривой разгона проводят замену (аппроксимацию) исследуемого объекта данным типовым динамическим звеном. Тогда типовое уравнение взаимосвязи этого ТДЗ становится уравнением взаимосвязи выходного сигнала объекта с входным или искомой математической моделью объекта. Величину коэффициентов, входящих в данное типовое уравнение ТДЗ находят по экспериментальной кривой разгона объекта.

Пример 1.

Пусть на объекте получена следующая экспериментальная кривая разгона.

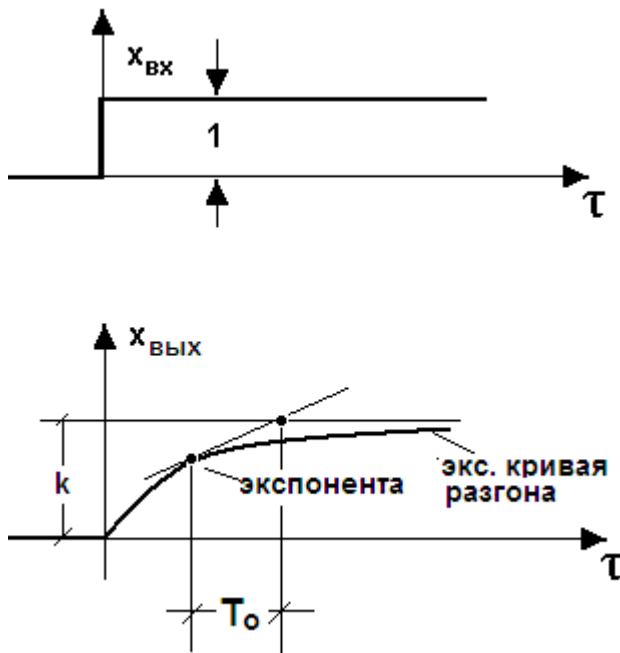


Рис. 6. Экспериментальная кривая разгона статического объекта.

Эта кривая называется экспонентой и по характеру изменения во времени совпадает с типовой кривой разгона апериодического (инерционного, статического) ТДЗ. Значит, такой объект можно заменить (аппроксимировать) апериодическим ТДЗ. Его типовое дифференциальное уравнение:

$$T_0 \frac{dx_{\text{вых}}}{d\tau} + x_{\text{вых}} = k \cdot x_{\text{вх}},$$

а передаточная функция – $W(p) = \frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{k}{T_0 p + 1}$.

Оба коэффициента: K и T_0 – легко найти из графика экспериментальной кривой разгона.

Пример 2.

Пусть на объекте получена следующая экспериментальная кривая разгона.

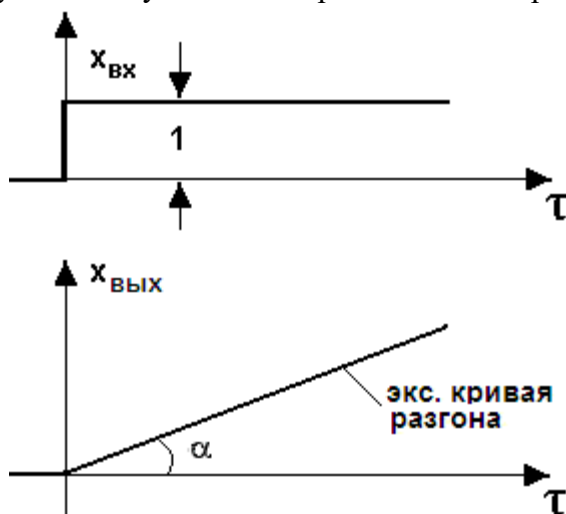


Рис. 7. Экспериментальная кривая разгона астатического объекта.

Эта экспериментальная кривая разгона похожа на типовую кривую разгона астатического (интегрирующего) ТДЗ с дифференциальным уравнением:

$$T \frac{dx_{\text{вых}}}{d\tau} = x_{\text{вх}} \text{ и передаточной функцией } W(p) = \frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{1}{T p}.$$

Коэффициент T легко определить по экспериментальной кривой разгона по углу α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{T}.$$

Аналогично легко провести идентификацию динамического объекта по совпадению экспериментальной и типовой кривых разгона для замены (аппроксимации) объекта усилительным, реальным дифференцирующим и запаздывающим ТДЗ. Типовые кривые разгона этих звеньев такие:

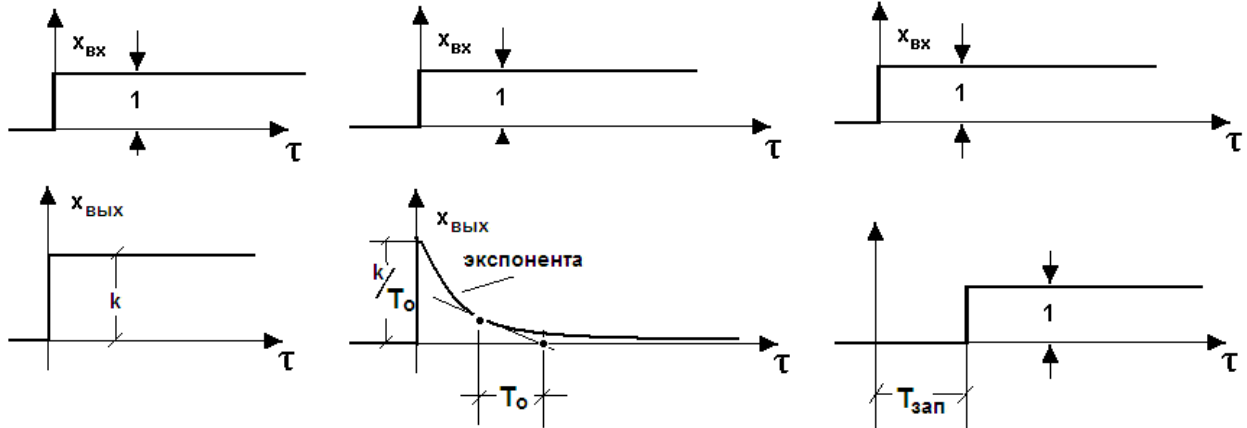


Рис. 8. Кривые разгона усилительного, реального дифференцирующего и запаздывающего ТДЗ.

А передаточные функции такие:

$$W(p)_{\text{усилит}} = \frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = k; \quad W(p)_{\text{реал.дифф.}} = \frac{k \cdot p}{T_0 \cdot p + 1}; \quad W(p)_{\text{зап}} = \frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = e^{-p\tau_{\text{зап}}}.$$

Величину коэффициентов в этих типовых передаточных функциях также легко найти по графикам экспериментальных кривых разгона (см. рис. 1.8.).

Сложнее найти математическую модель идентифицируемого объекта, если получена следующая экспериментальная кривая разгона:

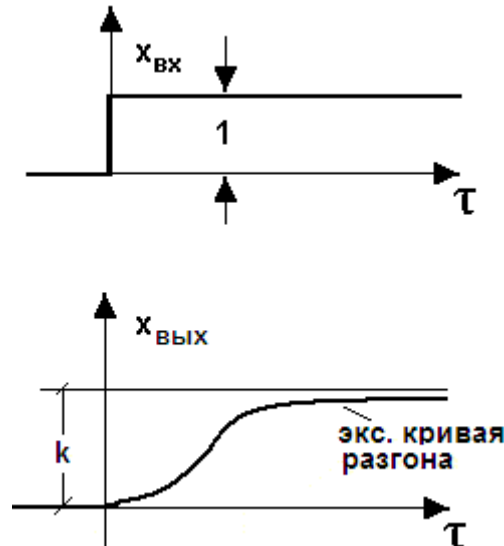


Рис. 9. Экспериментальная кривая разгона аperiodического звена второго порядка.

На первый взгляд, такая экспериментальная кривая разгона похожа на типовую кривую разгона аperiodического звена 2-го порядка с передаточной функцией:

$$\frac{x_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = W(p) = \frac{k}{T_1 p^2 + T_2 p + 1},$$

однако точное определение коэффициентов T_1 и T_2 в этой $W(p)$ затруднено.

Для более точной идентификации такого объекта используют метод Симою, или «метод площадей».

1.2 Метод Симою

При использовании этого метода исходную экспериментальную кривую разгона перестраивают в координатах $\sigma_{\text{вых}}(\tau)$, где

$$\sigma_{\text{вых}} \frac{x_{\text{вых}}(\tau)}{x_{\text{вых}}(\infty)} = \frac{x_{\text{вых}}(\tau)}{k}$$

и получают подобную исходной характеристику.

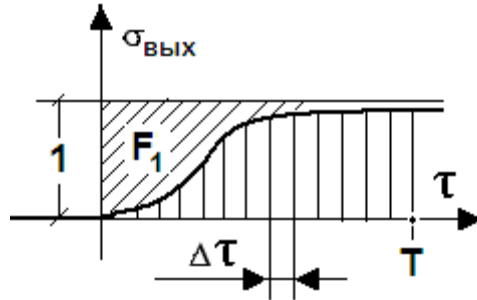


Рис. 10. Преобразование экспериментальной кривой разгона апериодического звена второго порядка при использовании метода Симою.

