Федеральное агентство по образованию

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОУВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой АПП и Э

______________А.Н. Рыбалев

«____»__________2007 г.

Современные системы управления

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

для специальности

220301– Автоматизация технологических процессов и производств

(по отраслям)

Составитель: А.Н. Рыбалев, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники АмГУ

Благовещенск

2007 г.

Учебно-методический комплекс дисциплины включает в себя следующие документы:

1. ***Рабочая программа дисциплины***
2. ***План-конспект лекций***
3. ***Лабораторный практикум***
4. ***Вопросы для тестирования***
5. ***Дополнительные материалы:***

5.1. Методические рекомендации к проведению лабораторных занятий

5.2. Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы

5.3. Перечень программных продуктов, используемых при изучении дисциплины

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации
Амурский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_______________ Е.С. Астапова
личная подпись, И.О.Ф

«__» _______________ 200__г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Современные системы управления»

для специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств», специализации «Автоматизация технологических процессов тепловых электрических станций»

Курс 4 Семестр 7

Лекции 32 (час.)

Лабораторные занятия 16 (час.) Зачет 7 (семестр)

Самостоятельная работа 52 (час.)

Всего часов 100

Составитель А.Н. Рыбалев, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники
(И.О.Ф., должность, ученое звание)

Факультет Энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

2005 г.

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта ВПО 657900 «Автоматизированные технологии и производства» и учебного плана специальности 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств»: блок общепрофессиональных дисциплин, дисциплины по выбору студентов ОПД.В 01 «Современные системы управления»

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники

«__» ______________200___ г., протокол № _______________

Заведующий кафедрой _____________________ А.Н. Рыбалев

Рабочая программа одобрена на заседании УМС 22.03.01 «Автоматизация технологических процессов и производств»

«__» ______________200___ г., протокол № _____

Председатель_____________________________ А.Н. Рыбалев

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМУ
_________________ Г.Н. Торопчина
(подпись, И.О.Ф.)

«__» ______________200___ г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель УМС факультета
_____________ Ю.В. Мясоедов
(подпись, И.О.Ф.)

«__» ______________200___ г.

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой
____________________ А.Н. Рыбалев
(подпись, И.О.Ф.)

«__» ______________200___ г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Основная цель дисциплины «Современные системы управления» – освоение современных методов управления сложными объектами и системами. В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

– теорию модального управления, методы расчета модальных регуляторов и наблюдающих устройств;

– основы адаптивного управления, принципы построения адаптивных самонастраивающихся систем, методы синтеза и моделирования адаптивных систем с эталонной и настраиваемой моделями, параметрической и сигнальной настройками;

– основы теории нечеткого управления: нечеткие множества, отношения и выводы, нечеткие алгоритмы и системы управления.

Изучение дисциплины основывается на учебном материале, излагаемом в курсах: «Математика» (разделы: линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисления, операционное исчисление), «Математические основы управления» (раздел: описание линейных систем автоматического управления), «Теория автоматического управления» (разделы: анализ и синтез нелинейных систем).

Знания и умения, приобретенные студентами при изучении дисциплины, используются в специальных курсах: «Автоматизация технологических процессов и производств», «Проектирование систем автоматизации», «Интегрированные системы проектирования и управления», при курсовом (по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств») и дипломном проектировании и в практической деятельности выпускника.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ

1.1. Введение. Общая характеристика современных методов построения систем управления – 2 час.

1.2. Модальное управление – 4 час.

Описание объектов и систем в пространстве состояний. Математические модели и структурные схемы линейных систем. Модальное управление при полностью измеряемом векторе состояния. Управление отдельными модами. Модальное управление при неполных измерениях. Стационарные наблюдатели.

1.3. Адаптивные системы управления – 10 час.

Определение и классификация адаптивных систем. Поисковые адаптивные системы. Методы организации поиска. Экстремальные системы. Беспоисковые адаптивные системы. Адаптивные системы с эталонной моделью. Условия согласованности объекта и модели. Методы синтеза алгоритмов адаптации. Синтез алгоритмов адаптации с помощью прямого метода Ляпунова. Адаптивные системы с сигнальной и сигнально-параметрической адаптацией. Адаптивные системы с неявной эталонной моделью. Адаптивные системы с настраиваемой моделью.

1.4. Системы фази-управления – 8 час.

Нечеткая информация и выводы. Нечеткие множества. Функции принадлежности. Операции над нечеткими множествами. Нечеткие выводы: алгоритмы Мамдани и Сугэно. Методы дефазификаци. Структура системы и алгоритм фази-управления. Аппаратная реализация нечеткого контроллера. Примеры реализации фази-управления в технической сфере. Нечеткие ПИД-регуляторы. Нечеткая динамическая коррекция ПИД-регуляторов. Пакеты прикладных программ нечеткой логики. Пакет Fuzzy Logic Toolbox.

1.5. Нейронные сети – 8 час.

Нейрокомпьютеры и сферы применения нейросетевых технологий. Биологический нейрон. Структура и свойства искусственного нейрона. Функции активации. Классификация нейронных сетей и их свойства.

Топология нейронных сетей. Обучение нейронных сетей. Алгоритм обратного распространения. Генетический алгоритм. Применение нейросетей: классификация, кластеризация и поиск зависимостей, прогнозирование. Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга. Вероятностная сеть. Гибридные сети. Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox для построения и исследования нейронных сетей.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лабораторные работы выполняются с использованием пособия:

Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум. Учебное пособие/ Благовещенск, Амурский гос. ун-т, 2002. – 40 с.

В нем содержатся краткие теоретические сведения по темам работ и задания. В качестве исходных данных выступают передаточные функции третьего порядка объектов управления, заданные преподавателем индивидуально для каждого студента.

Темы лабораторных работ:

2.1. Моделирование линейной системы в пространстве состояний. Преобразование моделей. – 2 часа.

2.2. Определение управляемости и наблюдаемости объекта управления. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта. – 2 часа.

2.3. Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем. – 4 часа.

2.4. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора. – 4 часа.

2.5. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой регулятора. – 4 часа.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА (52 часа)

Самостоятельная работа студентов по дисциплине предусматривает:

– подготовку к лабораторным работам и составление отчетов по ним – 32 часа.

– самостоятельное изучение ряда теоретических и практических вопросов (20 час.):

3.1 Поисковые адаптивные системы – 2 час.

3.2 Системы экстремального регулирования – 2 час.

3.3 Пакет прикладных программ Control Toolbox – 2 час.

3.4 Система имитационного моделирования Simulink – 4 час.

3.5 Операции над нечеткими отношениями – 2 час.

3.6 Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox. – 4 час.

3.7 Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox – 4 час.

Формы контроля самостоятельной работы: зачет, тестирование (контрольные точки).

4. ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ФОРМ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Промежуточный контроль знаний студентов по дисциплине предусматривает две контрольные точки в 7 семестре, оценки по которым выставляются на основе информации о выполнении лабораторных работ, а также на основе тестирования теоретических знаний, полученных за прошедший период обучения. Предусмотрено тестирование по темам:

1. Модальное и адаптивное управление.
2. Нечеткое управление

5. ЗАЧЕТ

Вопросы к зачету:

1. Векторно-матричное описание объектов в пространстве состояний.
2. Методы получения уравнений состояний линейных систем по скалярной модели «вход–выход».
3. Модальное управление: управление всеми модами
4. Модальное управление при неполных измерениях. Стационарные наблюдатели.

5. Определение и классификация адаптивных систем.
6. Методы организации поиска в поисковых адаптивных системах.
7. Экстремальные системы.
8. Структура адаптивные системы с явной эталонной моделью.
9. Условия согласованности объекта и модели.
10. Синтез алгоритмов адаптации в системе с явной эталонной моделью.
11. Структура адаптивных систем с сигнальной адаптацией.
12. Структура адаптивной системы с неявной эталонной моделью.
13. Синтез алгоритмов адаптации в системе с неявной эталонной моделью.
14. Структура адаптивных системы с настраиваемой моделью.
15. Определение нечеткого множества. Функции принадлежности.
16. Операции над нечеткими множествами. Основные правила.
17. Нечеткие выводы: алгоритмы Мамдани и Сугэно.
18. Методы дефазификаци.
19. Структура системы и алгоритм фази-управления.
20. Принципы построения нечеткого контроллера.
21. Нечеткие ПИД-регуляторы.
22. Назначение и основные функции пакета Fuzzy Logic Toolbox.
23. Общая характеристика нейросетевых технологий.
24. Структура и свойства искусственного нейрона. Функции активации.
25. Классификация нейронных сетей и их свойства.
26. Алгоритмы обучения нейронных сетей. Общая характеристика.
27. Алгоритм обратного распространения.
28. Генетический алгоритм.
29. Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга.
30. Гибридные сети.
31. Назначение и основные функции пакета Neural Network Toolbox.

Для получения зачета необходимым и достаточным является выполнение студентом следующих требований:

– выполнены, сданы, проверены и защищены все лабораторные работы. Защита работы предполагает опрос студента по теме работы и ее результатам;

– даны ответы на 2 вопроса по теоретическому курсу (см. вопросы к зачету). Для подготовки ответа студенту отводится 30 мин. Ответы должны содержать основные понятия и определения по темам и демонстрировать понимание материала. В случае необходимости преподаватель вправе задавать дополнительные вопросы.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЯЗАТЕЛЬНОЙ (ОСНОВНОЙ) ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления/ Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 748 с., ил.

1.2 Ричард Дорф. Современные системы управления/Р. Дорф, Р. Бишоп: Пер. с англ. Б.И. Копылова – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002 – 832 с.

1.3 В.А. Лукас. Теория управления техническими системами: Компактный учеб. курс – 3-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд–во Уральского горно-геологической академии, 2002. – 320 с.

1.4 Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.: ил.

1.5 Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум. Учебное пособие/ Благовещенск, Амурский гос. ун-т, 2002. – 40 с.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

2.1 Е.Л. Еремин. Лабораторно-курсовой практикум по ТОАУ с применением MATLAB for Windows: Учеб. пособие. Рек. Дальневосточным рег. УМО/ Е.Л. Еремин – Благовещенск: АмГУ, 2001 – 143 с. – для

углубленного изучения вопросов синтеза адаптивных систем.

2.2. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие / М.И. Дли, Р.Ю. Голунов – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001. – 224 с. – для углубленного изучения вопросов анализа и синтеза систем на основе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

2.3. Борцов Ю.А. и др. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А. Борцов, Н.Д. Поляхов, В.В. Путов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1984. – 216 с. – для знакомства с применением адаптивного подхода при управлении электроприводами.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер недели	Номер темы	Вопросы, изучаемые на лекции	Занятия (номера)		Используемые наглядные и методические пособия	Самостоятельная работа студентов		Формы контроля
			практич. (семин.)	лаборат.		содержание	час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	Введение. Общая характеристика современных методов построения систем управления				1) Подготовка к лабораторной работе	2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
2	2	Описание объектов и систем в пространстве состояний. Математические модели и структурные схемы линейных систем. Модальное управление при полностью измеряемом векторе состояния.		1. Моделирование линейной системы в пространстве состояний. Преобразование моделей.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка отчета по лабораторной работе 2) Система имитационного моделирования Simulink	2 2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
3	2	Управление отдельными модами. Модальное управление при неполных измерениях. Стационарные наблюдатели.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Система имитационного моделирования Simulink	2 2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
4	3	Определение и классификация адаптивных систем.		2. Определение управляемости и наблюдаемости объекта управления. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка отчета по лабораторной работе	2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	3	Поисковые адаптивные системы. Методы организации поиска. Экстремальные системы.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Поисковые адаптивные системы	2 2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
6	3	Беспоисковые адаптивные системы. Адаптивные системы с эталонной моделью. Условия согласованности объекта и модели.		3. Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка к лабораторной работе 2) Системы экстремального регулирования	2 2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
7	3	Методы синтеза алгоритмов адаптации. Синтез алгоритмов адаптации с помощью прямого метода Ляпунова.				1) Подготовка к лабораторной работе	2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
8	3	Адаптивные системы с сигнальной и сигнально-параметрической адаптацией. Адаптивные системы с неявной эталонной моделью. Адаптивные системы с настраиваемой моделью.		3. Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка отчета по лабораторной работе	2	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ зачет
9	4	Системы фази-управления Нечеткая информация и выводы. Нечеткие множества. Функции принадлежности. Операции над нечеткими множествами.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Операции над нечеткими отношениями	2 2	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ зачет
10	4	Нечеткие выводы: алгоритмы Мамдани и Сугэно. Методы дефазификаци. Структура системы и алгоритм фази-управления.		4. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка к лабораторной работе 2) Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox	2 2	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ зачет

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	4	Аппаратная реализация нечеткого контроллера. Примеры реализации фази-управления в технической сфере.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox	2 2	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ зачет
12	4	Нечеткие ПИД-регуляторы. Нечеткая динамическая коррекция ПИД-регуляторов. Пакеты прикладных программ нечеткой логики. Пакет Fuzzy Logic Toolbox.		4. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка отчета по лабораторной работе	2	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ зачет
13	5	Нейрокомпьютеры и сферы применения нейросетевых технологий. Биологический нейрон. Структура и свойства искусственного нейрона. Функции активации. Классификация нейронных сетей и их свойства.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Перспептроны и их обучение	2 2	Проверка лабораторных работ зачет
14	5	Топология нейронных сетей. Обучение нейронных сетей. Алгоритм обратного распространения. Генетический алгоритм.		5. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой регулятора.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка к лабораторной работе 2) Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox	2 2	Проверка лабораторных работ зачет
15	5	Применение нейросетей: классификация, кластеризация и поиск зависимостей, прогнозирование. Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга.				1) Подготовка к лабораторной работе 2) Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox	2 2	Проверка лабораторных работ зачет

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	5	Вероятностная сеть. Гибридные сети. Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox для построения и исследования нейронных сетей		5. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой регулятора.	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	1) Подготовка отчета по лабораторной работе	2	Проверка лабораторных работ зачет

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ПЛАН-КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Учебное пособие

Благовещенск

2007

Содержание

Введение. Общая характеристика современных методов построения систем управления

Предпосылки применения современных подходов к построению систем управления: увеличение возможностей управляющей аппаратуры; трудность или невозможность построения адекватной модели объектов управления; нелинейность и нестационарность объектов управления, линеаризация нелинейного математического описания в различных режимах работы объекта; мощность и непредсказуемость возмущений.