Искомую математическую модель записывают в общем виде как отношение полиномов от p – оператора Лапласа:

$$W(p)_{об} = \frac{b_m \cdot p^m + \dots + b_1 \cdot p + 1}{a_n \cdot p^n + \dots + a_1 \cdot p + 1} = \frac{B(p)}{A(p)} = \frac{\sigma_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}$$

Обычно полином $A(p)$ ограничивают 3-им порядком:

$$A(p) = a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1.$$

Если а) $x_{\text{вых}}=0$ при $\tau=0$, то полином $B(p)$ будет 2-го порядка и, следовательно,

$$W(p)_{об} = \frac{b_2 \cdot p^2 + b_1 \cdot p + 1}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1} = \frac{\sigma_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}$$

Если а) $x_{\text{вых}}=0$ при $\tau=0$ и $\frac{dx_{\text{вых}}}{d\tau} = 0$ при $\tau=0$, что имеет место для данной экспериментальной кривой разгона, то полином $B(p)$ будет 1-го порядка, а искомая математическая модель имеет вид:

$$W(p)_{об} = \frac{b_1 \cdot p + 1}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1} = \frac{\sigma_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}$$

Задача идентификации сводится к определению в этой $W(p)$ коэффициентов b_1 , a_3 , a_2 , a_1 .

Для решения этой задачи кривую разгона, перестроенную в координатах $\sigma_{\text{вых}}(\tau)$ на отрезке $0-T$ разбивают на $T/\Delta\tau$ частей, чтобы было 20-30 координат: $\sigma_1 \div \sigma_{30}$.

Затем для случая б), когда

$$W(p)_{об} = \frac{b_1 \cdot p + 1}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1} = \frac{\sigma_{\text{вых}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)},$$

решая систему алгебраических уравнений, находят коэффициенты b_1 , a_3 , a_2 , a_1 :

$$\begin{cases} a_1 = F_1 + b_1 \\ a_2 = F_2 + b_1 \cdot F_1 \\ a_3 = F_3 + b_1 \cdot F_2 \\ F_4 = f(\sigma; \tau) \end{cases}, \text{ где}$$

$$F_1 = \int_0^T (1 - \sigma) d\tau = \sum_{i=1}^{n=30} (1 - \sigma_i) \Delta\tau - \text{замена интеграла на сумму площадей};$$

$$F_2 = F_1^2 \int_0^T (1 - \sigma)(1 - \theta) d\theta, \text{ где } \theta = \frac{\tau}{F_1};$$

$$F_3 = F_1^3 \int_0^T (1 - \sigma)(1 - 2\theta + \frac{\theta^2}{2}) d\theta;$$

$$F_4 = F_1^4 \int_0^T (1 - \sigma)(\frac{F_3}{F_1^3} - \frac{F_2}{F_1^2} \theta + \frac{\theta^2}{2} - \frac{\theta^3}{6}) d\theta.$$

Чтобы вернуть $W(p)_{об} = \frac{\sigma_{вых}(p)}{x_{ex}(p)}$ к $W_{об}(p) = \frac{x_{вых}(p)}{x_{ex}(p)}$, нужно первую

умножить на к:

$$W(p) = \frac{x_{вых}(p)}{x_{ex}(p)} = \frac{k(b_1 \cdot p + 1)}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1}.$$

Если $b_1 < 1$, $\sqrt[3]{a_3} < \sqrt{a_2}$ и a_1 , то $W_{об}(p)$ будет:

$$W(p) = \frac{x_{вых}(p)}{x_{ex}(p)} = \frac{k}{a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p + 1} = \frac{k}{T_1 \cdot p^2 + T_2 \cdot p + 1}.$$

1.3. Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике.

Иногда по технологическим условиям нельзя длительное время держать «единичный скачок» на входе объекта. Тогда подается возмущение типа «единичного импульса», длительность которого достаточна для заметного изменения выходного сигнала. Практически «единичный импульс» рассматривается как два последовательных «единичных скачка», только первый имеет значение (+1), а второй – (-1). Полученная на объекте экспериментальная импульсная характеристика – график изменения во времени выходного сигнала объекта путем несложных графических преобразований достраивается до экспериментальной кривой разгона и далее поиск математической модели – $W_{об}(p)$ идет по указанному выше пути. Перестройка импульсной характеристики объекта до экспериментальной кривой разгона идет так:

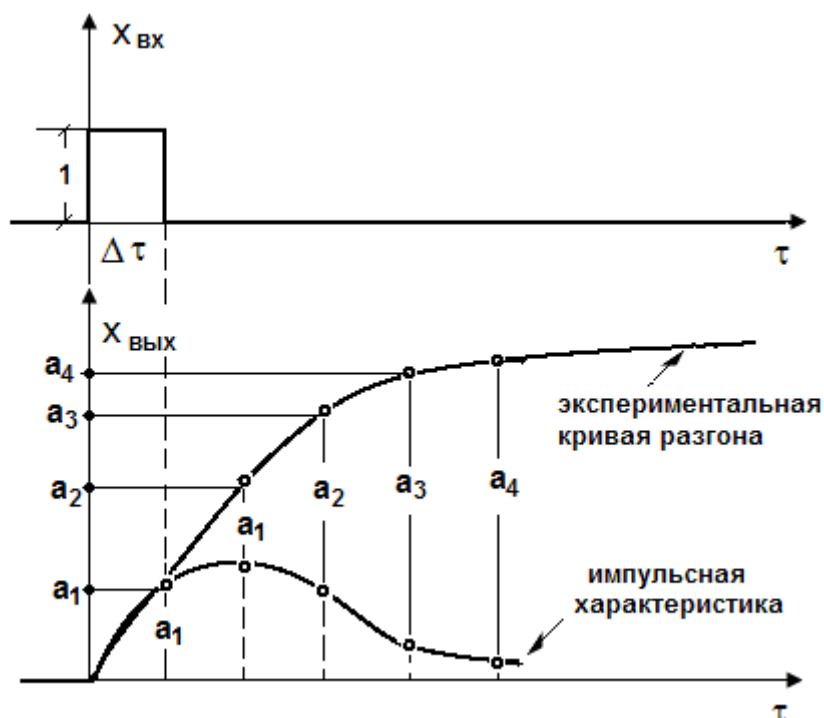


Рис. 11. Схема преобразования экспериментальной импульсной характеристики в кривую разгона.

1.4. Идентификация динамических объектов управления частотным методом.

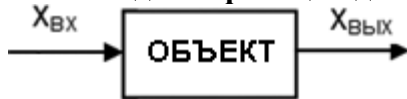


Рис. 12. Схема экспериментального исследования объекта частотным методом.

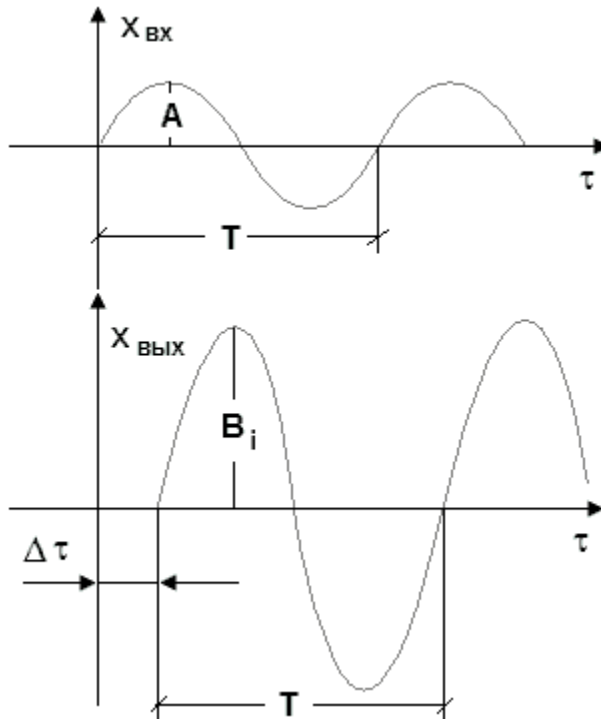


Рис. 13. Входные и выходные синусоидальные колебания при исследовании объекта частотным методом.

Это также экспериментально-аналитический метод, когда в эксперименте на вход объекта подаются синусоидальные колебания различной частоты и с амплитудой A . На выходе объекта также устанавливаются синусоидальные колебания той же частоты или периода ($\omega = \frac{2\pi}{T}$ рад/сек), но другой амплитуды B_i , сдвинутые во времени на отрезок $\Delta\tau$ или угол сдвига фаз $\varphi = \omega \cdot \Delta\tau = \frac{2\pi \cdot \Delta\tau}{T}$.

Запишем $x_{вх}$ и $x_{вых}$:

$$x_{I_{вх}} = A \cdot \sin(\omega_1 \cdot \tau),$$

$$x_{I_{вых}} = B_i \cdot \sin(\omega_1 \cdot \tau - \varphi_1).$$

На практике диапазон изменения частоты очень узок, не от 0 до ∞ , а от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_{\text{н\acute{a}ч}}^*$, когда объект перестает реагировать на синусоидальные колебания.

Синусоидальные и косинусоидальные колебания можно записать в показательной форме, используя действительную часть формулы Эйлера:

$$\cos \alpha + i \cdot \sin \alpha = e^{i\alpha},$$

т.е. $x_{I_{вх}} = A \cdot e^{i\omega_1 \tau}$

$$x_{I_{вых}} = B_i \cdot e^{i(\omega_1 \tau - \varphi_1)} = B_i \cdot e^{i\omega_1 \tau} e^{-i\varphi_1}.$$

Разделив $x_{I_{вых}} / x_{I_{вх}}$, получим:

$$\frac{x_{I_{вых}}(p)}{x_{I_{вх}}(p)} = \frac{B_i}{A} \cdot e^{-i\varphi_1}$$

Изменяя частоту входных колебаний от 0 до $\omega_{\text{среза}}$, получаем амплитудно-частотную характеристику (АФХ) объекта в виде $\frac{B_k}{A} = f(\omega)$, фазо-частотную характеристику объекта (ФЧХ) $\varphi_k = f(\omega)$, а также амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ=АФХ) объекта – $\overline{W}(j\omega)$, которая является вектором, а график АФХ – годограф этого вектора при изменении частоты от 0 до $\omega_{\text{среза}}$, где

$$|\overline{W}(j\omega)| - \text{длина вектора, равная } \frac{B_k}{A},$$

угол φ_k – угол сдвига фазы выходной синусоиды.

$$\begin{aligned} \frac{B_k}{A} [\cos(\varphi_k) - i \cdot \sin(\varphi_k)] &= \text{АФХ} - \overline{W}(j\omega) = \frac{B_k}{A} \cdot e^{-i\varphi_k} = \\ &= \frac{B_k}{A} \cdot \cos(\varphi_k) - i \cdot \frac{B_k}{A} \cdot \sin(\varphi_k) = m_k - in_k \end{aligned}$$

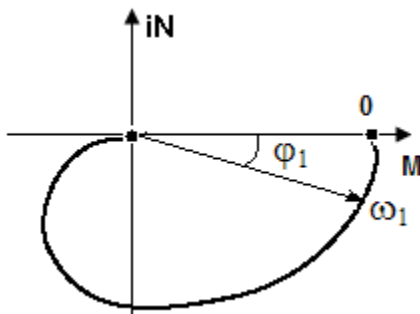


Рис. 14. Амплитудно-фазовая частотная характеристика исследуемого объекта.

Получение экспериментальной АФХ – длительный процесс. Один эксперимент – одна точка на графике АФХ, но точность аппроксимации выше, чем при снятии экспериментальной кривой разгона. Экспериментальную АФХ сравнивают с типовыми АФХ звеньев и проводят аппроксимацию (замену) объекта на одно или совокупность ТДЗ. Здесь также можно использовать ЛАЧХ и ЛФЧХ – логарифмические амплитудно- и фазо-частотные характеристики.

Пример 1. Замена на два последовательно соединенных ТДЗ: запаздывания и апериодическое.

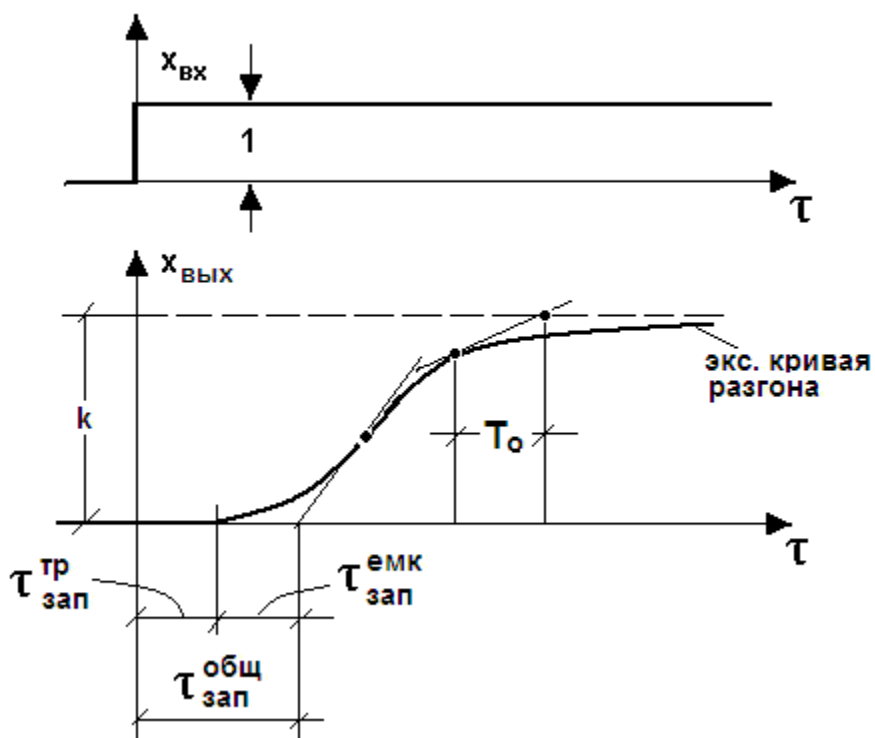


Рис. 15. Экспериментальная кривая разгона сложного объекта, аппроксимируемого на запаздывающее и апериодическое ТДЗ.

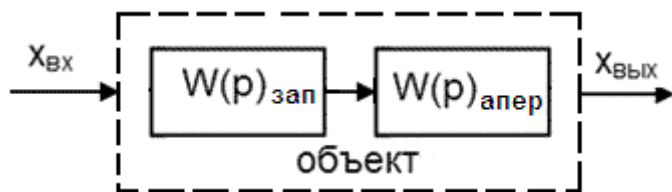


Рис. 16. Схема объекта, состоящего из двух последовательно соединенных запаздывающего и апериодического звеньев.

Передаточная функция объекта:
$$W(p)_{об} = e^{-p\tau_{зап}} \cdot \frac{k_{об}}{T_0 p + 1}$$

Пример 2. Замена (аппроксимация) на два последовательно соединенных ТДЗ: запаздывания и астатическое (интегрированное).

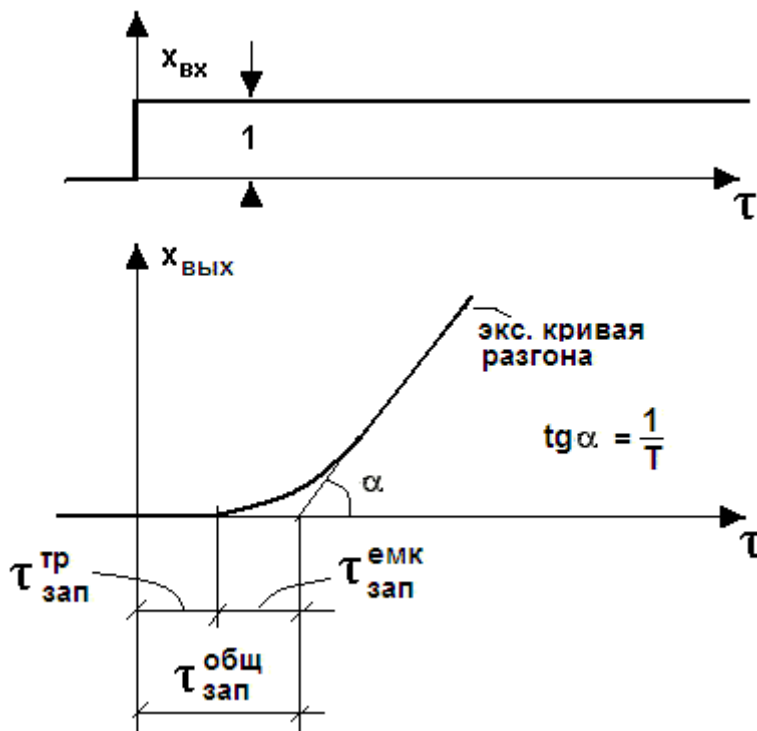


Рис. 17. Экспериментальная кривая разгона сложного объекта, аппроксимируемого на запаздывающее и астатическое ТДЗ.

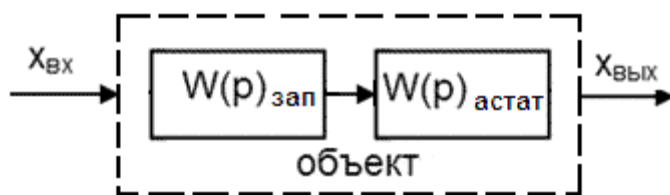


Рис. 18. Схема объекта, состоящего из двух последовательно соединенных запаздывающего и астатического звеньев.

Передаточная функция объекта: $W(p)_{об} = e^{-p\tau_{зап}} \cdot \frac{1}{Tp}$

1.5. Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа.

В современных сложных объектах, как правило, выходной сигнал объекта зависит не от одного входного сигнала, как в случае с кривой разгона, а от нескольких входных сигналов, т.е. объект управления имеет сложное переплетение взаимосвязей входных и выходных сигналов.



Рис. 19. Схема объекта, состоящего из нескольких взаимосвязанных входных-выходных сигналов.

Для идентификации таких сложных объектов используется метод регрессионного анализа с проведением активного эксперимента на базе теории математического планирования эксперимента.

Назначение этой теории – значительно сократить количество экспериментальных опытов и упростить расчеты, необходимые для получения уравнения взаимосвязи выходного сигнала с несколькими входными сигналами – **уравнения регрессии**.

Сокращение числа необходимых экспериментов в теории математического планирования эксперимента достигается за счет **одновременного** изменения всех входных сигналов (факторов), а упрощение расчетов получается за счет того, что изменение входных сигналов (факторов) нормируется, т.е. величины $\pm \Delta x_{\text{вх}} = \pm 1$.

Пусть $x_{\text{вых}} = f(\Delta x_{1\text{вх}}; \Delta x_{2\text{вх}})$ – зависит от 2-х входных факторов.