Общая характеристика модального управления.

Общая характеристика адаптивных систем.

Общая характеристика систем нечеткого управления.

Общая характеристика нейронных сетей.

1. Модальное управление

1.1. Описание объектов и систем в пространстве состояний. Математические модели и структурные схемы линейных систем. Представление линейных объектов и систем в пространстве состояний в каноническом базисе.

1.2. Модальное управление при полностью измеряемом векторе состояния объекта. Пример модальной системы в каноническом представлении. Определение коэффициентов модального регулятора в каноническом базисе.

1.3. Определение коэффициентов модального регулятора в реальном базисе. Матрица преобразования из реального базиса в канонический. Условие возможности преобразования (управляемость объекта, матрица управляемости, критерий управляемости Калмана). Пересчет коэффициентов модального регулятора для реального базиса.

1.4. Управление отдельными модами. Модальная каноническая форма уравнений в пространстве состояний.

1.5. Модальное управление при неполных измерениях. Стационарные наблюдатели. Уравнение состояния стационарного наблюдателя полного порядка.

Условие устойчивости процесса восстановления координат. Структура системы модального управления со стационарным наблюдателем. Характеристический полином модальной системы с наблюдателем.

2. Адаптивные системы управления

2.1. Определение и классификация адаптивных систем. Поисковые адаптивные системы. Методы организации поиска (покоординатного спуска, градиентные методы, симплекс-метод). Экстремальные системы (определение, пример).

2.2. Беспоисковые адаптивные системы. Адаптивные системы с эталонной моделью. Условия согласованности объекта и модели. Методы синтеза алгоритмов адаптации.

2.3. Синтез адаптивной системы с явной эталонной моделью и параметрической настройкой при полностью измеряемом векторе состояний объекта с помощью прямого метода Ляпунова.

2.4. Синтез адаптивно-модальной системы с явной эталонной моделью и сигнальной настройкой при полностью измеряемом векторе состояний объекта с помощью прямого метода Ляпунова.

2.5. Синтез адаптивной системы с явной эталонной моделью и параметрической настройкой при полностью измеряемом векторе состояний объекта на основе критерия гиперустойчивости Попова.

2.6. Адаптивные системы с сигнально-параметрической адаптацией. Адаптивные системы с неявной эталонной моделью. Адаптивные системы с настраиваемой моделью.

3. Системы фази-управления.

3.1. Нечеткая информация и выводы.

Нечеткие множества. Определение, примеры. Функции принадлежности.

Свойства и характеристики нечетких множеств: содержание множества в множестве, носитель нечеткого множества, линейное и евклидовое расстояние между множителями, четкое множество, ближайшее к нечеткому, линейный и квадратичный индексы нечеткости. Операции над нечеткими множествами: пересечения, объединения, дополнения, концентрации и размывания, разность множеств, декартово произведение множеств.

Нечеткие отношения. Пример нечеткого отношения. Операции над нечеткими отношениями: объединение, пересечение, дополнение, четкое отношение, ближайшее к нечеткому, композиция (свертка) двух нечетких отношений. Пример композиции.

3.2. Нечеткие выводы. Силлогизм как основа четких выводов. Структура силлогизма. Нечеткий силлогизм: пример. Реализация нечеткого силлогизма на базе max-min и max-prod композиций.

Нечеткое управление. Структура одноконтурной системы фази-управления. Реализация нечеткого алгоритма: фазификация, логический вывод, композиция, дефазификация. Методы дефазификации. Пример одноконтурной системы фази-управления.

3.3. Фази-алгоритмы для систем с несколькими входами. Задание системы с двумя входами двумя правилами. Алгоритм Мамдани: определение степени истинности предпосылок, определение уровней «отсечения», композиция, дефазификация. Алгоритм Сугэно нулевого порядка: набор правил, определение степени истинности предпосылок, вычисление значения выходной величины. Алгоритм Сугэно первого порядка: вычисление значения выходной величины. Пример нечеткого регулятора уровня жидкости в баке.

3.4. Аппаратная реализация нечеткого контроллера. Аппаратный микропроцессор нечеткой логики: структура. Эмуляция нечеткой логики на «обычном» микроконтроллере. Интеграция фази-команд в ассемблеры. Примеры реализации фази-управления в технической сфере: автономный мобильный робот, управление топливной задвижкой и вентилятором котлоагрегата. Управление подъемно-транспортным механизмом.

Нечеткий ПИД-регулятор как нечеткий регулятор с тремя входами. Нечеткая динамическая коррекция ПИД-регуляторов.

3.5. Пакеты прикладных программ нечеткой логики: пакеты Fuzi Calc, Cubi Calc, FazzyTech. Пакет Fuzzy Logic Toolbox: режимы работы, состав, основные функции.

4. Нейронные сети

4.1. Нейрокомпьютеры и сферы применения нейросетевых технологий. Биологический нейрон: строение. Структура и свойства искусственного нейрона. Функции активации: пороговая, сигнатурная, сигмоидальная, линейная с насыщением. Определение нейронной сети. Классификация нейронных сетей: полносвязные, слабосвязные и многослойные, сети без обратных связей и с обратными связями, гомогенные и гетерогенные сети, бинарные и аналоговые, асинхронные и синхронные.

4.2. Обучение нейронных сетей. Постановка задачи обучения нейронной сети. Задача обучения нейронной сети как задача многомерной оптимизации. Использование методов многомерной оптимизации при обучении нейронной сети: методы локальной оптимизации: координатного и наискорейшего спусков, методы глобальной оптимизации: случайный поиск. Алгоритм обратного распространения: вывод рекурсивной формулы для коррекции весов слоя.

4.3. Использование генетического алгоритма при обучении нейронной сети. Общая схема генетического алгоритма. Способы создания начальной популяции. Классификация генетических операторов. Селекция решений. Способы отбора решений в популяцию.

4.4. Применение нейросетей: классификация, кластеризация и поиск зависимостей, прогнозирование.

4.5. Примеры нейронных сетей. Персептроны: структура, возможности. Проблема «исключающего ИЛИ».

Нейронные сети встречного распространения. Слой Кохонена: принцип функционирования, обучение. Слой Гроссберга: принцип функционирования, обучение. Области применения, недостатки и преимущества сетей встречного распространения. Нейронная сеть Хопфилда: структура, принцип функционирования. Нейронная сеть Хэмминга: структура, принцип функционирования. Применение сетей Хопфилда и Хэмминга. Вероятностная сеть: идея построения. Гибридные сети: принцип функционирования.

4.6. Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox для построения и исследования нейронных сетей: режимы работы, состав, основные функции.

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Учебное пособие

Благовещенск

2006

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Пособие представляет краткие теоретические сведения и задания для лабораторных работ по курсу «Современные системы управления», изучаемому студентами специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Предлагаемые работы охватывают следующие темы, изучаемые в данном курсе: описание объектов и систем в пространстве состояний; управляемость и наблюдаемость объектов; модальное управление; идентификация объекта с помощью стационарного наблюдателя; адаптивные системы.

Лабораторные работы выполняются с использованием системы имитационного моделирования Simulink, а также пакета Control, входящих в состав программы Matlab.

Исходными данными для всех работ являются варианты передаточных функций объекта управления, которые предлагает студентам преподаватель.

1. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

1.1. Уравнения в пространстве состояний

Любой объект (система) описывается в пространстве состояний уравнениями вида:

$$\dot{X} = F_1(X, U), \tag{1}$$

$$Y = F_2(X, U), \tag{2}$$

где X – вектор независимых координат объекта (системы), однозначно описывающих его (ее) состояние; Y – вектор выходных (измеряемых) величин; U – вектор входных воздействий. В общем случае вектор U может включать как управляющие так и возмущающие воздействия, однако часто возмущения «выносятся» в отдельный вектор («f»).

Для линейных систем уравнения (1,2) принимают вид:

$$\dot{X} = AX + BU, \tag{3}$$

$$Y = CX + DU, \tag{4}$$

где A – квадратная матрица состояний; B – матрица управления; C – матрица выхода; D – т.н. матрица «прямого обхода» (управление U как бы «в обход» внутренних состояний непосредственно действует на выход Y). Для реальных объектов и систем практически всегда D = 0.

Размеры матриц, входящих в (3,4), определяются размерностями векторов состояния, управления и выхода. Если $X \in R^n, U \in R^m, Y \in R^{\mathbf{l}}$,то матрицы имеют следующие размерности: $A - [n \times n], B - [n \times m], C - [\mathbf{l} \times n], D - [\mathbf{l} \times m]$.

В качестве примера описания линейного объекта в пространстве состояния рассмотрим двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, регулируемый путем изменения напряжения якоря. Ток якоря i и скорость двигателя ω измеряются датчиками, выходные напряжения которых прямо пропорциональны измеряемым величинам:

$$u_i = k_i i, \tag{5}$$

$$u_\omega = k_\omega \omega. \tag{6}$$

Нагрузка двигателя характеризуется моментом сил статического сопротивления M_c и суммарным приведенным моментом инерции J.

Уравнение электрического равновесия якорной цепи двигателя имеет вид:

$$u_я = L\frac{di}{dt} + Ri + C_e\Phi\omega = L\frac{di}{dt} + Ri + K_e\omega, \qquad (7)$$

где L, R – индуктивность и активное сопротивление якоря; Φ – магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения двигателя; C_e – конструктивный коэффициент машины.

Уравнение механического равновесия на валу двигателя:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(M - M_c) = \frac{1}{J}(C_e\Phi i - M_c) = \frac{1}{J}(K_e i - M_c). \qquad (8)$$

Анализ уравнений (7), (8) показывает, что в совокупности они описывают поведение двух непрерывно изменяющихся величин: тока якоря i и угловой скорости двигателя ω. Эти величины и примем в качестве переменных состояния:

$$X = \begin{pmatrix} i \\ \omega \end{pmatrix}. \qquad (9)$$

Управление двигателем осуществляется путем изменения напряжения, приложенного к якорю, в качестве возмущения примем момент сопротивления на валу, поэтому

$$U = \begin{pmatrix} u_я \\ M_c \end{pmatrix}. \qquad (10)$$

Выходными (измеряемыми) величинами являются выходные напряжения датчиков тока и скорости:

$$Y = \begin{pmatrix} u_i \\ u_\omega \end{pmatrix}. \qquad (11)$$

Преобразуем уравнения (7),(8) к виду

$$\begin{cases} \dfrac{di}{dt} = -\dfrac{R}{L}i - \dfrac{K_e}{L}\omega + \dfrac{1}{L}u_я, \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{K_e}{J}i - \dfrac{1}{J}M_c. \end{cases} \qquad (12)$$

В матричной форме система (12) представляется

$$\dot{X} = \begin{pmatrix} -\dfrac{R}{L} & -\dfrac{K_e}{L} \\ \dfrac{K_e}{J} & 0 \end{pmatrix} \times X + \begin{pmatrix} \dfrac{1}{L} \\ -\dfrac{1}{J} \end{pmatrix} \cdot U. \qquad (13)$$

Управление выхода:

$$Y = \begin{pmatrix} k_i & 0 \\ 0 & k_\omega \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i \\ \omega \end{pmatrix}, \qquad D = 0. \tag{14}$$

1.2. Передаточная матрица

Передаточная матрица представляет собой расширение понятия передаточной функции для систем с несколькими входами и несколькими выходами. Передаточная матрица W(p) связывает между собой вектор лапласовых изображений входных (управляющих) величин U(p) и вектор лапласовых изображений выходных (измеряемых) величин Y(p) при нулевых начальных условиях:

$$Y(p) = W(p) \cdot U(p). \tag{15}$$

Если $U \in R^m, Y \in R^{\mathbf{l}}$ размер передаточной матрицы $[\mathbf{l} \times m]$:

$$\begin{pmatrix} y_1(p) \\ y_2(p) \\ \dots \\ y_{\mathbf{l}}(p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dfrac{y_1(p)}{u_1(p)} & \dfrac{y_1(p)}{u_2(p)} \dots & \dots \dfrac{y_1(p)}{u_m(p)} \\ \dfrac{y_2(p)}{u_1(p)} & \dfrac{y_2(p)}{u_2(p)} \dots & \dots \dfrac{y_2(p)}{u_m(p)} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dfrac{y_{\mathbf{l}}(p)}{u_1(p)} & \dfrac{y_{\mathbf{l}}(p)}{u_2(p)} \dots & \dots \dfrac{y_{\mathbf{l}}(p)}{u_m(p)} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_1(p) \\ u_2(p) \\ \dots\dots \\ u_m(p) \end{pmatrix}. \tag{16}$$

Таким образом, элементами передаточной матрицы являются передаточные функции по отдельным каналам управления.