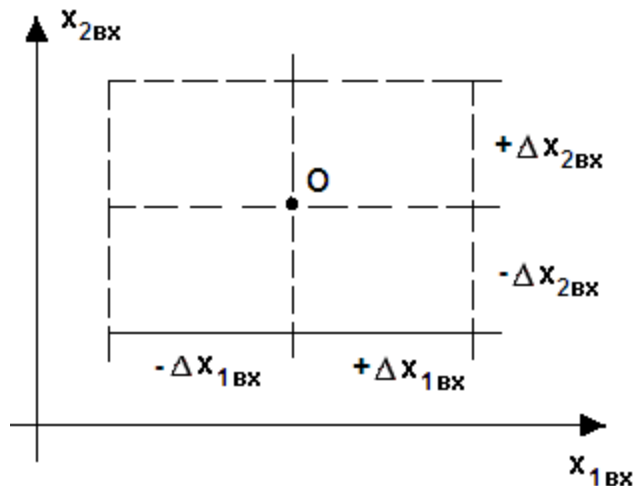


Рис. 20. Схема исследования объекта методом регрессионного анализа для двух входных сигналов (факторов).

Точка О – номинальный режим работы объекта. Нормализация происходит за счет того, что начало координат переносится в точку О на $\pm \Delta x_{\text{вх}} = \pm 1$.

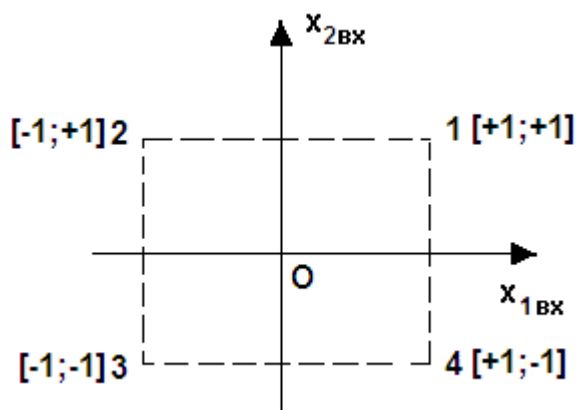


Рис. 21. Схема центрального плана полного факторного эксперимента для двух входных сигналов (факторов).

Здесь (рис. 21) изображен план проведения опытов для изучения зависимости $x_{\text{вых}} = f(\Delta x_{1\text{вх}}; \Delta x_{2\text{вх}})$. Число опытов равно $4=2^2$ – полный факторный эксперимент; Для k входных факторов число опытов в факторном эксперименте: $N=2^k$. При $k=3$ $N=8$; $k=4$, $N=16$ и т.д.

На приведенном выше рис. 21. изображен центральный (точка О – в центре) ортогональный полный факторный план эксперимента для 2-х входных факторов.

Таблица 1. Полный факторный эксперимент для $k=2$.

№ опыта	$x_{1\text{вх}}$	$x_{2\text{вх}}$	$x_{\text{вых}}$
---------	------------------	------------------	------------------

1	+1	+1	$x_{вых}^1$
2	-1	+1	$x_{вых}^2$
3	-1	-1	$x_{вых}^3$
4	+1	-1	$x_{вых}^4$

Свойство плана, когда, называется **ортогональностью плана**.

Таблица 2. Полный факторный эксперимент для k=3.

№ опыта	$x_{1вх}$	$x_{2вх}$	$x_{3вх}$	$x_{вых}$
1	+1	+1	+1	$x_{вых}^1$
2	-1	+1	+1	$x_{вых}^2$
3	-1	-1	+1	$x_{вых}^3$
4	+1	-1	+1	$x_{вых}^4$
5	+1	+1	-1	$x_{вых}^5$
6	-1	+1	-1	$x_{вых}^6$
7	-1	-1	-1	$x_{вых}^7$
8	+1	-1	-1	$x_{вых}^8$

В полном факторном плане экспериментов число опытов резко возрастает в зависимости от числа входных факторов: $k=4, N=16$; $k=5, N=32$; $k=6, N=64$ опыта.

Поэтому для сокращения числа опытов с минимальной потерей информации применяются сокращенные планы – **дробные реплики**. Если планы содержат половину опытов полного факторного эксперимента, то такой план носит название **полуреплики**.

Таблица 3. Пример полуреплики для k=4 (ПФЭ=16)

№ опыта	$x_{1вх}$	$x_{2вх}$	$x_{3вх}$	$x_{4вх}$
1	+1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1	-1
3	-1	+1	+1	-1
4	-1	-1	+1	+1
5	+1	+1	-1	-1
6	+1	-1	-1	+1
7	-1	+1	-1	+1
8	-1	-1	-1	-1

Используют также $\frac{1}{4}$ реплики от полного факторного эксперимента.

Уравнение взаимосвязи входного и выходного сигналов – уравнение регрессии – записывается в виде алгебраического полинома 1-ой и 2-ой степени в следующем виде:

1-ой степени: $x_{вых} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$;

с учетом взаимодействия входных факторов для 2-х входных факторов x_1 и x_2 :

$x_{вых} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$.

Полином второй степени – уравнение регрессии:

$x_{вых} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2$

Естественно, это уравнение более точно описывает взаимосвязь $x_{вых}$ – функции отклика – с входными факторами (сигналами) объекта.

Задача идентификации объекта управления (ОУ) методом регрессивного анализа сводится к выбору порядка математической модели – уравнения регрессии – и определению коэффициентов b_0 , b_1 , b_2 , b_{12} и т.д. в этом уравнении регрессии.

При определении этих коэффициентов используется **метод наименьших квадратов**, в котором определяется наименьшая сумма отклонений в квадрате (2-ой степени) между реально полученным в эксперименте выходным сигналом и выходным сигналом, рассчитанным (предсказанным) по уравнению регрессии, т.е. ищут минимум функции:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - x_{i\text{вых}}^{\text{регр}})^2 \rightarrow \min$$

Минимум функции Φ достигается в том случае, когда первая частная производная (тангенс угла наклона к впадине) равна нулю, т.е.

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b_0}; \frac{\partial \Phi}{\partial b_1}; \frac{\partial \Phi}{\partial b_2}; \frac{\partial \Phi}{\partial b_{12}} = 0.$$

Пример.

$$\sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - x_{i\text{вых}}^{\text{регр}})^2 \rightarrow \min$$

Рассмотрим пример использования метода наименьших квадратов.

Пусть выходной сигнал (функция отклика) зависит от одного фактора (входного сигнала). Активно проведено n экспериментов. Задана $\sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^{\text{экс}}$ и получена $\sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}}$ – результатов экспериментов.

Общий вид уравнения регрессии 1-го порядка для примера:

$$x_{\text{вых}} = b_0 + b_1 x_1$$

Методом наименьших квадратов ищем минимум функции Φ :

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - x_{i\text{вых}}^{\text{регр}})^2 = \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - b_0 - b_1 x_{i\text{вх}})^2$$

Для получения минимума этой Φ приравняем к нулю частные производные $\frac{\partial \Phi}{\partial b_0} = 0; \frac{\partial \Phi}{\partial b_1} = 0$.

Для удобства получения частных производных введем фиктивную переменную $x_0=1$ и функцию Φ запишем:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - b_0 x_0 - b_1 x_{i\text{вх}})^2, \text{ тогда}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \Phi}{\partial b_0} = 2 \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - b_0 x_0 - b_1 x_{i\text{вх}})^2 \cdot x_0 = 0 \\ \frac{\partial \Phi}{\partial b_1} = 2 \sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - b_0 x_0 - b_1 x_{i\text{вх}})^2 \cdot x_{i\text{вх}} = 0 \end{cases}$$

$x_0=1$ можно убрать. Тогда

$$\begin{cases} b_0 \cdot n + \sum_{i=1}^n b_1 x_{i\text{вх}} = \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} \\ b_0 \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}} + b_1 \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^2 = \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} \cdot x_{i\text{вх}} \end{cases}$$

Решая эту систему алгебраических уравнений (можно методом Крамера), находим:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^2 - \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} \cdot x_{i\text{вх}} \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}\right)^2}$$

$$b_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} \cdot x_{i\text{вх}} - \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}} \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}}}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}\right)^2}$$

Проверка идентичности математической модели – уравнения регрессии исследуемого объекта проводится по нескольким критериям адекватности и идентичности модели.

Поскольку результаты опытов в эксперименте заранее точно предсказать невозможно, то обработка и сами результаты связаны с неопределенностью или вероятностью. Вероятность изменяется в пределах: 0 – события быть не может, 1 – событие произойдет обязательно (день-ночь). При большом числе параллельных (одинаковые условия) опытов вероятность может быть задана в виде функции распределения вероятностей (рис. 22.):

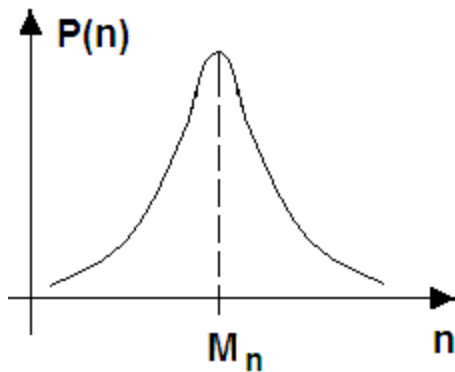


Рис. 22. Схема нормального (гауссовского) закона распределения вероятностей.

На практике чаще всего используется так называемое нормальное (гауссовское) распределение вероятностей.

Случайная величина ($x_{i\text{вых}}^i$) имеет несколько числовых характеристик, наиболее важные из которых – это **математическое ожидание** и **дисперсия**.

Математическое ожидание – это среднее взвешенное значение случайной величины

$$M_{x_{\text{вых}}} = \sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}} \cdot p(x_{i\text{вых}})$$

Дисперсия характеризует разброс значений случайной величины относительно ее математического ожидания.

$$D(x_{i\text{вых}}) = M[x_{i\text{вых}} - M(x_{\text{вых}})]^2 = \sum_{i=1}^n [x_{i\text{вых}} - M_{x_{\text{вых}}}]^2 \cdot p(x_{i\text{вых}}).$$

Проверка значимости уравнения регрессии проводится по критерию Фишера или F-критерию.