1.3 Определение передаточной матрицы объекта (системы) по уравнениям в пространстве состояний

Исходными уравнениями являются уравнения в пространстве состояний (3,4). Запишем уравнение состояний в операторной форме и выразим из него вектор изображений переменных состояния:

$$pX(p) = AX(p) + BU(p), \tag{17}$$

откуда

$$X(p) = (pE - A)^{-1} BU(p), \tag{18}$$

где E – единичная диагональная матрица размером [n×n].

Подставив (18) в уравнение выхода, получим:

$$Y(p) = C(pE - A)^{-1} BU(p) + DU(p) = \left(C(pE - A)^{-1} B + D\right) U(p), \tag{19}$$

откуда видно, что

$$W(p) = C(pE - A)^{-1}B + D, \tag{20}$$

или

$$W(p) = \frac{C(pE - A)^{+}B + D\det(pE - A)}{\det(pE - A)}, \tag{21}$$

где $(pE - A)^{+}$ – т.н. присоединенная к $pE - A$ матрица. Знаменатель (21) представляет собой характеристический полином матрицы A. Так как этот полином – величина скалярная, знаменатели передаточных функций – элементов передаточной матрицы, т.е. знаменатели передаточных функций всех каналов управления системы будут одинаковыми:

$$\mathrm{den}(p) = \det(pE - A). \tag{22}$$

Числители же определяются матрицей

$$\mathrm{num}(p) = C(pE - A)^{+}B + D\det(pE - A). \tag{23}$$

Это обстоятельство подчеркивает то, что внутренние свойства системы (ее динамика по переменным состояния, устойчивость и т.д.) определяются только уравнением состояний (3), точнее, матрицей A.

Однако если система представляет собой объединение нескольких независимых подсистем, соответствующие элементы передаточной матрицы, – передаточные функции каналов управления, – должны иметь, очевидно, различные знаменатели, так как эти каналы принадлежат подсистемам с различными свойствами. В таком случае числители (23) и знаменатель (22) передаточных функций матрицы имеют общие множители–полиномы, сокращая которые, можно получить «реальные» числители и знаменатели.

1.4. Получение описания системы в пространстве состояний по передаточным функциям

Имея передаточные функции каналов управления системы (объекта), можно получить ее описание в пространстве состояний в форме уравнений (3,4). Такое описание будет иметь формальный характер, так как передаточные функции не несут информации о внутренних координатах системы – переменных состояния, а лишь связывают входы и выходы системы. Одной и той же передаточной функции соответствует бесконечное множество вариантов ее представлений уравнениями (3,4), различающихся набором переменных состояния (базисом). Выбор базиса зависит от метода преобразований.

Рассмотрим один из методов – метод прямого программирования, позволяющий получить уравнения в пространстве состояния с базисом, состоящим из фазовых координат.

Пусть, например, имеется объект со одним выходом и одним входом, описываемый передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{p^2 + 2p + 4}{2p^2 + p + 4}. \qquad (24)$$

Преобразования выполняются в несколько шагов.

1. Числитель и знаменатель W(p) разделим на слагаемое знаменателя, имеющее максимальную степень при p. Тем самым мы перейдем от операции дифференцирования к операции интегрирования:

$$W(p) = \frac{0{,}5 + p^{-1} + 2p^{-2}}{1 + 0{,}5p^{-1} + 2p^{-2}}. \qquad (25)$$

2. Введем вспомогательную переменную E(p), равную частному от деления изображения входа U(p) на знаменатель (25):

$$E(p) = \frac{U(p)}{1 + 0{,}5p^{-1} + 2p^{-2}}. \qquad (26)$$

Из (26) получим:

$$E(p) = U(p) - 0{,}5p^{-1}E(p) - 2p^{-2}E(p). \qquad (27)$$

3. Выразим выход системы через переменную E(p). Для этого необходимо умножить эту переменную на числитель передаточной функции:

$$Y(p) = 0{,}5 \cdot E(p) + p^{-1}E(p) + 2p^{-2}E(p). \qquad (28)$$

4. На основании (27) и (28) построим структурную схему системы.

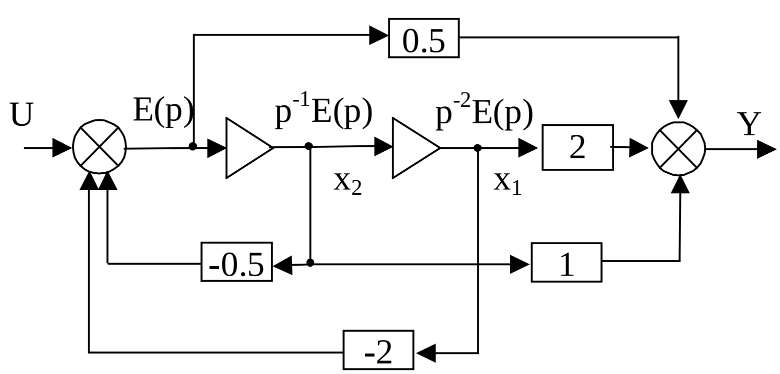


Рис. 1. Структурная схема системы

На схеме обозначим сигналы на выходах интеграторов переменными x_1 и x_2 (порядок расстановки в общем случае произволен, однако рекомендуется принять его таким, как на схеме). Эти сигналы и будут сигналами по переменным состояния.

По структурной схеме составим уравнения в виде (3,4):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -2x_1 - 0{,}5x_2 + U, \\ Y = 2x_1 + x_2 + 0{,}5\dot{x}_2 = 2x_1 + x_2 + 0{,}5 \cdot (-2x_1 - 0{,}5x_2 + U) = \\ \qquad = x_1 + 0{,}75x_2 + 0{,}5U. \end{cases} \tag{29}$$

Эти же уравнения в матричной форме:

$$\begin{cases} \dot{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0{,}5 \end{pmatrix} \times X + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \times U, \\ Y = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}75 \end{pmatrix} \times X + 0{,}5 \cdot U. \end{cases} \tag{30}$$

Следовательно, матрицы описания объекта в пространстве состояний будут следующими:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0{,}5 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}75 \end{pmatrix}, \quad D = 0{,}5. \tag{31}$$

Проверим правильность результата, осуществив обратное преобразование. Передаточная функция объекта:

$$W(p) = C(pE - A)^{-1}B + D = \frac{C(pE - A)^{+} B + D\det(pE - A)}{\det(pE - A)}. \tag{32}$$

В данном случае

$$(pE - A) = \begin{pmatrix} p & 0 \\ 0 & p \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -2 & -0{,}5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p & -1 \\ 2 & p + 0{,}5 \end{pmatrix}. \tag{33}$$

Знаменатель передаточной функции:

$$\det(pE - A) = p^2 + 0{,}5p + 2. \tag{34}$$

Далее

$$(pE - A)^{T} = \begin{pmatrix} p & 2 \\ -1 & p + 0{,}5 \end{pmatrix}, \quad (pE - A)^{+} = \begin{pmatrix} p + 0{,}5 & 1 \\ -2 & p \end{pmatrix}. \tag{35}$$

Числитель передаточной функции:

$$C\cdot(Ep-A)^{+}\cdot B+D\cdot\det(Ep-A)=$$
$$=\begin{pmatrix}1 & 0{,}75\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}p+0{,}5 & 1\\ -2 & p\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}0\\ 1\end{pmatrix}+0{,}5\cdot\left(p^2+0{,}5p+2\right)=$$
$$=1+0{,}75p+0{,}5p^2+0{,}25p+1=0{,}5p^2+p+2. \qquad (36)$$

Окончательно:

$$W(p)=\frac{0{,}5p^2+p+2}{p^2+0{,}5p+2}=\frac{p^2+2p+4}{2p^2+p+4}. \qquad (37)$$

1.5. Каноническое представление системы с одним входом и одним выходом

Система с одним входом и одним выходом с передаточной функцией

$$W(p)=\frac{c_n p^{n-1}+c_{n-1}p^{n-2}+\ldots+c_2 p+c_1}{p^n+a_n p^{n-1}+\ldots+a_2 p+a_1} \qquad (38)$$

может быть описана уравнениями в пространстве состояний (3,4) с матрицами вида

$$A=\begin{pmatrix}0 & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & \ldots & 0 & 0\\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots\\ 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1\\ -a_1 & -a_2 & -a_3 & \ldots & -a_{n-1} & -a_n\end{pmatrix},\quad B=\begin{pmatrix}0\\ 0\\ \ldots\\ 0\\ 1\end{pmatrix},$$

$$C=\begin{pmatrix}c_1 & c_2 & \ldots & c_{n-1} & c_n\end{pmatrix},\quad D=0. \qquad (39)$$

Такое описание и является каноническим представлением системы с одним входом и одним выходом.

1.6. Задание. Определение описания объекта в пространстве состояний. Определение передаточной функции объекта

1.5.1. По заданной передаточной функции определить уравнения объекта в пространстве состояний (матрицы описания A, B,C, D) методом прямого программирования (п. 1.4). Проверить правильность расчета, используя знание канонического представления системы (п. 1.5).

1.5.2. Построить структурную схему модели объекта. Построить модель объекта в Simulink. Сравнить ее «поведение» с «поведением» единственного блока – исходной передаточной функции.

1.5.3. По уравнениям в пространстве состояний определить передаточную функцию объекта (п. 1.3).

1.5.4. В Matlab получить уравнения объекта в пространстве состояний:

в координатах, пропорциональных фазовым (функция ss);
в канонической модальной форме (функция canon(.., ‘modal’));
в канонической companion-форме (функция canon(.., ‘companion’)).
Построить соответствующие структурные схемы модели объекта.

2. УПРАВЛЯЕМОСТЬ И НАБЛЮДАЕМОСТЬ

2. 1. Управляемость

Под управляемостью системы в общем смысле понимается возможность оказания на нее управляющих воздействий, которые обеспечили бы заданное движение. Приведем определение управляемости.

Система является полностью управляемой, если для любых начального $X(t_н)$ и конечного $X(t_к)$ ее положений найдется допустимое управление $U(t)$, переводящее систему из $X(t_н)$ в $X(t_к)$ за время $t = t_к - t_н$.

Для линейных систем в отсутствии ограничений на управляющие сигналы управляемость системы может быть определена с помощью критерия Калмана.

Система полностью управляема, если

$$\mathrm{rank}(J) = \mathrm{rank}[B, AB, A^2B, ..., A^{n-1}B] = n, \tag{40}$$

где n – порядок системы (размеры матрицы A).

Если rank(J) = k < n, то k переменных управляемы, k-n – не управляемы.

В этом случае описание системы может быть представлено следующим образом:

$$\begin{pmatrix} \dot{X}_у \\ \dot{X}_{ну} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ 0 & A_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_у \\ X_{ну} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ 0 \end{pmatrix} \times U, \tag{41}$$

где $X_У$ – k-мерный вектор управляемых координат; $X_{НУ}$ – (k-n)–мерный вектор неуправляемых координат.

Для таких систем вводится понятие *стабилизируемости*. Система стабилизируема, если $\lim\limits_{t \to \infty} X_{ну}(t) = 0$.

Это имеет место, если A_{22} – гурвицева матрица, т.е. матрица, собственные числа которой (корни характеристического полинома $\det(pE - A_{22})$) расположены в левой полуплоскости комплексной плоскости.

2.2. Наблюдаемость

Под наблюдаемостью системы понимается возможность по наблюдениям за ее входами и выходами восстановить вектор состояний. Определение: система называется наблюдаемой, если существует момент времени t^*, такой, что по наблюдениям за $y(\tilde{t})$ и входом $U(\tilde{t})$, где $\tilde{t} \in [t, t^*]$, можно определить состояние $X(t)$.

Для линейных систем наблюдаемость можно определить с помощью критерия Калмана.

Для того, чтобы система была полностью наблюдаема, необходимо и достаточно:

$$\mathrm{rank} H = \mathrm{rank}[C^T, A^T C^T, (A^T)^2 C^T, ..., (A^T)^{n-1} C^T] = n. \qquad (42)$$

Если $\mathrm{rank}(H) = k < n$, то k переменных наблюдаемы, n-k – не наблюдаемы, и тогда систему можно описать следующим образом:

$$\begin{pmatrix} \dot{X}_н \\ \dot{X}_{нн} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X_н \\ X_{нн} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \end{pmatrix} \times U, \qquad (43)$$

где $X_Н$ – k–мерный вектор наблюдаемых координат, $X_{НН}$ – (k-n)–мерный вектор ненаблюдаемых координат.

Для таких систем вводится понятие *обнаруживаемости*.

Для того, чтобы система была обнаруживаема, необходимо и достаточно: $\lim\limits_{t \to \infty} X_{нн} = 0$ при $X_н = 0, U = 0$, т.е. A_{22} была гурвицевой матрицей.

2.3. Примеры определения наблюдаемости

2.3.1. Интегратор.

Рассмотрим звено структурной схемы системы – интегратор.

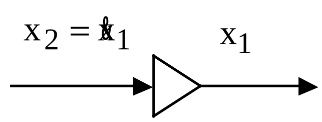


Рис. 2. Интегратор

Если измерению поддается величина x_1, т.е. $Y = x_1$, можно определить и вторую координату, дифференцируя x_1:

$$x_2 = \dot{x}_1 = \dot{Y}. \qquad (44)$$

Если же измерению подлежит x_2, т.е. $Y = x_2$, определить координату x_1 невозможно:

$$x_1 = \int_0^t x_2 dt = F_{x_2}(t) - F_{x_2}(0) + x_1(0), \qquad (45)$$

где F_{X2} – первообразная x_2. Действительно, $x_1(0)$ неизвестно.