Проверка заключается в определении, значимо ли (больше ошибки измерения) полученное уравнение $x_{\text{вых}}^{\text{регр}} = b_0 + b_1 x_{i\text{вх}}$ отличается от уравнения $x_{\text{вых}}^{\text{регр}} = x_{\text{вых}}^{\text{сред}}$.

Для этого вычисляют дисперсию относительно среднего значения выходного сигнала:

$$S_{\text{ср}}^2 = D_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - x_{\text{вых}}^{\text{сред}})^2}{n - 1 = f_1}, f_1 - \text{число степеней свободы,}$$

$$\text{где } x_{\text{вых}}^{\text{сред}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i\text{вых}}^{\text{экс}}}{n-1 = f_1}.$$

А также остаточную дисперсию:

$$D_{\text{ост}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i\text{вых}}^{\text{экс}} - x_{i\text{вых}}^{\text{регр}})^2}{n-2 = f_2}, f_2 - \text{число степеней свободы.}$$

Величину критерия Фишера (F-критерий) определяют по формуле:

$$F = \frac{D_{\text{ср}}}{D_{\text{ост}}} > F_{\text{табличное}} \text{ (должно быть).}$$

Значимость коэффициентов b_i уравнения регрессии определяют по t-критерию (критерии Стьюдента):

$$t = \frac{|b_i|}{\sqrt{D_{b_i}}} > t_{\text{табличное}}, \text{ где}$$

$$D_{b_i} = \frac{D_{\text{ост}} \cdot n}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_{i\text{вх}}\right)^2}.$$

1.6. Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа.

Метод корреляционного анализа используется для идентификации объектов управления в том случае, если входные и выходные сигналы являются случайными величинами.



Рис. 23. Схема исследования объекта корреляционным методом.

При корреляционном анализе используются:

- автокорреляционная функция (АКФ) и
- взаимокорреляционная функция (ВКФ).

АКФ характеризует зависимость последующих значений случайной величины от предыдущих, находящихся на расстоянии $\Delta\tau$.

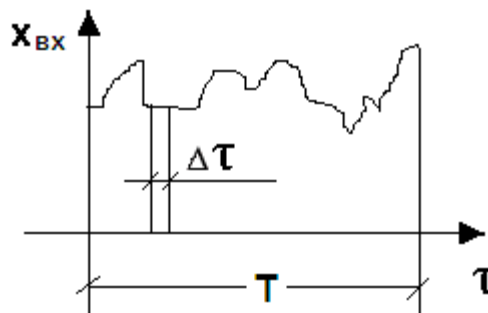


Рис. 24. График изменения входной случайной величины – входного сигнала.

$$\text{АКФ: } R_{x_{\text{вх}}}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_{\text{вх}}(\tau + \Delta\tau) \cdot x_{\text{вх}}(\tau) \cdot d\tau. \text{ При } \Delta\tau \rightarrow 0 - \text{точнее.}$$

Взаимокорреляционная функция связывает две величины, отстоящие друг от друга на $\Delta\tau$.

$$\text{ВКФ: } R_{x_{\text{ex}}; x_{\text{emx}}}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x_{\text{emx}}(\tau + \Delta\tau) \cdot x_{\text{ex}}(\tau) \cdot d\tau.$$

С АКФ и ВКФ связаны (через преобразование Фурье, когда входной-выходной сигнал раскладывается в ряд Фурье, состоящий из суммы синусоидальных колебаний с различной ω – ряд гармоник) спектральные плотности случайных величин.

$$S_{x_{\text{ex}}}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{x_{\text{ex}}}(\tau) \cdot e^{-i\omega\tau} \cdot d\tau \text{ – для АКФ}$$

$$S_{x_{\text{ex}}; x_{\text{emx}}}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{x_{\text{ex}}; x_{\text{emx}}}(\tau) \cdot \Delta\tau \cdot d\tau \text{ – для ВКФ.}$$

Физически $S_{x_{\text{ex}}}(\omega)$ показывает, какая доля мощности случайной величины приходится на данную частоту.

Через спектральную плотность находим АФЧХ объекта:

$$\text{АФЧХ} = \overline{W}(i\omega) = \frac{S_{x_{\text{ex}}; x_{\text{emx}}}(\omega)}{S_{x_{\text{ex}}}(\omega)}.$$

2. ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ

2.1. Иерархия диагностических моделей

Техническая диагностика – наука о распознавании состояния технической системы. Диагнозис (гр.) – распознавание.

Объект технического диагностирования – изделие и его составные части, техническое состояние которых подлежит определению с заданной точностью.

Техническое состояние – совокупность свойств объекта, характеризующая в данный момент времени признаками, установленными технической документацией на объект.

Техническое состояние может быть:

- исправное-неисправное;
- работоспособное-неработоспособное;
- функционирующее правильно и неправильно.

Диагностирование по алгоритму – это совокупность предписаний с использованием диагностических признаков.

Система технического диагностирования – совокупность средств и объекта диагностирования, а также и **исполнителей**, осуществляющих диагностирование по правилам, установленным соответствующей документацией. Система технической диагностики определяет состояние технического объекта, характер его изменения с течением времени, по определенным диагностическим признакам.

Теоретический фундамент технической диагностики – теория распознавания образов, разработка алгоритмов распознавания, создание диагностических математических моделей, устанавливающих связь между состояниями технической системы и их отображением в пространстве диагностических признаков (сигналов). Диагнозы – классы типичных (типовых) состояний.

Важная часть распознавания – правила принятия решений (решающие правила).

Диагностика в режиме работы объекта называется **функциональным техническим диагностированием**.

Диагностика, когда проводятся тестовые воздействия – **тестовая техническая диагностика**.

В технической диагностике введено понятие **глубины поиска дефекта**, задаваемое указанием составной части объекта диагностики, с точностью, до которой определяется место дефекта. Обычно это модуль или блок, иногда даже микросхема (ЛОМИКОНТ).

Актуальность технической диагностики подтверждается следующими цифрами: в США исследования показали техническое обслуживание и ремонт самолета в 3-4 раза больше его стоимости, ремонт и обслуживание радиотехнического оборудования – 1200% от его стоимости. В СССР (по 1981 г.) ремонтом и обслуживанием металлорежущих станков занимались в 4 раза больше рабочих, чем изготовлением этого оборудования. Стоимость заводского ремонта в ВВС США в 1987 г. составила 15 млрд. долл., что в 2 раза больше, чем в 1980 г.

Тенденция роста убытков, связанных с отказами техники, имеет место во всех развитых странах. Отказы, неисправности, поломки, сбои, ошибки и даже катастрофы – неизбежные факторы, дестабилизирующие процесс нормального функционирования объекта и системы управления. Имеется 3 причины отказов и катастроф:

- а) применение малоизученных физических явлений для создания изделий;
- б) несоблюдение принципа системности при проектировании изделий; применение несовершенных и неадекватных расчетных схем;
- в) «человеческий фактор» в разработке, производстве и эксплуатации изделий («защита от дурака»).

Так, например, недостаточная изученность свойств материалов и несовершенство расчетов привели к катастрофе в США реактивного пассажирского самолета «Комета», который развалился в воздухе. Причина – прямоугольные иллюминаторы, в углах которых возникла концентрация напряжений, что привело к разрушению корпуса самолета.

Второй пример. В 1967 г. во время наземных испытаний космического корабля «Аполлон» США возникло короткое замыкание в проводе под креслом космонавта – мгновенный пожар в избытке кислорода – погибли 3 человека.

В США подсчитано в 1956 г., что из-за ошибок рабочих и служащих возникло 2 млн. отказов промышленного оборудования, что стоило 2 млрд. долл. Причина большинства авиакатастроф – «человеческий фактор».

Объективность «человеческого фактора» и необходимость его учета отражена в шуточных законах Мэрфи:

1. Инструмент падает туда, где может нанести наибольший вред.
2. Любая трубка при укорачивании оказывается слишком короткой.
3. После разборки и сборки какого-либо устройства несколько деталей оказываются лишними.
4. Количество имеющихся в наличии запчастей обратно пропорционально потребности в них.
5. Если какая-либо часть устройства может быть смонтирована неправильно, то всегда найдется кто-нибудь, кто так и сделает.
6. Все герметические стыки протекают.
7. При любом расчете число, правильность которого для всех очевидна, становится источником ошибок.
8. Необходимость внесения в конструкцию принципиальных изменений возрастает непрерывно по мере приближения к завершению проекта.

Необходимость в разработке научно обоснованных методов технической диагностики и технических средств для реализации диагностических систем и комплексов подтверждают результаты исследований, по которым установлено, что специалист 25% времени тратит на определенные части изделия, где произошла неисправность, 62% – на определение неисправной детали и только 13% времени – на восстановление отказавшей детали.

Техническое диагностирование использует технические математические модели. Отличие диагностических моделей от обычных математических моделей, которые отражают номинальный режим функционирования объекта или системы управления состоит в том, что диагностическая модель описывает существенные свойства аварийных режимов, вызванных различными отказами. Объект или система при разработке диагностической модели рассматриваются по следующей схеме (рис. 25.):

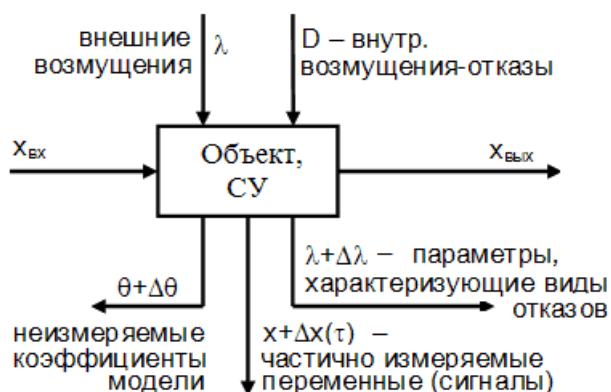


Рис. 25. Схема разработки диагностической модели объекта или системы управления.