2.3.2. Объект с двойным интегрированием:

$$
\begin{cases}
\dot{x}_1 = x_2, \\
\dot{x}_2 = U, \\
Y = c_1 x_1 + c_2 x_2.
\end{cases}
\tag{46}
$$

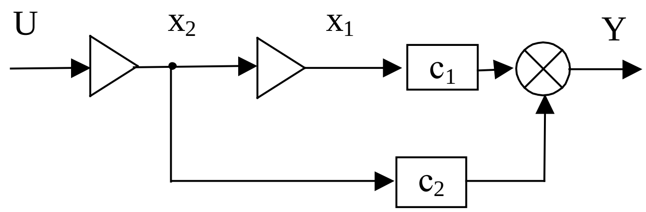


Рис. 3. Объект с двойным интегрированием

$$
A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \; B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 \end{pmatrix}.
\tag{47}
$$

Матрица наблюдаемости

$$
H = \left(\begin{matrix} c_1 \\ c_2 \end{matrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} c_1 & 0 \\ c_2 & c_1 \end{pmatrix}.
\tag{48}
$$

Ее определитель:

$$
\det(H) = -c_1^2.
\tag{49}
$$

Таким образом, наблюдаемость объекта с двойным интегрированием определяется только коэффициентом c_1.

При $c_1 = 0$, $c_2 \neq 0$ – координата x_1 не наблюдаема.

При $c_1 \neq 0$, $c_2 = 0$

$$
x_1 = \frac{1}{c_1} Y, \quad x_2 = \dot{x}_1 = \frac{1}{c_1} \dot{Y},
\tag{50}
$$

т.е. система полностью наблюдаема.

При $c_1 \neq 0$, $c_2 \neq 0$

$$
\dot{Y} = c_1 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 = c_1 x_2 + c_2 U,
\tag{51}
$$

откуда

$$
\begin{cases}
x_2 = \dfrac{1}{c_1} \dot{Y} - \dfrac{c_2}{c_1} U, \\[2ex]
x_1 = \dfrac{1}{c_1} Y - \dfrac{c_2}{c_1} x_2 = \dfrac{1}{c_1} Y - \dfrac{c_2}{c_1^2} \dot{Y} + \dfrac{c_2^2}{c_1^2} U.
\end{cases}
\tag{52}
$$

Схема восстановления координат, составленная на основании (52), приведена на рис. 4.

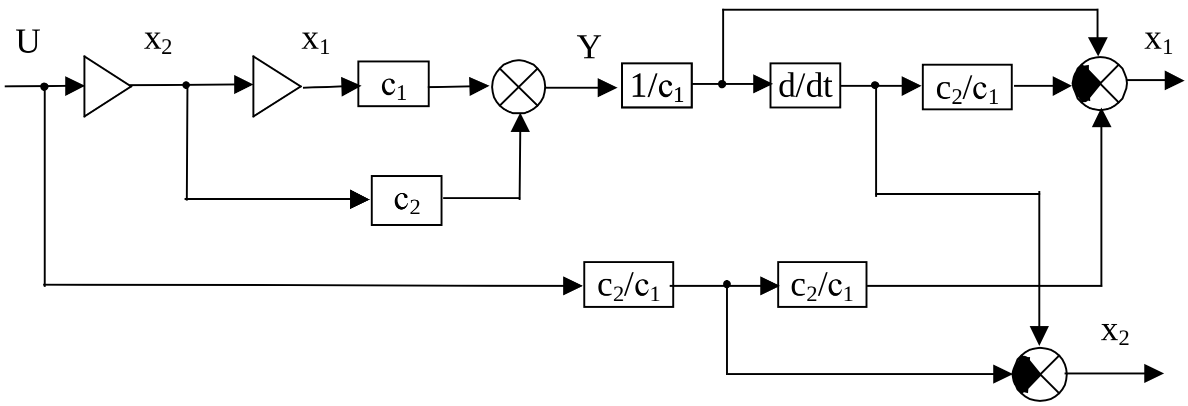


Рис. 4. Схема восстановления координат объекта (46)

2.3.3. Объект второго порядка с обратными связями:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = U - a_1 x_1 - a_2 x_2, \\ Y = c_1 x_1 + c_2 x_2. \end{cases} \tag{53}$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{pmatrix}, \; B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} c_1 & c_2 \end{pmatrix}. \tag{54}$$

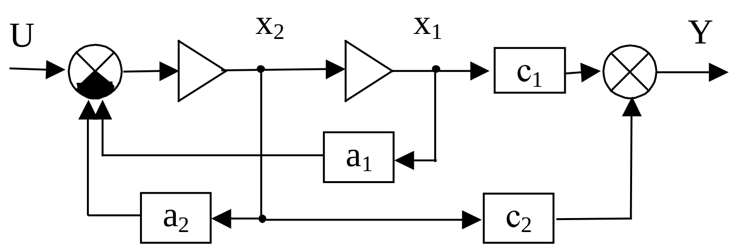


Рис. 5. Система второго порядка с обратными связями

Матрица наблюдаемости:

$$H = \left(\begin{matrix} c_1 \\ c_2 \end{matrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & -a_1 \\ 1 & -a_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} \right) = \begin{pmatrix} c_1 & -a_1 c_2 \\ c_2 & c_1 - a_2 c_2 \end{pmatrix}, \tag{55}$$

ее определитель

$$\det(H) = c_1^2 - a_2 c_1 c_2 + a_1 c_2^2. \tag{56}$$

При $c_1 = 0$, $c_2 \neq 0$ $\det(H) = a_1 c_2^2$ и система наблюдаема при любом ненулевом a_1. Координата x_2 определяется просто:

$$x_2 = \frac{1}{c_2} Y. \qquad (57)$$

Определим x_1, продифференцировав уравнение выхода:

$$\dot{Y} = c_2 \dot{x}_2 = c_2 U - c_2 a_1 x_1 - a_2 Y, \qquad (58)$$

откуда

$$x_1 = \frac{1}{a_1} U - \frac{a_2}{c_2 a_1} Y - \frac{1}{c_2 a_1} \dot{Y}. \qquad (59)$$

При $c_1 \neq 0$, $c_2 = 0$ $\det(H) = c_1^2$ и система полностью наблюдаема при любых a_1, a_2:

$$x_1 = \frac{1}{c_1} Y, \quad x_2 = \dot{x}_1 = \frac{1}{c_1} \dot{Y}. \qquad (60)$$

При $c_1 \neq 0$, $c_2 \neq 0$ в общем случае система наблюдаема, однако возможен вариант

$$\det(H) = c_1^2 - a_2 c_1 c_2 + a_1 c_2^2 = 0, \qquad (61)$$

что имеет место при $a_1 = \frac{c_1^2}{c_2^2} - \frac{c_1}{c_2} a_2$, и в этом случае система не наблюдаема.

Продифференцировав уравнение выхода, получим:

$$\dot{Y} = c_1 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 = c_1 x_2 + c_2 U - c_2 a_1 x_1 - c_2 a_2 x_2, \qquad (62)$$

или

$$\dot{Y} = c_2 U - c_2 a_1 x_1 + (c_1 - c_2 a_2) x_2. \qquad (63)$$

Решая совместно уравнение (63) и уравнение выхода, получим

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{c_1 - c_2 a_2}{\det(H)} Y - \dfrac{c_2}{\det(H)} \dot{Y} + \dfrac{c_2^2}{\det(H)} U, \\ x_2 = \dfrac{c_2 a_1}{\det(H)} Y + \dfrac{c_1}{\det(H)} \dot{Y} - \dfrac{c_1 c_2}{\det(H)} U. \end{cases} \qquad (64)$$

Схема восстановления координат приведена на рис. 6 (сам объект не показан).

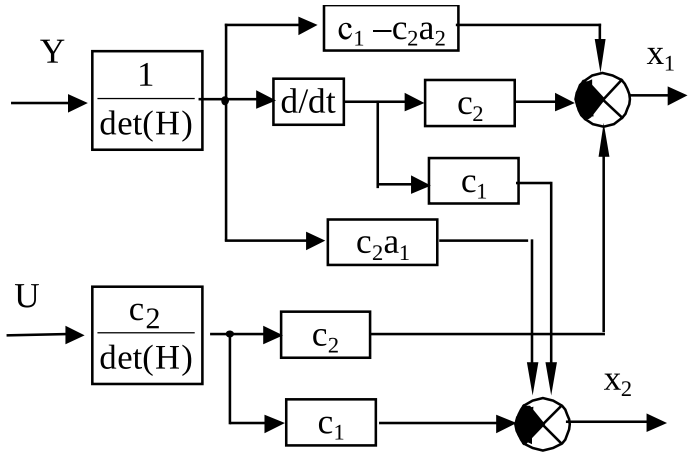


Рис. 6. Схема восстановления координат для объекта (53)

2.4. Задание. Проверка управляемости и наблюдаемости объекта. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта

2.4.1. С помощью критерия Калмана определить управляемость объекта. Проверить правильность расчета, получив в Matlab матрицу управляемости объекта с помощью функции ctrb и определив ее ранг с помощью функции rank.

2.4.2. С помощью критерия Калмана определить наблюдаемость объекта. Проверить правильность расчета, получив в Matlab матрицу наблюдаемости объекта с помощью функции obsv и определив ее ранг с помощью функции rank.

При неполной наблюдаемости выделить наблюдаемые и ненаблюдаемые координаты объекта и определить его обнаруживаемость.

3.4.3. Рассчитать и построить дифференцирующие цепи для восстановления координат объекта (при неполной наблюдаемости – наблюдаемых координат). Построить в Simulink дифференцирующие цепи и проверить их работоспособность.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ САУ ПО ПРИНЦИПАМ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ СТАЦИОНАРНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ

3.1. Модальное управление

Модальное управление – управление с помощью жестких обратных связей по переменным состояния.

Рассмотрим пример – объект второго порядка с полностью измеряемым вектором состояния:

$$\dot{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{pmatrix} \times X + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot U, \quad Y = X. \tag{65}$$

Сформируем управление по закону

$$U = g - KY = g - KX, \tag{66}$$

где g – задающий сигнал; $K = (k_1\ k_2)$ – вектор коэффициентов обратных связей по переменным состояния.

Схема системы управления представлена на рис. 7.

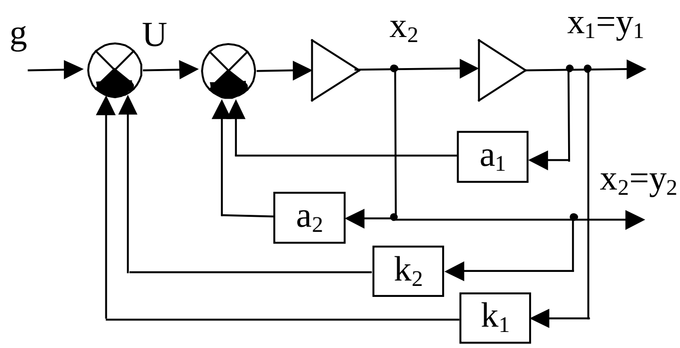


Рис. 7. Система модального управления

Из схемы видно, что обратные связи регулятора действуют параллельно обратным связям самого объекта, и, выбрав их коэффициенты соответствующим образом, можно получить любую наперед заданную динамику системы.

Действительно, уравнение состояний объекта с учетом модального регулятора будет иметь вид:

$$\dot{X} = AX + B(g - KX) = (A - BK)X + Bg. \tag{67}$$

Матрица A – BK определяет динамику системы и при проектировании обратных связей может быть задана как желаемая. В данном случае

$$A_ж = A - BK = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 - k_1 & -a_2 - k_2 \end{pmatrix}. \tag{68}$$

Ее характеристический полином – знаменатель передаточной функции системы

$$\det(A_ж) = \det(pE - A + BK) = p^2 + (a_2 + k_2)p + (a_1 + k_1). \tag{69}$$

В рассматриваемом примере объект был представлен в каноническом виде, поэтому матрица состояний системы и ее характеристический полином имеют «простой» вид. Для такого представления без труда можно определить вектор коэффициентов обратных связей регулятора, задаваясь, например, коэффициентами полинома, обеспечивающими требуемую динамику.

В реальности же координаты-состояния объекта имеют определенную физическую природу и не обязательно связаны между собой как фазовые (процедурами дифференцирования–интегрирования). Поэтому матрицы объекта A, B, матрица $A_Ж$ и ее характеристический полином будут иметь более сложный вид. В общем случае компоненты вектора K находятся из решения системы из n линейных алгебраических уравнений с n неизвестными (n – порядок системы, число заданных коэффициентов желаемого характеристического полинома и компонентов вектора K). При этом, если объект управляем (матрицы A,B управляемы), соответствующим выбором вектора K всегда можно обеспечить любую динамику системы, задаваясь собственными числами матрицы $A_Ж = A–BK$.

На практике часто обратные связи реализуются не по всем координатам объекта, и, следовательно, имеется возможность «управлять» только частью корней характеристического полинома системы.

3.2. Стационарный наблюдатель

Основная проблема, связанная с применением принципа модального управления, состоит в том, что в реальных системах, как правило, не все переменные состояния объекта управления поддаются непосредственному измерению.

Если необходима информация о всех переменных состояния, не измеряемые непосредственно переменные должны быть восстановлены по информации о входах и выходах объекта.

Одно из возможных решений проблемы восстановления координат – применение дифференцирующих цепей – рассмотрено в п. 3.2. Недостатки такого подхода – практическая сложность реализации операции дифференцирования и незащищенность полученной системы от помех.

Другое решение состоит в применении специальных динамических устройств – стационарных наблюдателей. Наблюдатель подключается и функционирует параллельно объекту управления, при этом его переменные-координаты предоставляют системе информацию о координатах самого объекта. Процесс восстановления координат (идентификации объекта) происходит не мгновенно (например, при включении системы), а занимает некоторое время, которое требуется для того, чтобы координаты наблюдателя приблизились к координатам объекта.

Стационарный наблюдатель полного порядка описывается уравнением

$$\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + BU + G(Y - C\hat{X}), \tag{70}$$

где $\hat{X}$ – вектор переменных наблюдателя (для наблюдателя полного порядка его размерность совпадает с размерностью вектора состояний объекта X); A, B, C – матрицы описания объекта (таким образом, наблюдатель строится для определенного объекта); Y – вектор выхода объекта; G – матрица, задающая динамику процесса идентификации.

Как видно из уравнения (70), наблюдатель в основном имеет ту же структуру, что и объект управления. При равенстве выходов наблюдателя и объекта $\hat{Y} = C\hat{X} = Y$ динамика наблюдателя полностью аналогична динамике объекта (так как они описываются одними и теми же матрицами A, B).

Настройка наблюдателя на объект обеспечивается за счет введения дополнительных сигналов $G(Y - C\hat{X})$, пропорциональных разнице выходных сигналов наблюдателя и объекта.

Ошибка восстановления вектора X в процессе идентификации:

$$e = X - \hat{X}, \tag{71}$$

скорость ее изменения:

$$\dot{e} = \dot{X} - \dot{\hat{X}} = A\left(X - \hat{X}\right) - GC\left(X - \hat{X}\right) = \left(A - GC\right)e. \tag{72}$$

Чтобы наблюдатель был устойчивой системой ($e \to 0$), необходимо, чтобы матрица (A – GC) была гурвицевой матрицей. Если объект наблюдаем (матрицы A, C наблюдаемы), выбором вектора G можно обеспечить любую, наперед заданную динамику восстановления вектора X. В противном случае не все собственные числа матрицы A–GC доступны «управлению» выбором вектора G, и, следовательно, в полной мере задать динамику процесса идентификации невозможно.

В системе модального управления вектор G выбирают исходя из того, чтобы скорость процесса идентификации превосходила скорость процесса управления.

Выше рассмотрен наблюдатель полного порядка. В реальных системах более широкое применение находят так называемые *редуцированные* наблюдатели [1], порядок которых меньше порядка объекта. Редуцированные наблюдатели восстанавливают только часть вектора состояний объекта – те его координаты, которые не доступны измерению непосредственно.

3.3. Система второго порядка с модальным управлением и идентификацией вектора состояний (пример)

Объект управления

$$\begin{cases} \dot{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{pmatrix} \times X + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot U, \\ Y = (c_1 \quad c_2)X. \end{cases} \tag{73}$$

Стационарный наблюдатель полного порядка:

$$\dot{\hat{X}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_1 & -a_2 \end{pmatrix} \times \hat{X} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot U + \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \end{pmatrix} \left(Y - (c_1 \quad c_2) \times \hat{X}\right). \tag{74}$$

Модальное управление:

$$U = g - \begin{pmatrix} k_1 & k_2 \end{pmatrix} \times \hat{X}. \tag{75}$$

Структурная схема системы приведена на рис. 8.

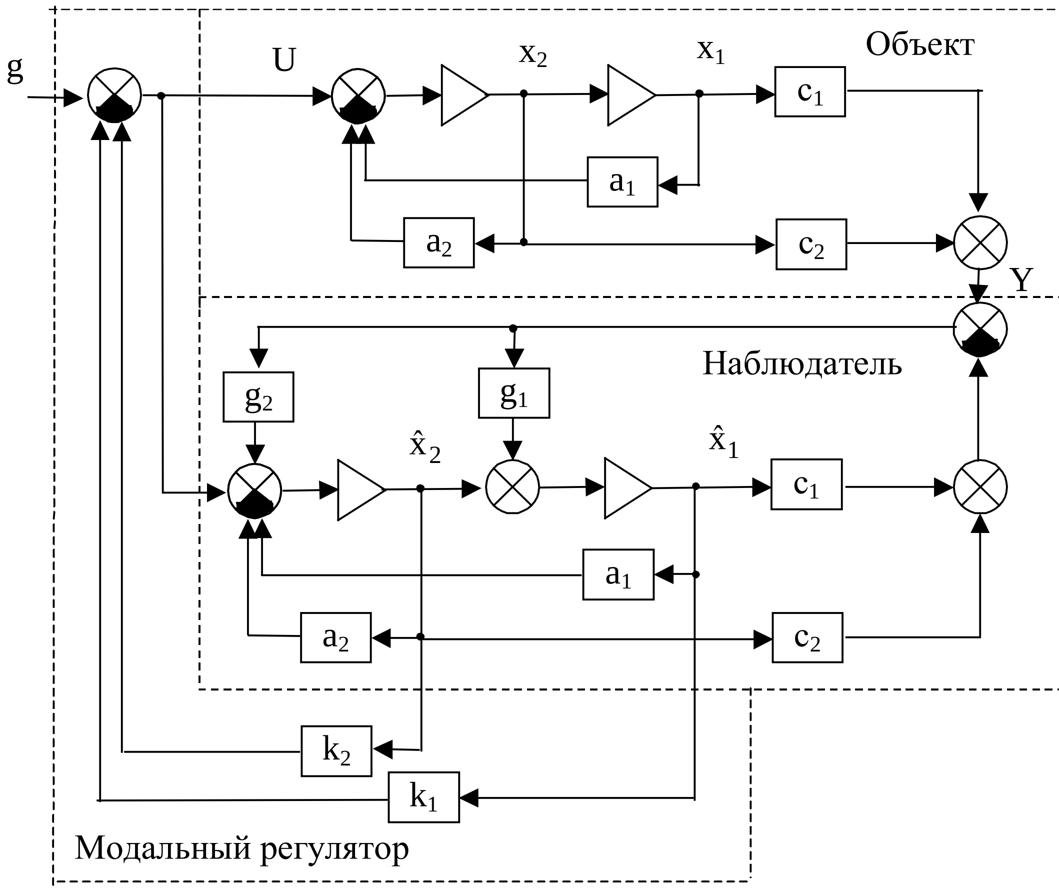


Рис. 8. Структурная схема системы модального управления с наблюдателем

3.4. Расчет модального регулятора и наблюдателя

Расчет модального регулятора и наблюдателя сводится к выбору вектора K и матрицы G, который обычно осуществляется таким образом, чтобы характеристические полиномы систем управления $\det(pE - A + BK)$ и идентификации $\det(pE - A + GC)$ имели заданное распределение корней и соответствовали некоторой стандартной форме.

Стандартная форма полинома имеет вид:

$$H(p) = p^n + a_n \omega_0 p^{n-1} + \ldots + a_2 \omega_0 p^{n-1} + a_1 \omega_0^n, \tag{76}$$

где $a_0 - a_n$ – коэффициенты полинома, определяющие «качество» протекания процессов, ω_0 – параметр, определяющий время протекания процессов.

Коэффициенты полинома стандартной формы выбираются таким образом, чтобы обеспечить заданное распределение его корней. Часто для этой цели прибегают к известным вариантам распределения, среди которых широко используются биноминальное распределение и распределение по Баттерворту [1].

1) Биноминальное распределение.

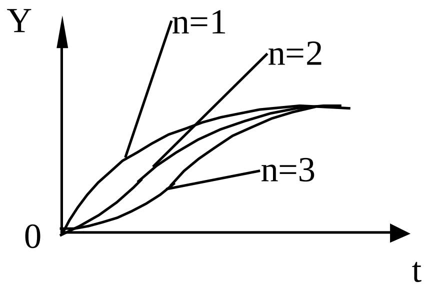
Стандартная форма полинома в данном случае имеет вид:

$$H(p) = (p + \omega_0)^n , \qquad (77)$$

где n– порядок системы.

Все корни полинома действительные и равны: $-\omega_0$.

Качественный характер переходных процессов при ступенчатом воздействии для системы с передаточной функцией W=1/H(p) показан на рис. 9.



n=1: $H(p) = p + 1\omega_0$

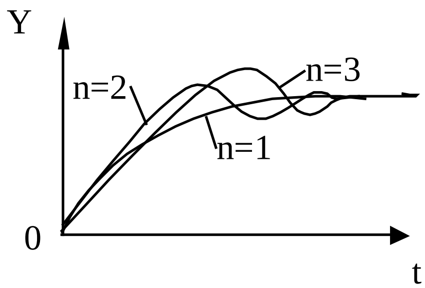
n = 2: $H(p) = p^2 + 2\omega_0 p + 1\omega_0^2$

n =3: $H(p) = p^3 + 3\omega_0 p^2 + 3\omega_0^2 p + 1\omega_0^3$

Рис. 9. Биноминальное распределение

2) Распределение по Баттерворту.

Все корни характеристического полинома для данного распределения лежат на полуокружности радиуса ω_0 в левой части комплексной плоскости. Полиномы для n=1,2,3 и переходные процессы при ступенчатом входном воздействии для системы с передаточной функцией W=1/H(p) имеют вид, показанный на рис. 10.



n=1: $H(p) = p + \omega_0$

n=2: $H(p) = p^2 + 1{,}4\omega_0 p + \omega_0^2$

n=3: $H(p) = p^3 + 2\omega_0 p^2 + 2\omega_0^2 p + \omega_0^3$

Рис. 10. Распределение по Баттерворту

3.5. Задание. Проектирование системы модального управления с идентификацией вектора состояния объекта с помощью стационарного наблюдателя

3.5.1. Рассчитать коэффициенты векторов K и G такие, чтобы:

динамика системы приближалась к динамике, заданной характеристическим полиномом с распределением корней по Баттерворту с $\omega_0 = 1$;

динамика процесса идентификации определялась характеристическим полиномом биноминальной формы с $\omega_0 = 2$.

В Matlab проверить правильность расчета K и G, применяя функцию acker из пакета Control:

K = acker(A,B,eig1), G = (acker(A',C',eig2))' ,

где eig1, eig2 – желаемые векторы собственных чисел матриц A–BK и A–GC соответственно.

3.5.2. Построить полную структурную схему системы.

3.5.3. С помощью Simulink провести имитационное моделирование системы, в ходе которого получить переходные процессы по отработке ею управляющего воздействия, а также рассогласований между координатами объекта и наблюдателя.

4. АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

4.1. Факторы-предпосылки использования адаптивного подхода

Адаптивными системами автоматического управления называются системы, управляющие устройства которых способны перестраиваться таким образом, чтобы обеспечить требуемые показатели качества функционирования системы с учетом изменяющихся свойств и условий работы управляемого объекта.

Развитие адаптивного подхода при построении систем управления обусловлено рядом факторов:

1. *Нестационарность объектов управления* – изменение их параметров во времени. Например, параметры электромеханических систем с упругостью, в частности роботов-манипуляторов (постоянные времени, коэффициенты передачи) изменяются в десятки раз в зависимости от положения рабочих органов; параметры систем управления самолетами изменяются в сотни раз в зависимости от высоты и скорости. В таких условиях применение классической структуры системы управления с ПИД- регулятором, параметры которого постоянны и настроены на определенные параметры объекта управления, оказывается невозможным.

2. *Существенная нелинейность объектов управления*. Классические методы построения систем управления работают в основном для линейных объектов. Если объект управления описывается нелинейными зависимостями, их линеаризуют в рабочей области функционирования. При экспериментальном определении математического описания объекта, последнее также, как правило, выбирается в виде линейных уравнений. Однако нелинейность некоторых

объектов оказывается настолько существенной, что пренебрежение ею приводит к существенной потере качества управления, а в самых «тяжелых» случаях – и к потере устойчивости. Особенно это касается объектов, координаты которых в процессе функционирования системы изменяются в широких пределах (например, в следящих системах). Адаптивный подход предполагает подавление нелинейных свойств объекта и, таким образом, искусственное приведение его к линейному.

3. *Труднопредсказуемые возмущения.* В некоторых случаях на этапе проектирования системы трудно или невозможно предусмотреть все возмущающие воздействия, которые будут действовать на объект управления. Поэтому «классические» регуляторы с постоянными параметрами не в состоянии обеспечить заданное качество управления.

В самонастраивающихся системах параметры регулятора автоматически перестраиваются при изменениях параметров объекта и внешних возмущений. При этом выделяют два вида настройки регуляторов:

параметрическая (настройка коэффициентов);

сигнальная (ввод в управление дополнительных сигналов).

4.2. Представление объекта в задачах адаптивного управления.

Нестационарный нелинейный объект может быть описан уравнениями вида

$$\begin{cases} \dot{X} = F(X, U, f, t) = (A + a(X))X + (B + b(X))U + f, \\ Y = CX, \end{cases} \qquad (78)$$

где A и B – нестационарные матрицы, определяющие линейную составляющую поведения объекта; a(X), b(X) – нелинейные составляющие описания; f – возмущения; C – стационарная матрица выхода (состоящая из коэффициентов передачи датчиков).

У такого объекта выделяют стационарную часть и рассогласования:

$$\dot{X} = A_0 X + B_0 U + \sigma + \varphi, \qquad (79)$$

где A_0, B_0 – стационарные матрицы,

$$\sigma = (A - A_0)X + (B - B_0)U \qquad (80)$$

– параметрические рассогласования,

$$\varphi = f + a(X)X + b(X)U \qquad (81)$$

– сигнальные рассогласования (включают рассогласования вследствие нелинейности объекта).

В адаптивных системах, рассмотренных ниже, описание объекта искусственно представляется таким, что матрицы A_0, B_0 описывают не собственно стационарную часть объекта, а желаемое его поведение – эталонную динамику, которой нужно подчинить объект. Поэтому задача адаптации – за счет выбора соответствующего управления подавить рассогласования σ и φ.