Иерархия диагностических моделей (ДМ)



Рис. 26. Иерархия диагностических моделей.

Из схемы видно, что диагностические модели могут быть различной сложности: от простых описательных (текст) до математических моделей высокого уровня.

2.2 Классификация отказов

- а) по степени влияния: полные, частичные;
- б) по характеру проявления: окончательные, перемежающиеся;
- в) по степени связи: зависимые, независимые;
- г) по частоте проявления: однократные, многократные;
- д) по характеру возникновения: внезапные, постепенные;
- е) по математическим моделям: параметрические, сигнальные;
- ж) по видам проявления: обрывы, короткие замыкания, дрейф, переориентация, изменение эффективности.

Задачи диагностирования по следующей схеме (рис. 27.):



Рис. 27. Схема диагностирования по отказам.

Для диагностики моделей используется (см. классификацию) множество физических видов отказов – диагностических признаков.

в качестве **прямых** диагностических признаков соответствующего отказа используют $\Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_{iном}$ – отклонение диагностического параметра λ_i от номинального значения. Косвенные диагностические признаки оценивают через отклонение величины $X_{вых}$ – выходного сигнала объекта (системы).

Разработка диагностического обеспечения системы управления или объекта идет по следующей схеме (рис. 28.):



Рис. 28. Схема разработки диагностического обеспечения системы управления или объекта.

2.3. Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)

Пусть:

- а) задана система линейная с постоянными характеристиками на отдельном отрезке времени стационарная, работающая в номинальном режиме;
- б) задано множество контрольных точек;
- в) задано множество физических отказов с характеристикой отказов;
- г) задано множество тестовых и рабочих сигналов управления;
- д) задано время диагностирования ОУ (СУ).

Требуется:

Провести техническое диагностирование ОУ (СУ) в целях контроля технического состояния – обнаружение отказов, поиск места и определение причин отказа.

При вероятностных методах распознавания технического состояния системы вероятность постановки диагноза $D_i = P(D_i) = \frac{N_i}{N}$, где N_i – число состояний объекта из общего числа состояний N , у которых имел место диагноз D_i , а $P(k_j/D_i)$ – вероятность появления диагностического признака k_j у объекта с диагнозом D_i . Если среди N_i состояний объектов, имеющих диагноз D_i , у N_{ij} появился признак k_j , то

$$P(k_j/D_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}$$

Вероятность появления диагностического признака k_j во всех состояниях объекта N независимо от их диагноза с учетом того, что k_j появляется только в N_j состояниях объекта, равна:

$$P(k_j) = \frac{N_j}{N}.$$

Из изложенного выше вытекает, что вероятность совместного появления следующих событий: наличия у объекта диагноза D_i и диагностического признака k_j – равна:

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \cdot P(k_j/D_i) = P(k_j) \cdot P(D_i/k_j).$$

Отсюда:

$$P(D_i/k_j) = P(D_i) \cdot \frac{P(k_j/D_i)}{P(k_j)} \text{ – формула Байеса.}$$

Формула Байеса неточно отражает реальное положение при постановке диагноза D_i при наличии диагностического признака k_j . Дело в том, что в этой формуле априорно (без доказательства, заранее) принято, что все диагностические признаки имеют равную вероятность появления в реальных условиях работы системы, при этом не учитывается информационная ценность того или иного диагностического признака.

Информационная ценность диагностического признака определяется количеством информации, которое вносит данный диагностический признак в описание технического состояния объекта управления (ОУ) или системы управления (СУ).

Количество информации связано с энтропией (степенью неопределенности) состояния системы, чем выше определенность состояния системы (меньше энтропия), тем меньше информации мы получим, изучая (диагностируя) эту систему (о ней и так почти все известно).

Энтропия (степень неопределенности) системы по Шеннону (разработчик теории информации) находят по формуле:

$$H(A) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot \log \frac{1}{P(A_i)} = -\sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot \log P(A_i),$$

где $H(A)$ – энтропия системы A ; $P(A_i)$ – вероятность A_i состояния системы A .

Количество информации определяется как разность энтропии системы в 2-х различных состояниях:

$$J = H(A_1) - H(A_2),$$

где J – количество информации, $H(A_1)$ – энтропия 1-го состояния, $H(A_2)$ – энтропия 2-го состояния системы.

4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности параллельно последовательных структур технических систем	3	Работа в малых группах (1)
2	1.	Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности мостиковых структур технических систем	3	Работа в малых группах (1)
3	1.	Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности типовых структур технических систем	3	Работа в малых группах (1)
4	2.	Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности технических систем с комбинированной структурой	3	Работа в малых группах (1)
ИТОГО			12	4

4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Интерполяция в системе Matlab	6	Работа в малых группах (2)
2	2.	Определение динамических характеристик автоматического управления.	3	Работа в малых группах (1)
3	2.	Анализ и синтез автоматического управления	3	Работа в малых группах (1)
ИТОГО			12	4

4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Компетенции</i>		Σ <i>комп.</i>	$t_{ср}$, час	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ПК</i>					
		<i>1</i>	<i>2</i>				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Идентификация систем управления	54	+	+	2	27	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	ЗАЧЕТ
2. Техническая диагностика систем	54	+	+	2	27	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	ЗАЧЕТ
<i>всего часов</i>	108	54	54	2	54		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Глущенко, П. В. Техническая диагностика. Моделирование в диагностировании и прогнозировании состояния технических объектов : учебное пособие / П. В. Глущенко. - Москва : Вузовская книга, 2004. - 247 с
2. Лузгин, В. В. Методы идентификации и диагностики промышленных объектов : монография / В. В. Лузгин, А. Д. Ульянов. - Братск : БрГУ, 2017. - 146 с.
3. Алексеев, А. А. Идентификация и диагностика систем : учебник / А. А. Алексеев, Ю. А. Короблев, М. Ю. Шестопапов. - Москва : Академия, 2009. - 352 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
Основная литература				
1	Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).	Лк, ПЗ, ЛР, СРС	22	1
2	Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/64334 .	Лк, ПЗ, ЛР, СРС	ЭР	1
Дополнительная литература				
3	Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.	ПЗ, ЛР, СРС	65	1

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» <http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com>.
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru>.
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ) <https://uisrussia.msu.ru/>.

8. Национальная электронная библиотека НЭБ
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/>.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Даются рекомендации при подготовке к лабораторным и практическим работам.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/практическим работам

Лабораторная работа №1

Автоматизированный логико - вероятностный расчет надежности параллельно последовательных структур технических систем

Цель работы:

Изучить методику автоматизированного логико-вероятностного расчета надёжности для различных параллельно-последовательных структур. Определить результирующий вероятность безотказной работы и другие показатели безотказности по заданной структурной схеме.

Задание:

1. С помощью ПК подсчитать результирующие вбр для каждой выделенной элементарной ППС,
2. Построить эквивалентную структурную схему надежности на втором уровне и выделить снова элементарные ППС, для которых также подобрать соответствующие варианты; Если бы структурная схема расчета надежности ТС содержала большее количество элементов, то повторить пп.1 и 2 до тех пор, пока не останется один эквивалентный элемент, надежность которого соответствует надежности всей ТС;
3. Используя приведенные соотношения для показателей безотказности при постоянной интенсивности отказов, вычислить за определенное время $t = 100 \cdot N$, остальные показатели надежности: вероятность отказов; частоту отказов; интенсивность отказов и среднюю наработку на отказ.
4. Проанализировать уровень полученной результирующей надежности ТС и предложить возможные варианты ее повышения.

Порядок выполнения:

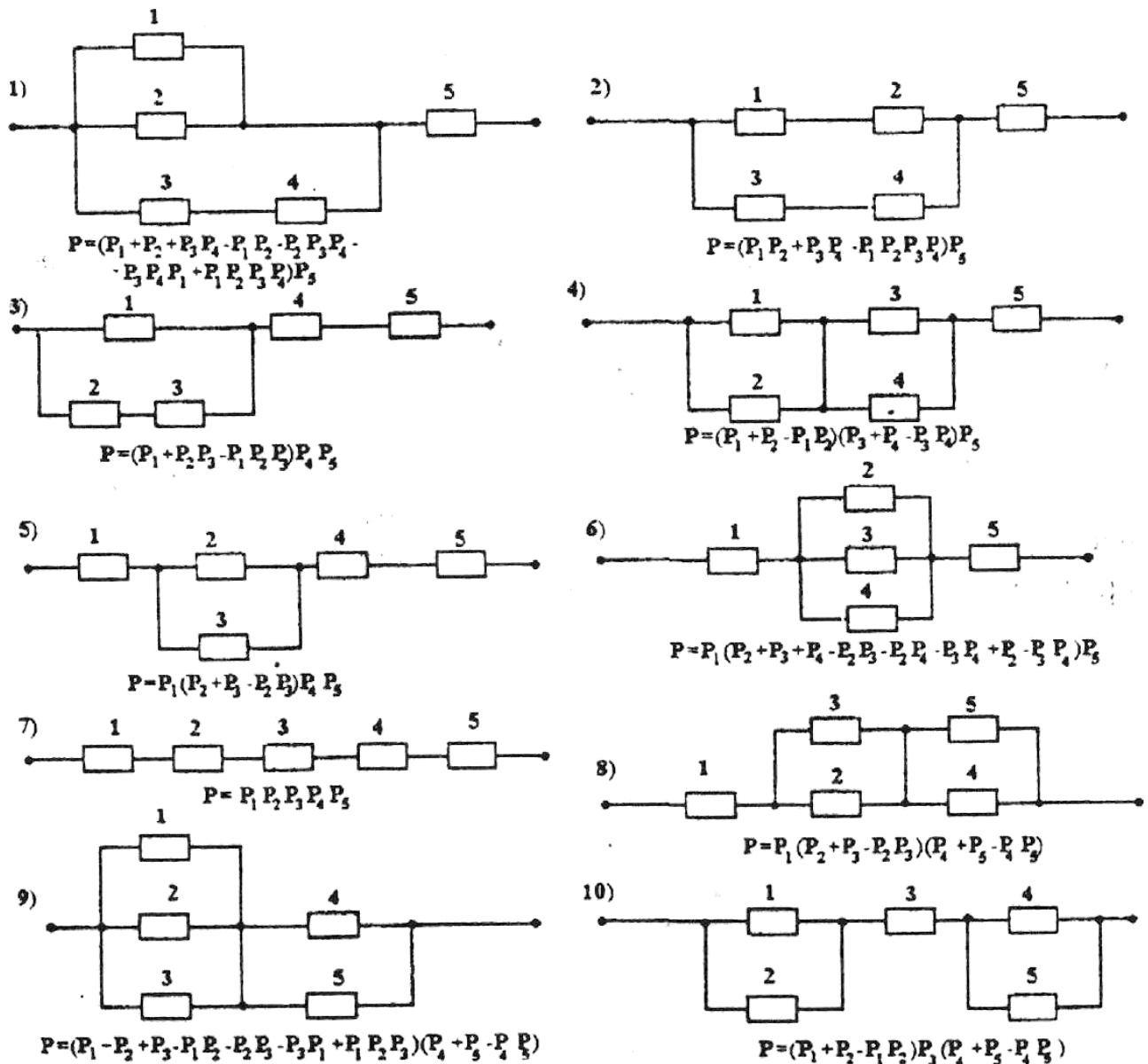
1. Зарисовать структурную схему надежности ТС в соответствии с рисунком, общую для всех вариантов, произвести разбивку на элементарные ППС, выделив их пунктирной линией, и пронумеровать;
2. Подобрать по рисунку соответствующие варианты для выделенных элементарных ППС;
3. Исходные данные для каждого варианта найти, используя следующие условные соотношения:

$$P_i (i = 1, 2, \dots, 20) = (0,60 + i/100) + 10^{-3} \cdot N;$$

$$\Delta P_i (i = 1, 2, \dots, 20) = 10^{-5} \cdot i \cdot N,$$

где N – номер варианта соответствующий двум последним цифрам номера зачетки;

i - номер элемента в структурной схеме надежности ТС.



Структурные схемы надежности элементарных ППС

Форма отчетности:

Отчет набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Цель работы
3. Задание
4. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
5. Вывод.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).

2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

- 1 Какие показатели надежности ТС Вам известны?
- 2 Содержание функциональных операторов, входящих в алгоритм ЛВР надежности ТС?
- 3 Понятие о надежности ТС и о ППС. Что понимается под элементарной ППС?
- 4 Расскажите о постановке задачи автоматизированного ЛВР надежности ППС.
- 5 Выведите выражение для определения результирующей вбр элементарной ППС i -го варианта.
- 6 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности ППС.
- 7 Поясните схему алгоритма программы NADP.
- 8 Как проверить правильность работы программы?

Лабораторная работа №2

Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности мостиковых структур технических систем

Цель работы:

Изучить методику автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур. Определить результирующие показатели надежности по заданной структурной схеме с мостиковыми структурами.

Задание:

Дана или самостоятельно составлена структурная схема надежности сложной ТС. Структурная схема надежности соответственно состоит из большого количества элементов с известными исходными значениями вбр и набора элементарных мостиковых структур.

Требуется формализовать с использованием ЭВМ нахождение результирующей структурной надежности такой ТС, т.е. обеспечить ее нахождение в автоматизированном режиме. Соответственно такой ЛВР надежности назовём автоматизированным и для его реализации необходимо составить алгоритм и программу.

Порядок выполнения:

- 1 Разбить заданную структурную схему ТС на ряд элементарных мостиковых структур и их пронумеровать.
- 2 Последовательно подобрать для каждой выделенной элементарной мостиковой структуры целесообразный метод ЛВР надежности.
- 3 Ввести в ЭВМ известные вбр всех пяти элементов P_i для каждой элементарной мостиковой структуры, а также соответствующий шаг изменения вбр этих элементов ΔP_i . Кроме того, последовательно вводить в ЭВМ номер варианта, соответствующий выбранному методу ЛВР надежности.
- 4 Считывать с дисплея ЭВМ значения результирующей вбр для каждой элементарной мостиковой структуры, например, минимальные, средние и максимальные значения.
- 5 Составить эквивалентную структурную схему расчета надежности.

Форма отчетности:

Отчет набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Цель работы
3. Задание
4. Поэтапное выполнение всех заданий варианта

5. Вывод.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

- 1 Назовите количественные показатели безотказности ТС.
- 2 Понятие о надежности ТС и о элементарной мостиковой структуре.
- 3 Сущность метода разложения по базовому элементу.
- 4 Понятие о методе преобразования узлов сложной конфигурации.
- 5 Расскажите о ЛВР надежности мостиковых структур преобразованием: а) треугольника элементов в звезду; б) звезды элементов в треугольник.
- 6 Постановка задачи автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур.
- 7 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности мостиковых структур.
- 8 Поясните схему программы NADM.
- 9 Как оценить правильность работы программы?

Лабораторная работа №3

Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности типовых структур технических систем.

Цель работы:

Изучить методику автоматизированного ЛВР надежности типовых структур. Определить результирующие показатели надежности по заданной структурной схеме, содержащей разнообразные типовые структуры.

Задание:

Дана или самостоятельно составлена структурная схема надежности, состоящая из большого количества элементов надежности с известными исходными значениями вор. Группировка элементов расчета надежности структурной схемы приводит к различным типовым структурам.

Требуется формализовать с использованием ЭВМ нахождение результирующей надежности ТС, т.е. обеспечить ее нахождение в автоматизированном режиме. Такой ЛВР надежности типовых структур назовем автоматизированным и для его реализации составим алгоритм и программу.

Порядок выполнения:

- 1 Разбить заданную структурную схему на ряд типовых структур, их выделить и

пронумеровать.

2 Последовательно подобрать для каждой выделенной типовой структуры номер варианта.

3 Ввести в ЭВМ исходные значения вбр P_i пяти или шести элементов для каждой типовой структуры, а также соответствующий шаг изменения вбр ΔP_i этих элементов. Затем ввести в ЭВМ и номер варианта, соответствующий типу очередной выделенной типовой структуры.

4 Считывать с дисплея ЭВМ значения результирующей вбр для каждой типовой структуры, например, минимальные, средние и максимальные значения.

5 Составить эквивалентную структурную схему надежности, исходные значения вбр элементов в которой взять согласно п. 3.4.4 данного алгоритма.

6 Проанализировать полученный результат в случае, если остался один эквивалентный элемент, или повторять пп. 3.4.1 - 3.4.5 до тех пор, пока не будет найдена искомая результирующая надежность всей схемы.

Форма отчетности:

Отчет набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Цель работы
3. Задание
4. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
5. Вывод.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

- 1 Назовите типовые структуры.
- 2 Выведите выражение для определения результирующей вбр i -го варианта.
- 3 Расскажите о постановке задачи автоматизированного ЛВР надежности типовых структур.
- 4 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности типовых структур.
- 5 Поясните схему программы NADT. Как оценить правильность ее работы?
- 6 Перечислите возможные способы повышения надежности заданной структуры.
- 7 Назовите показатели безотказности систем.

Лабораторная работа №4

Автоматизированный логико-вероятностный расчет надежности технических систем с комбинированной структурой.

Цель работы:

Изучить методику автоматизированного логико-вероятностного расчета надежности систем управления с комбинированной структурой. Научиться составлять структурные схемы расчета надежности, определять результирующие показатели безотказности и анализировать их изменения.

Задание:

По функциональной схеме автоматизации составляется структурная схема расчета надежности исследуемой системы, состоящая, как правило, из большого количества элементов расчета надежности с известными значениями вбр. Необходимо получить результирующие показатели безотказности в автоматизированном режиме.

Порядок выполнения:

1 Разбить общую структуру системы на элементарные структуры, состоящие из 5-6 элементов с учетом реальных инженерных соображений;

2 Распознать тип каждой выделенной элементарной структуры из числа параллельно - последовательных, мостиковых или типовых структур;

3 Свернуть каждую элементарную структуру с получением результирующей вбр;

4 Составить новую эквивалентную структурную схему, в качестве элементов которой выступают выделенные ранее элементарные структуры;

5 Затем по аналогии все повторить на следующем уровне и так сворачивать до тех пор, пока не будет найдена результирующая вероятность безотказной работы всей системы управления.

Форма отчетности:

Отчет набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта
2. Цель работы
3. Задание
4. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
5. Вывод.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

- 1 Содержание алгоритма автоматизированного ЛВР надежности ТС.
- 2 Понятие о надежности ТС и методах ее повышения.
- 3 Как составляют структурную схему расчета надежности?
- 4 Поясните схему диалогового взаимодействия с ЭВМ в процессе автоматизированного ЛВР

надежности ТС.