В настоящем пособии рассматривается два типа адаптивных систем, отличающихся принципами построения:

с эталонной моделью;

с настраиваемой моделью(с непрямой адаптацией).

4.3. Адаптивная система с эталонной моделью (АСЭМ)

Адаптивная система (рис. 11) содержит блок ЭМ, реализующий функции эталонной модели – динамической системы, поведение которой выбирается в качестве образца (эталона) для поведения объекта управления. Блок АА реализует алгоритмы адаптации, вырабатывая сигналы параметрической ПН и сигнальной СН настроек адаптивного регулятора АР на основании сравнения координат объекта и эталонной модели.

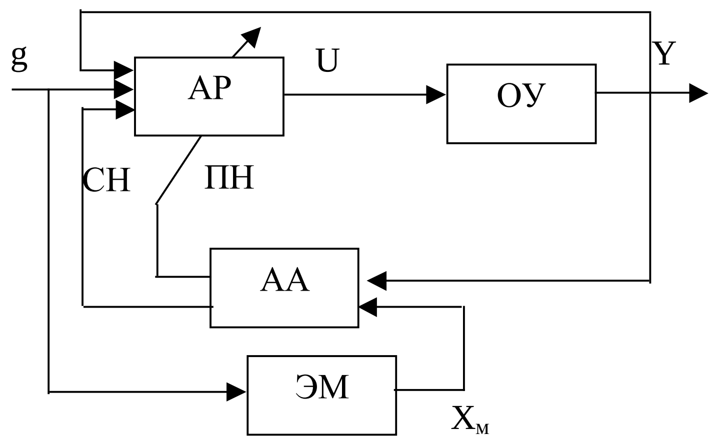


Рис. 11. Адаптивная система с эталонной моделью

Эталонная модель описывает желаемую динамику системы:

$$\dot{X}_{м} = A_{м}X_{м} + B_{м}g. \tag{82}$$

Матрицы эталонной модели $A_М$ и $B_М$ имеют обычно размеры, равные размерам матриц А и В «линейной составляющей» поведения объекта. В некоторых случаях эталонная модель может иметь меньший порядок.

Адаптивный регулятор формирует управляющее воздействие по закону

$$U = K_a X + K_b (g + z), \tag{83}$$

где K_a, K_b – матрицы настраиваемых параметров; z – сигнальная настройка.

В описании объекта (79) принимаем $A_0 = A_М$, $B_0 = B_М$, тогда

$$\dot{X} = A_{м}X + B_{м}U + (A - A_{м})X + (B - B_{м})U + \varphi, \tag{84}$$

или

$$\dot{X} = A_м X + B_м g + (A + BK_a - A_м)X + (BK_b - B_м)g + BK_b z + \varphi. \qquad (85)$$

Из (85) видно: чтобы динамика объекта приближалась к динамике эталонной модели, необходимо, чтобы

$$\lim_{t\to\infty} \left[(A + BK_a - A_м)X + (BK_b - B_м)g + BK_b z + \varphi\right] = 0 \qquad (86)$$

Выражение (86), таким образом, определяет цель адаптации. Настройки регулятора K_a, K_b, z по окончании процесса адаптации должны принять значения, обеспечивающие выполнение этой цели. При определенных условиях цель адаптации достигается в следующем виде:

$$\lim_{t\to\infty} (A + BK_a) = A_м, \qquad (87)$$

$$\lim_{t\to\infty} (BK_b) = B_м, \qquad (88)$$

$$\lim_{t\to\infty} (BK_b z) = \varphi. \qquad (89)$$

Выражения (87–89) описывают т.н. *идентифицирующие свойства настроек* адаптивного регулятора. По настройкам регулятора можно судить о параметрических и сигнальных возмущениях, воздействующих на объект. При выполнении (87,88) по окончании процесса адаптации коэффициенты параметрической настройки примут значения K_a^0 и K_b^0 такие, что

$$BK_a^0 = A_м - A, \qquad (90)$$

$$BK_b^0 = B_м. \qquad (91)$$

Естественно, структуры матриц A, $A_М$ и B, $B_М$ должны быть такими, чтобы уравнения (90), (91) имели решения относительно K_a^0 и K_b^0. В этом состоит т.н. *условие согласованности* модели и объекта. Аналогичное условие может быть записано и для сигнальной настройки. Однако в силу специфики сигнального алгоритма (разрывное управление) оно имеет несколько иной вид.

Синтез системы состоит в отыскании алгоритмов адаптации, обеспечивающих выполнение цели адаптации при всех возможных изменениях параметров объекта и возмущениях, действующих на него. Для решения этой задачи применяются методы теории устойчивости нелинейных систем, в том числе метод Ляпунова, метод гиперустойчивости и др. Одно из решений [2] предлагается в виде:

$$\dot{K}_a = B_м^т P e X^т R_a, \qquad (92)$$

$$\dot{R}_b = B_м^T Pe(g + z) R_b, \tag{93}$$

$$z = h \cdot \operatorname{sign}(B_м^T Pe), \tag{94}$$

где e – рассогласование между эталонной моделью и объектом:

$$e = X_м - X; \tag{95}$$

матрица P находится из решения уравнения (уравнения Ляпунова):

$$PA_м + A_м^T P = -Q, \tag{96}$$

где Q – диагональная положительная матрица; Ra, Rb – диагональные положительные матрицы коэффициентов параметрической настройки, они определяют скорость настройки и выбираются на этапе имитационного моделирования; h – диагональная положительная матрица коэффициентов сигнальной настройки. Методика определения h приводится в работах [2], [3]. Она предполагает нахождение минимально допустимого значения h. Здесь же ограничимся утверждением, что для устойчивости системы и достижения цели адаптации значение h должно быть «достаточно большим». Оно будет выбираться на этапе имитационного моделирования.

Таким образом, коэффициенты параметрической настройки формируются по интегральному закону, а сигнальная настройка – по знаковому алгоритму. По выполнению цели адаптации (86) сигнальная настройка функционирует в скользящем режиме с теоретически бесконечной частотой переключения. Для ограничения частоты переключения на практике элемент релейного типа, вырабатывающий сигнал z, должен обладать некоторой зоной нечувствительности.

Алгоритмы настроек (92–94) обеспечивают выполнение цели адаптации (86), но не гарантируют проявления идентифицирующих свойств (87–89). Как показано в [2], идентифицирующие свойства настроек проявляются только при «достаточно полном» частотном содержании входного сигнала g(t).

Выше рассмотрена адаптивная система комбинированного типа. В реальных системах с эталонной моделью может применяться как только параметрическая, так и только сигнальная настройка. Использование лишь ПН целесообразно, когда параметры объекта изменяются в широких пределах, но скорость их изменения незначительна. Если параметры изменяются в небольшом диапазоне, но с высокой скоростью, либо объект подвержен сигнальным рассогласованиям (нелинейности и возмущения), предпочтительнее использование СН. В наиболее «тяжелых» случаях используется оба типа настройки; при этом «быстрые» рассогласования подавляются сигнальной настройкой, а «медленные» – параметрической (при этом сигнальная настройка не реагирует на небольшие рассогласования благодаря тому, что в алгоритм вводится зона нечувствительности).

В общем случае сигнальная настройка более универсальна благодаря простоте реализации и более высокому быстродействию. Однако ее возможности ограничены способностью регулирующих органов, непосредственно воздействующих на объект, формировать управляющие сигналы в скользящем режиме с заданной амплитудой сигнала. В реальных условиях всегда ограничены как уровень сигнала на выходе релейного блока, так и частота его переключения. В этом состоит один из недостатков системы с эталонной моделью. В системах с непрямой адаптацией он преодолевается благодаря тому, что сигнал сигнальной настройки используется только для управления настраиваемой моделью, а для управления объектом применяется его сглаженный «эквивалент».

4.4. Адаптивная система с настраиваемой моделью (АСНМ)

В данной системе присутствует т.н. настраиваемая модель – динамическая система, поведение которой в результате процесса адаптивной идентификации «приводится» к поведению объекта. Настройка модели на объект производится путем генерации адаптивным регулятором сигналов управления моделью $\tilde{U}$. Эти сигналы несут в себе информацию, позволяющую определить управление U самим объектом, обеспечивающее некоторую заданную его динамику.

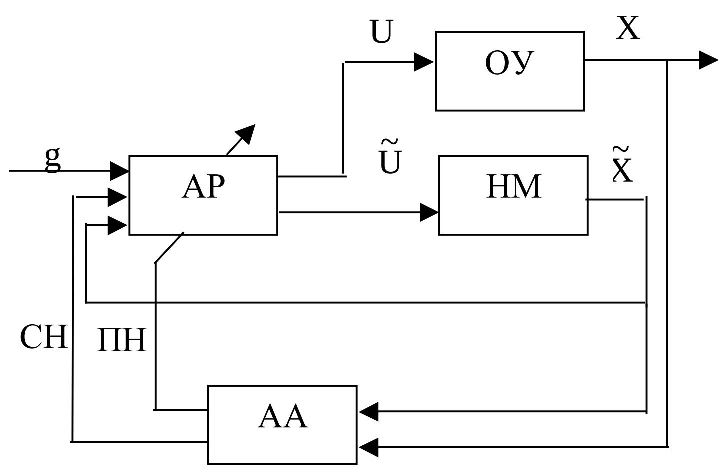


Рис. 12. Адаптивная система с настраиваемой моделью

Настраиваемая модель строится по структуре адаптивного наблюдателя:

$$\dot{\tilde{X}} = A_M \tilde{X} + \tilde{G}\left(Y - C\tilde{X}\right) + B_M \tilde{U}, \qquad (97)$$

где $\tilde{X}$ – вектор состояний модели (обычно той же размерности, что и вектор X объекта; Y – выход объекта; C – матрица выхода объекта; A_M, B_M, $\tilde{G}$ – матрицы модели, задающие ее динамику (о их выборе ниже); $\tilde{U}$ – управление моделью, формируемое по закону:

$$\tilde{U} = U + z + K_a \tilde{X} + K_b U, \tag{98}$$

где K_a, K_b – матрицы коэффициентов параметрической настройки модели; z – сигнальная настройка модели; U – сигнал управления объектом.

Подставляя (98) в (97), получим:

$$\dot{\tilde{X}} = A_м \tilde{X} + \tilde{G}(Y - C\tilde{X}) + B_м U + B_м K_a \tilde{X} + B_м K_b U + B_м z. \tag{99}$$

Анализируя (99), можно заметить, что первые три слагаемые правой части аналогичны таковым для стационарного наблюдателя, построенного для некоторого объекта с динамикой, задаваемой парой матриц $A_М$, $B_М$ (эталонной динамикой). Три последние слагаемые обеспечивают настройку модели в процессе адаптивной идентификации.

Представим описание объекта управления в виде:

$$\dot{X} = AX + BU + \varphi = AX + B_м U + (B - B_м)U + \varphi. \tag{100}$$

Вычитая (99) из (100) после некоторых преобразований (применяя прием $+A\tilde{X} - A\tilde{X}$), получим уравнение для ошибки идентификации:

$$\dot{\tilde{e}} = \dot{X} - \dot{\tilde{X}} = (A - \tilde{G}C)(X - \tilde{X}) +$$
$$+ (A - A_м - B_м K_a)\tilde{X} + (B - B_м - B_м K_b) + \varphi - B_м z. \tag{101}$$

Выполнение цели идентификации

$$\lim_{t\to\infty} \tilde{e}(t) = 0 \tag{102}$$

обеспечивается, если матрица $A - \tilde{G}C$ гурвицева, а сумма четырех последних слагаемых (101) стремится к нулю:

$$\lim_{t\to\infty}\left[(A - A_м - B_м K_a)\tilde{X} + (B - B_м - B_м K_b)U + \varphi - B_м z\right] = 0. \tag{103}$$

Выражение (103) определяет цель адаптации.

В частности при определенных условиях цель адаптации достигается при выполнении следующих соотношений

$$\lim_{t\to\infty} B_м K_a = A - A_м, \tag{104}$$

$$\lim_{t\to\infty} B_м K_b = B - B_м, \tag{105}$$

$$\lim_{t\to\infty} B_м z = \varphi. \tag{106}$$

Аналогично (87–89) для АСЭМ выражения (104–106) описывают идентифицирующие свойства настроек АСНМ.

Таким образом, для обеспечения процесса адаптивной идентификации необходимо выбрать матрицу $\tilde{G}$, которая для любых значений матрицы A гарантирует гурвицевость матрицы $A-\tilde{G}C$, а также определить алгоритмы настроек K_a, K_b и z, обеспечивающие выполнение (103).

Данные алгоритмы синтезируются подобно (92–94). Один из вариантов имеет вид:

$$\dot{K}_a = B_м^T Pe\tilde{X}^T R_a, \tag{107}$$

$$\dot{K}_b = B_м^T PeUR_b, \tag{108}$$

$$z = h \cdot \mathrm{sign}(B_м^T Pe). \tag{109}$$

Алгоритмы (107–109) в основном аналогичны (92–94), за исключением того, что при определении матрицы P в (96) необходимо A_M заменить на $A_м - \tilde{G}C$ [2]. Так же, как и для системы с эталонной моделью алгоритмы обеспечивают выполнение (104–106) при «достаточно полном» частотном содержании входного сигнала g(t).