5 Поясните схему программы NADSU

6 Как оценить правильность работы программы?

Практическое занятие №1 **Интерполяция в системе Matlab**

Цель работы:

Получить аналитическое выражение функциональной зависимости от аргумента, заданного аналитически или графиком.

Задание:

1. Познакомиться с основными методами интерполяции в среде MatLab

Порядок выполнения:

Из приложений выбрать табличные значения или получить из графиков и решить задачу интерполяции одним из методов. Получить результат и составить отчет.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Вывод.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в первом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое интерполяция?
2. Какое применение может иметь интерполяция в АСУТП?
3. Из каких действий состоит компьютерная технология интерполяции?
4. Когда можно применять полиномиальную интерполяцию?

Практическое занятие №2

Определение динамических характеристик автоматического управления.

Цель работы:

Определить динамические характеристики объекта управления.

Задание:

Динамические характеристики снимались по каналу давления на линии, которое регулировалось путём изменения хода регулирующего органа.

Измерения производили путём перемещения РО в процентном соотношении.

Порядок выполнения:

1. Отображение анализируемых данных в графическом виде.
2. Построение кривой для рассматриваемой зависимости.
3. Анализ полученной кривой для рассматриваемой зависимости.
4. Выводы о проделанной работе.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что такое динамические характеристики объекта управления?
2. Как определяется правильность получения динамических характеристик?

Практическое занятие №3

Анализ и синтез автоматического управления.

Цель работы:

Изучения условий эксплуатации уже построенных систем автоматического управления, так как только на основании такого изучения можно правильно сформулировать количественные оценки, которые могут быть использованы в практике проектирования и расчета новых систем.

Задание:

В качестве объекта исследования выступают линейные (линеаризованные) динамические стационарные системы управления с одним входом и одним выходом. При этом модель одномерной САУ задана в виде комплексной передаточной функции, записанной как отношение полиномов

Порядок выполнения:

1. Получить передаточную функцию разомкнутой системы.
2. Получить передаточную функцию замкнутой системы.
3. Определить полюса и нули передаточных функций.
4. Построить графики переходной функции.
5. Построить логарифмические частотные характеристики.
6. Построить частотный годограф Найквиста.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Цель работы
2. Задание
3. Поэтапное выполнение всех заданий варианта
4. Заключение.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Гологорский, Е. Г. Эксплуатация и ремонт оборудования предприятий стройиндустрии : учебник / Е. Г. Гологорский, А. И. Доценко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : БАСТЕТ, 2016. - 504 с. - (Высшее профессиональное образование: бакалавриат, специалитет).
2. Малкин, В.С. Техническая диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.С. Малкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 272 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/64334>.

Дополнительная литература

1. Диагностирование гидроцилиндров подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин по параметрам несущей способности : методические указания / Д. Ю. Кобзов [и др.]. - Братск : БрГУ, 2009. - 24 с.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Получить передаточную функцию разомкнутой системы
2. Получить передаточную функцию замкнутой системы.
3. Определить полюса и нули передаточных функций.
4. Построить графики переходных функций.
5. Построить логарифмические частотные характеристики.
6. Построить частотный годограф Найквиста для функций.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

- получения информации при подготовке к занятиям,
- создания презентационного сопровождения лекций;
- интерактивного общения;
- ОС Windows 7 Professional;
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level ;
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
1	2	3	4
ЛЗ	Лекционный кабинет/дисплейный класс	-	-
ЛР	Лекционный кабинет/дисплейный класс	Персональные компьютеры	ЛР 1-10
ПЗ	Лекционный кабинет/дисплейный класс	Персональные компьютеры	ПЗ 1-3
СР	ЧЗЗ	-	-

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-1	Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных	1. Идентификация систем управления	1.1. Аналитический метод идентификации	Вопрос к зачету.
			1.3. Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике	Вопрос к зачету
			1.5. Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа	Вопрос к зачету
		2. Техническая диагностика систем	2.1. Иерархия диагностических моделей	Вопрос к зачету.
			2.3. Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	Вопрос к зачету.
ПК-2	Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления	1. Идентификация систем управления	1.2. Метод Симаю	Вопрос к зачету.
			1.4. Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	Вопрос к зачету.
			1.6. Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа.	Вопрос к зачету.
		2. Техническая диагностика систем	2.2. Классификация отказов	Вопрос к зачету.

2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		Вопросы к зачету	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ПК-1	Способность выполнять эксперименты на действующих	1. Аналитический метод идентификации 2. Идентификация динамического объекта управления по импульсной	1. Идентификация систем управления

		объектах по заданным методикам обрабатывать результаты применением современных информационных	по и с	характеристике 3. Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа 1. Иерархия диагностических моделей 2. Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	2. Техническая диагностика систем
2	ПК-2	Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления		1. Метод Симаю	1. Идентификация систем управления
				2. Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	
				3. Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа	
				1. Классификация отказов	2. Техническая диагностика систем

4. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ПК-1): - Основные принципы и методы построения и исследования математических моделей систем управления и преобразования для целей управлений; (ПК-2): - Базовое устройство персонального компьютера.</p> <p>Уметь (ПК-1): - Использовать инструментальные программные средства в процессе разработки и эксплуатации технических систем; (ПК-2): - Использовать персональный компьютер для самостоятельной работы.</p> <p>Владеть (ПК-1): - Навыками работы с современными аппаратными и программными средствами исследования и проектирования систем управления; (ПК-2):</p>	зачтено	Во время ответа на зачете студент продемонстрировал уверенное знание материала и ответил на вопросы преподавателя.

– Достаточным уровнем использования универсальных пакетов прикладных компьютерных программ	не зачтено	На поставленные вопросы студент не ответил. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.
--	-------------------	--

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Идентификация и диагностика технических систем направлена на ознакомление с различными методами идентификации и диагностики, и их практическим применением в современных технических системах; на получение теоретических знаний и практических навыков использования различных систем диагностирования, и их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины системы управления базами данных предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические занятия,
- самостоятельную работу студента,
- зачет,

В ходе освоения раздела 1 «Идентификация систем управления» студенты должны изучить: аналитический метод идентификации, метод Симео, идентификацию динамического объекта управления по импульсной характеристике, идентификацию динамического объекта управления частотным методом, идентификацию объекта управления методом регрессионного анализа, идентификацию объектов управления методом корреляционного анализа.

В ходе освоения раздела 2 «Техническая диагностика систем» студенты должны изучить: иерархию диагностических моделей, классификацию отказов, математическую постановку задачи технического диагностирования объекта (системы управления).

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления о работе с системами идентификации и диагностирования.

В процессе проведения практических работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков проектирования различных систем идентификации и диагностирования.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам: идентификация объекта управления методом регрессионного анализа, классификацию отказов.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Идентификация и диагностика технических систем

1. Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является: приобретение студентами представлений, знаний, навыков и умений при решении инженерных и прикладных задач идентификации и диагностики технических систем.

Задачей изучения дисциплины является: формирование представлений и знаний студентов при изучении теоретической части дисциплины, в частности, осмысленное понимание связи между физической интерпретацией и математическими моделями изучаемых процессов.

Проведение системного синтеза и анализа проблемных ситуаций при формировании моделей и проверке их адекватности на лекционных, практических и лабораторных занятиях.

Прививание студентами навыков и умений по формированию моделей реальных систем (процессов, явлений), их идентификации и диагностики на практических и лабораторных занятиях.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 24 часов, ЛР – 12 часов, ПЗ – 12 часов, СРС – 60 часов. Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Идентификация систем управления
2. Техническая диагностика систем

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующей компетенции:

ПК-1 - Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных

ПК-2 - Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления

4. Вид промежуточной аттестации: зачет

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20__-20__ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры № _____ от «___» _____ 20__ г.,
(разработчик)

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-1	Способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных	1. Идентификация систем управления	1.3. Идентификация динамического объекта управления по импульсной характеристике	Отчеты по лабораторным работам
			1.5. Идентификация объекта управления методом регрессионного анализа	Отчеты по практическим занятиям.
		2. Техническая диагностика систем	2.1. Иерархия диагностических моделей	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям.
			2.3. Математическая постановка задачи технического диагностирования объекта (системы управления)	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям.
ПК-2	Способность проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления	1. Идентификация систем управления	1.2. Метод Симаю	Отчеты по лабораторным работам,
			1.4. Идентификация динамического объекта управления частотным методом.	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям.
			1.6. Идентификация объектов управления методом корреляционного анализа.	Отчеты по практическим занятиям.
		2. Техническая диагностика систем	2.2. Классификация отказов	Отчеты по лабораторным работам, практическим занятиям.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать (ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Основные принципы и методы построения и исследования математических моделей систем управления и преобразования для целей управлений; <p>(ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Базовое устройство персонального компьютера. <p>Уметь (ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Использовать инструментальные программные средства в процессе разработки и эксплуатации технических систем; <p>(ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Использовать персональный компьютер для самостоятельной работы. 	зачтено	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент ответил на поставленные преподавателем вопросы.</p>
<p>Владеть (ПК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Навыками работы с современными аппаратными и программными средствами исследования и проектирования систем управления; <p>(ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Достаточным уровнем использования универсальных пакетов прикладных компьютерных программ 	не зачтено	<p>Во время защиты лабораторных работ и практических работ студент не смог дать ответы на поставленные преподавателем вопросы. Либо отчет имеет ряд замечаний.</p>