Предположим, что цель адаптивной идентификации (103) достигнута и $\tilde{X} = X$. Тогда уравнение объекта примет вид:

$$\dot{X} = A_м X + B_м U + (A - A_м)X + (B - B_м)U + \varphi = \\ = A_м X + B_м U + B_м K_a \tilde{X} + B_м K_b U + B_м z. \tag{110}$$

Чтобы динамика объекта была равна эталонной, заданной матрицами A_M, B_M, необходимо сформировать такое управление U, чтобы сумма трех последних слагаемых (110) обращалась в нуль. С этой целью в управление, помимо задающего сигнала g, вводится т.н. компенсационный сигнал μ:

$$U = g + \mu. \tag{111}$$

Учитывая (111), перепишем (110) в виде:

$$\dot{X} = A_м X + B_м g + B_м \mu + B_м K_a \tilde{X} + B_м K_b U + B_м z. \tag{112}$$

Из (112) определяется μ, удовлетворяющий поставленной цели:

$$\mu = -K_a \tilde{X} - K_b U - \mu_c, \tag{113}$$

где μ_c – фильтрованная оценка сигнала z. Так как сигнальная настройка формируется по знаковому алгоритму, с целью исключения скользящего режима из управления объектом сигнал z фильтруется (осредняется) фильтром с малой постоянной времени τ. При этом чем меньше τ, тем точнее компенсация. Однако при этом ухудшается процесс адаптивной идентификации, так как в пределе при $\tau=0$ сигнал μ_c компенсирует сигнал z [2].

В АСНМ, как и в АСЭМ, может использоваться только параметрическая, только сигнальная, или комбинированная настройка адаптивного регулятора. Рекомендации по выбору типа настройки те же что и для АСЭМ. Однако, поскольку в АСНМ скользящий режим переносится в «слаботочные» цепи настраиваемой модели, ограничения на управляющий сигнал объекта уже не препятствуют использованию простой и эффективной сигнальной настройки. Поэтому наибольшее распространение получили именно АСНМ с сигнальной настройкой.

4.5.Идентификация объекта в адаптивных системах

Для построения алгоритмов адаптации в АСЭМ и АСНМ необходима информация обо всех координатах объекта. В реальных системах, как правило, не все координаты объекты доступны для измерения. Для восстановления вектора X в адаптивных системах применяются следующие решения:

1) дифференцирующие цепи;
2) стационарные наблюдатели;
3) адаптивные наблюдатели.

Дифференцирующие цепи применяются в «простейших» случаях, когда требуется оценка одной, максимум, двух переменных.

При использовании стационарных наблюдателей возникает проблема выбора его параметров, так как объект управления является в общем случае нелинейным и нестационарным.

Если объект управления характеризуется небольшим диапазоном изменения параметров, при построении наблюдателя применяются «усредненные» параметры объекта A_0, B_0, а матрица G рассчитывается таким образом, чтобы собственные числа матрицы $A_0 - GC$ имели отрицательные вещественные части, как можно большие по модулю. Это достигается выбором больших по модулю значений элементов матрицы G. В [2] показано, что использование «больших усилений» позволяет улучшить идентификационные свойства стационарного наблюдателя для нестационарного и нелинейного объекта.

Другой подход заключается в том, что при построении наблюдателя используются матрицы эталонного движения A_M, B_M. Для «правильного» функционирования наблюдателя в этом случае необходимо достижение цели адаптации и равенство поведений объекта и эталонной модели (только в этом случае наблюдатель может вырабатывать правильную оценку координат объекта). С другой стороны, для достижения цели адаптации алгоритмами формирования настроек уже нужно иметь точную оценку вектора состояния X. Указанное противоречие приводит к тому, что система с наблюдателем, настроенным на модель, оказывается устойчивой только в некотором диапазоне рассогласований (устойчивой в малом). Для обеспечения работоспособности системы необходимо выбором коэффициентов модели и стационарного наблюдателя обеспечить баланс между скоростями процессов адаптации и идентификации. Необходимые условия устойчивости в данном случае сформулированы следующим образом [3]: «быстрая адаптация» (соотношение между временем адаптации и управления $t_A = (0,2..0,3)t_У$) и частотный сдвиг наблюдателя относительно объекта на октаву вправо:

$$\min_j \operatorname{Re}\left(-\lambda_j\right) \ge 2 \max_i \operatorname{Re}\left(-\lambda_i\right), \tag{114}$$

где λ_i, λ_j – собственные числа матриц $A_м$ и $A - GC$.

На практике выполнение (114) можно обеспечить соответствующим выбором вектора G.

Адаптивные наблюдатели имеют структуру, аналогичную структуре настраиваемой модели (97). Отличие состоит в алгоритмах их настройки, которые в отличие от алгоритмов настройки НМ (107–109) требуют информацию только об измеряемых координатах объекта. Обычно адаптивные наблюдатели имеют только сигнальную настройку. Например, в [2,3] предлагается следующая структура:

$$\dot{\hat{X}} = (A_м - GC)\cdot \hat{X} + Gy + B_м g + z. \tag{115}$$

Сигнальная настройка наблюдателя z формируется, например, по следующему алгоритму [2]:

$$z = hP^{-1}C^т \operatorname{sign}\left(C\hat{e}\right), \tag{116}$$

где матрица P определяются так же, как и в алгоритмах (107–109).

В АСНМ такой наблюдатель может выполнять функцию настраиваемой модели.

4.6. Задание. Расчет и моделирование адаптивных систем управления

В заданиях, представленных ниже, в целях упрощения предполагается, что вектор состояния объекта так или иначе доступен для построения алгоритмов адаптации. Факультативно могут быть рассмотрены системы с восстановлением вектора X тем или иным способом. При этом матрица C объекта может быть принята той же, что получена в п.1.6, либо задана преподавателем.

4.6.1. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой адаптивного регулятора.

Рассматриваемая система описывается уравнениями:

$$\dot{X} = A_0 X + B_0 U + \left(A - A_0\right) X + \varphi, \ Y{=}X; \tag{117}$$

$$\dot{X}_м = A_м X_м + B_м g; \tag{118}$$

$$U = K_a X + K_b g; \tag{119}$$

$$
\begin{cases}
\dot{K}_a = B_м^T P e X^T R_a, \\
\dot{K}_b = B_м^T P e g R_b, \qquad e = X_м - X.
\end{cases}
\tag{120}
$$

Элементы системы:

Объект управления (117) в общем случае нестационарный и нелинейный (нестационарна только матрица A). A_0, B_0 – стационарные матрицы, значения которых принять равными определенным в п.1.6.

«Медленные» изменения параметров объекта, не сказывающиеся на его поведении в процессе регулирования, моделируются изменением коэффициентов матрицы A перед расчетом (имитацией). «Быстрые» изменения осуществляются в ходе имитации. Они могут происходить как непрерывно, так и скачкообразно.

Сигнальное рассогласование φ можно задать, например, в виде:

$$
\varphi = a(X)X + f = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ k_1 x_2 & 0 & 0 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k_2 \sin(\omega t) \end{bmatrix},
\tag{121}
$$

где k_1, k_2 будут определять влияние нелинейности и возмущения (последнее в данном случае задано в виде синусоидального сигнала небольшой частоты ω).

Модель описанного объекта в Simulink имеет вид (рис.13).

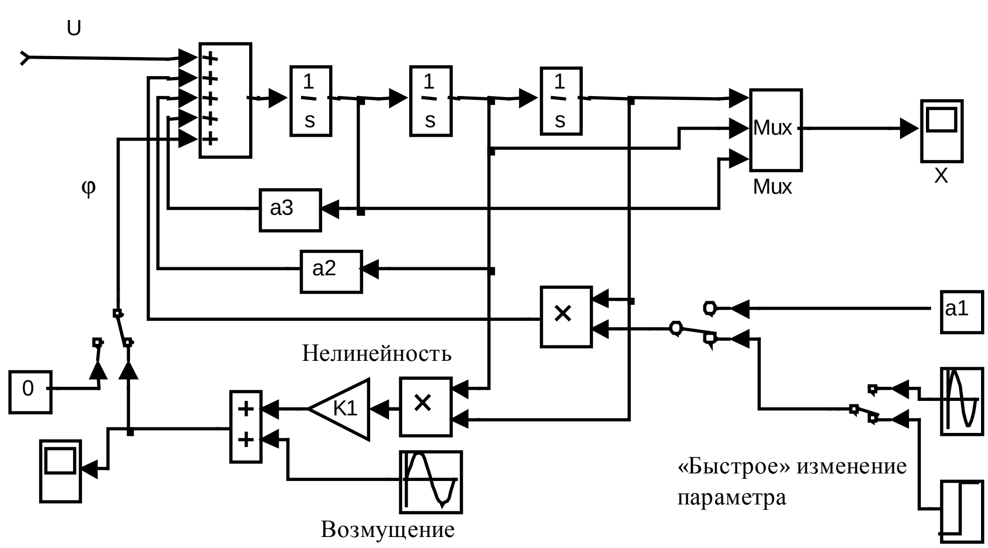


Рис. 13. Модель объекта в Simulink

Эталонная модель (118). Матрицы модели $A_М$, $B_М$ задаются, как и для объекта в каноническом виде, причем собственные числа матрицы $A_М$ распределены по Баттерворту с $\omega_0 = 1$ (см. п. 3.5). В Simulink эталонную модель можно представить в виде одного блока State–Space.

Адаптивный регулятор (119) в отличие от (83) имеет только параметрическую настройку.

Алгоритмы адаптации (120). Матрица P рассчитывается согласно (96) по матрицам A_M и Q (Q задается диагональной с положительными коэффициентами). Для расчета P можно воспользоваться библиотечной функцией lyap (Ляпунов) из пакета Control Matlab, вызвав ее следующим образом:

P = lyap(Am',Q).

Матрица R_a задается диагональной с положительными коэффициентами, R_b – в данном случае положительный коэффициент.

Задающий сигнал. В качестве задающего сигнала g(t) в модели будут использоваться ступенчатый и синусоидальный сигналы, а также сигнал «белый шум» (в Simulink – блок-источник Band-Limited White Noise).

Задание:

1. В Simulink построить модель адаптивной системы.
2. Провести исследование построенной модели по следующей схеме:

а) Отключить регулятор (K_a = (0 0 0), K_b=1).

Исследовать влияние «быстрых» параметрических рассогласований на «поведение» объекта, для чего смоделировать ситуацию изменения его параметров во время обработки ступенчатого входного воздействия g(t). В случае необходимости скорректировать модель так, чтобы это влияние было заметным.

Исследовать влияние нелинейности и возмущения на «поведение» объекта при ступенчатом входном воздействии g(t). В случае необходимости подобрать коэффициенты, чтобы это влияние было заметным.

б) Включить регулятор. Отключить сигнальные рассогласования (возмущение и нелинейности). Отключить «быстрые» изменения параметров объекта. Подать на вход системы сигнал белый шум. Изменяя R_a, R_b, добиться проявления идентифицирующих свойств параметрической настройки, т.е. выполнения (87, 88). Сделать выводы о влиянии коэффициентов R_a, R_b на качество процессов.

в) Исследовать процессы адаптации при отработке системой ступенчатого и синусоидального входных воздействий и начальных рассогласований (последние задавать изменением начальных условий интеграторов модели объекта).

г) Включить «быстрые» изменения параметров объекта. Исследовать процессы адаптации при непрерывном, например, синусоидальном и ступенчатом изменении параметров объекта.

д) Модифицировать алгоритмы адаптации, добавив в настройки пропорциональные составляющие:

$$\begin{cases} K_a(t) = L_a \cdot B_M^T P e X^T R_a + \int_0^t B_M^T P e X^T R_a dt, \\ K_b(t) = L_b \cdot B_M^T P e g R_b + \int_0^t B_M^T P e g R_b dt, \end{cases} \qquad (122)$$

где L_a, L_b – диагональная положительная матрица и положительный коэффициент пропорциональной части настроек.

Оценить эффективность введения ПИ–настройки последующим показателям:

скорость процесса адаптации;

диапазон изменения сигналов настроек и управления.

е) Включить сигнальные рассогласования (возмущение и нелинейность). Исследовать возможность подавления параметрической настройкой сигнальных рассогласований.

4.6.2. Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой адаптивного регулятора

$$\dot{X} = A_0 X + B_0 U + (A - A_0)X + \varphi, \ Y = X; \tag{123}$$

$$\dot{X}_м = A_м X_м + B_м g; \tag{124}$$

$$U = KX + g + z, \ K = \text{const}; \tag{125}$$

$$z = h \cdot \text{sign}(B_м^T Pe), \ e = X_м - X. \tag{126}$$

Элементы системы:

Объект управления (123) *и эталонная модель* (124) те же, что и в 4.6.1.

Адаптивный регулятор (125) в отличие от (83) имеет только сигнальную настройку. Вектор K рассчитывается как вектор обратных связей модального регулятора из условия:

$$B_0 K = A_0 - A_м. \tag{127}$$

Алгоритм адаптации (126). Матрица P рассчитывается так же, как в 4.6.1. Положительный коэффициент h подбирается в ходе моделирования. Для изучения сигнала z предусмотреть его фильтрацию фильтром первого порядка с постоянной времени 0,5 – 1 сек. При реализации фильтра в Simulink использовать блок Transfer Fcn.

Задающий сигнал. В качестве задающего сигнала g(t) в модели будут использоваться ступенчатый и синусоидальный сигналы.

Задание:

1. В Simulink построить модель адаптивной системы.

2. Провести исследование построенной модели по следующей схеме:

а) Отключить сигнальные рассогласования и «быстрые» изменения параметров объекта. Исследовать переходной процесс при отработке системой ступенчатого входного сигнала. Убедиться в нормальном функционировании модального регулятора (сигнал ошибки $e = X_м - X$ должен быть равен нулю).

б) Отключить сигнальную настройку. Изучить работу модального регулятора при изменении параметров объекта и сигнальных рассогласованиях.

в) Включить сигнальную настройку. Отключить «быстрые» изменения параметров объекта. Включить сигнальное рассогласование. Увеличивая h, добиться приемлемого качества процесса адаптации. При этом сигнал на выходе фильтра оценки z должен повторять по модулю сигнал сигнального рассогласования. В случае необходимости подобрать постоянную времени фильтра. При расчете пользоваться одним из методов численного интегрирования с постоянным шагом, – например, ode5. Сделать вывод о влиянии h на качество процесса.

г) Включить «быстрые» изменения параметров объекта. Изучить возможности сигнальной настройки по отработке «быстрых» параметрических рассогласований.

д) Включить в алгоритм сигнальной настройки зону нечувствительности и исследовать влияние ее величины на качество процессов адаптации при различных входных воздействиях. Зона нечувствительности моделируется блоком Simulink Dead Zone.

4.6.3. Моделирование адаптивной системы с настраиваемой моделью и параметрической настройкой адаптивного регулятора

Рассматриваемая система описывается уравнениями:

$$\dot{X} = A_0X + B_0U + (A - A_0)X + \varphi,\ Y=X; \tag{128}$$

$$\dot{\tilde{X}} = A_м\tilde{X} + \tilde{G}(Y - C\tilde{X}) + B_м\tilde{U}; \tag{129}$$

$$U = g + \mu; \tag{130}$$

$$\mu = -K_a\tilde{X} - K_bU; \tag{131}$$

$$\tilde{U} = U + K_a\tilde{X} + K_bU; \tag{132}$$

$$\begin{cases} \dot{K}_a = B_м^т Pe\tilde{X}^т R_a, \\ \dot{K}_b = B_м^т PeUR_b, \qquad e = X - \tilde{X}. \end{cases} \tag{133}$$

Элементы системы:

Объект управления (128) тот же, что и в 4.6.1.

Настраиваемая модель (129) задается матрицами A_M, B_M и $\tilde{G}$. Матрицы A_M, B_M определяют динамику неявно присутствующей в системе эталонной модели и задаются такими же, как в 4.6.1. Матрицу $\tilde{G}$ рассчитать такой, чтобы собственные числа матрицы $A_0 - \tilde{G}C$ были распределены биноминально с $\omega_0 = 2$.

Для нахождения матрицы $\tilde{G}$ можно воспользоваться библиотечной функцией acker из пакета Control Matlab, вызвав ее следующим образом:

G = (acker(Am',C',e))'.

(e –желаемый вектор собственных чисел матрицы $A_0 - \tilde{G}C$).

Адаптивный регулятор (130–132) в отличие от (98) имеет только параметрическую настройку и вырабатывает сигнал адаптации (132) настраиваемой модели и, одновременно, сигнал компенсации в управлении объектом (131).

Алгоритмы адаптации (133). Матрица P рассчитывается по уравнению Ляпунова (96) с заменой A_M на $A_M - \tilde{G}C$. Решение в Matlab:

P = lyap((Am–GC)’,Q) .

Задающий сигнал. В качестве задающего сигнала g(t) в модели будут использоваться ступенчатый и синусоидальный сигналы, а также сигнал «белый шум».

Задание:

1. В Simulink построить модель адаптивной системы.

2. Провести исследование построенной модели по следующей схеме:

а) Отключить сигнальные рассогласования (возмущение и нелинейности). Отключить «быстрые» изменения параметров объекта. Отключить компенсационный сигнал. Подать на вход системы сигнал «белый шум». Изменяя R_a, R_b, добиться проявления идентифицирующих свойств параметрической настройки, т.е. выполнения (104–105). Сделать выводы о влиянии коэффициентов R_a, R_b на качество процессов.

б) Включить компенсационный сигнал. Исследовать процессы идентификации и адаптации при отработке системой ступенчатого и синусоидального входных воздействий и начальных рассогласований (последние задавать изменением начальных условий интеграторов модели объекта). О качестве процесса идентификации можно судить по сигналу $\tilde{e} = X - \tilde{X}$, о качестве процесса компенсации – по сигналу $e = X_M - X$. Для получения сигнала X_M включить параллельно системе блок StateSpace, реализующий эталонное движение.

в) Включить «быстрые» изменения параметров объекта. Исследовать процессы адаптации при непрерывном, например, синусоидальном и ступенчатом изменении параметров объекта.

г) Аналогично 4.6.1 модифицировать алгоритмы адаптации, добавив в настройки пропорциональные составляющие, и оценить эффективность введения ПИ–настройки.

д) Включить сигнальные рассогласования (возмущение и нелинейность). Исследовать возможность подавления параметрической настройкой сигнальных рассогласований.

4.6.4. Моделирование адаптивной системы с настраиваемой моделью с сигнальной настройкой адаптивного регулятора

$$\dot{X} = A_0X + B_0U + (A - A_0)X + \varphi,\ Y=X; \qquad (134)$$

$$\dot{\tilde{X}} = A_M\tilde{X} + \tilde{G}\left(Y - C\tilde{X}\right) + B_M\tilde{U};\qquad(135)$$

$$U = g - KX - \mu_C;\qquad(136)$$

$$\tilde{U} = U + z;\qquad(137)$$

$$z = h \cdot \mathrm{sign}(B_M^T Pe),\ e = X - \tilde{X};\qquad(138)$$

$$T_\phi \frac{d\mu_c}{dt} + \mu_c = z.\qquad(139)$$

Элементы модели:

Объект управления (134) тот же, что и в 4.6.1.

Настраиваемая модель (135) та же, что и в 4.6.3.

Адаптивный регулятор (136, 137) в отличие от (98) имеет только сигнальную настройку и формирует управление $\tilde{U}$ настраиваемой моделью с помощью сигнала настройки z. Одновременно фильтрованная оценка этого сигнала μ_C используется как сигнал компенсации в управлении объектом. Кроме того, регулятор осуществляет модальное управление посредством обратных связей с коэффициентами, заданными в векторе K. Вектор K рассчитывается аналогично 4.6.2.

Алгоритм адаптации (138). Матрица P рассчитывается так же, как и в 4.6.2. Коэффициент h подбирается в ходе моделирования.

Задающий сигнал. В качестве задающего сигнала g(t) в модели будут использоваться ступенчатый и синусоидальный сигналы.

Задание:

1. В Simulink построить модель адаптивной системы.
2. Провести исследование построенной модели по следующей схеме:

а) Отключить сигнальные рассогласования и «быстрые» изменения параметров объекта. Исследовать переходной процесс при отработке системой ступенчатого входного сигнала. Убедиться в нормальном функционировании модального регулятора (сигнал ошибки $e = X_M - X$ должен быть равен нулю).

б) Отключить компенсационный сигнал. Изучить работу модального регулятора при изменении параметров объекта и сигнальных рассогласованиях.

в) Отключить «быстрые» изменение параметров объекта. Подать на вход системы синусоидальный сигнал. Изменяя h, добиться проявления приемлемого качества процесса адаптивной идентификации. Сделать выводы о влиянии коэффициента h на качество процесса.

г) Включить компенсационный сигнал. Изучить влияние постоянной времени фильтра $T_Ф$ на качество процессов идентификации и компенсации. Исследовать процессы адаптации при отработке системой ступенчатого и синусоидального входных воздействий и начальных рассогласований (последние задавать изменением начальных условий интеграторов модели объекта).

д) Включить «быстрые» изменение параметров объекта. Изучить возможности сигнальной настройки по отработке «быстрых» параметрических рассогласований.

е) Включить в алгоритм сигнальной настройки зону нечувствительности и исследовать влияние ее величины на качество процессов адаптации при различных входных воздействиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Башарин А.В., Постников Ю.В.* Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ. Учебное пособие для вузов. 3-е изд. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1990. 512 с.

2. *Борцов Ю.А. и др.* Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А. Борцов, Н.Д. Поляхов, В.В. Путов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1984. 216 с.

3. *Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г.* Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд., 1992. 288 с.

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Энергетический факультет

А.Н. Рыбалев

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

Благовещенск
2007

Содержание

Введение

Приведенные в пособии материалы используются для компьютерного тестирования знаний студентов специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» по дисциплине «Современные системы управления».

Вопросы для тестирования контроля знаний по дисциплине охватывают все темы, изучаемые студентами в данном курсе, и сгруппированы по разделам:

1. Модальные системы управления;
2. Адаптивные системы управления;
3. Системы фази-управления;
4. Нейронные сети.

Тестирование является составной частью процедуры промежуточного контроля знаний (в ходе изучения дисциплины), а также используется для контроля остаточных знаний (после окончания изучения дисциплины).

Входной контроль

Входной контроль по дисциплине предусматривает решение студентом трех задач по темам:

– построение модели линейной системы в пространстве состояний по ее передаточной функции;

– определение передаточной матрицы линейной системы по уравнениям в пространстве состояний;

– определение статических характеристик линейного объекта по уравнениям в пространстве состояний.

Пример:

1. Построить модель линейной системы в пространстве состояний по ее передаточной функции

$$W(p) = \frac{p+1}{2p^3 + 3p^2 + 4p + 6}.$$

2. Определить передаточную матрицу линейной системы по уравнениям в пространстве состояний

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + 2x_2 + u_1; \\ \dot{x}_2 = -4x_1 - x_2 + 0{,}5u_1 + u_2. \end{cases}$$

$$y_1 = 2x_1 + u_2;$$

$$y_2 = x_1 - x_2 + u_1.$$

3. Найти зависимости $y_1(u_1,u_2)$, $y_2(u_1,u_2)$, $x_1(u_1,u_2)$, $x_2(u_1,u_2)$ в статике для системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1 + 2x_2 + u_1; \\ \dot{x}_2 = -4x_1 - x_2 + 0{,}5u_1 + u_2. \end{cases}$$

$$y_1 = 2x_1 + u_2;$$

$$y_2 = x_1 - x_2 + u_1.$$

1. Раздел. Модальные системы управления

1. Моды – это

а) коэффициенты характеристического полинома;

б) собственные числа матрицы состояний;

в) переменные состояния;

г) коэффициенты числителей передаточной матрицы.

2. Матрица управляемости системы с одним входом имеет вид (A – матрица состояния, B – матрица входа, C – матрица выхода, n – порядок системы):

а) $[C^T \; AC^T \; A^2C^T \; \dots \; A^{n-1}C^T]$;

б) $[C^T \; A^TC^T \; (A^T)^2C^T \; \dots \; (A^T)^{n-1}C^T]$;

в) $[B \; A^TB \; (A^T)^2B \; \dots \; (A^T)^{n-1}B]$;

с) $[B \; AB \; A^2B \; \dots \; A^{n-1}B]$.

3. Матрица наблюдаемости системы имеет вид (A – матрица состояния, B – матрица входа, C – матрица выхода, n – порядок системы):

а) $[C^T \; AC^T \; A^2C^T \; \dots \; A^{n-1}C^T]$;

б) $[C^T \; A^TC^T \; (A^T)^2C^T \; \dots \; (A^T)^{n-1}C^T]$;

в) $[B \; A^TB \; (A^T)^2B \; \dots \; (A^T)^{n-1}B]$;

с) $[B \; AB \; A^2B \; \dots \; A^{n-1}B]$.

4. В каноническом базисе может быть представлена

а) любая линейная система;

б) только полностью управляемая линейная система;

в) только полностью наблюдаемая линейная система;

г) только устойчивая линейная система.

5. Матрица состояния объекта управления A = [0 1 0; 0 0 1; –2 –1 –2]. Чему должны быть равны коэффициенты модального регулятора u = g – KX, чтобы характеристический полином системы был равен $D(p) = p^3 + 3p^2 + 3p + 1$?

а) $k_1 = -1$, $k_2 = 2$, $k_3 = 1$;

б) $k_1 = 1$, $k_2 = -2$, $k_3 = -1$;

в) $k_1 = -2$, $k_2 = 1$, $k_3 = -1$;

г) $k_1 = -1$, $k_2 = 1$, $k_3 = -2$.

6. Для восстановления координат состояния линейного объекта $\dot{X} = AX + BU$, $Y = CX$ применяется стационарный наблюдатель полного порядка $\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + BU + G\left(Y - C\hat{X}\right)$. Для устойчивости процесса идентификации требуется гурвицевость матрицы

а) A – BG;

б) A–GB;

в) A – CG;

г) A–GC.

7. Система управления объектом $\dot{X} = AX + BU$, $Y = CX$ с модальным регулятором u = g – KX и стационарным наблюдателем полного порядка $\dot{\hat{X}} = A\hat{X} + BU + G\left(Y - C\hat{X}\right)$ имеет характеристический полином

а) $\det(pE - A + BK)$;

б) $\det(pE - A + GC)$;

в) $\det(pE - A + BK) + \det(pE - A + GC)$;

г) $\det(pE - A + BK) \times \det(pE - A + GC)$.

8. Для линейного объекта найден вектор обратных связей модального регулятора в каноническом базисе $\tilde{K}$. S – матрица преобразования координат объекта из реального базиса в канонический. Вектор обратных связей модального регулятора в реальном базисе K может быть найден как

а) $K = \tilde{K}S^{-1}$;

б) $K = \tilde{K}S$;

в) $K = S\tilde{K}$;

г) $K = S^{-1}\tilde{K}$.

9. Неполностью управляемая система стабилизируема, если

а) значения управляемых координат стремятся к нулю;

б) значения неуправляемых координат стремятся к нулю;

в) предельные (по времени) значения неуправляемых координат не равны бесконечности;

г) предельные (по времени) значения управляемых координат не равны бесконечности.

10. Неполностью наблюдаемая система обнаруживаема, если

а) значения наблюдаемых координат стремятся к нулю;

б) значения не наблюдаемых координат стремятся к нулю;

в) предельные (по времени) значения не наблюдаемых координат не равны бесконечности;

г) предельные (по времени) значения наблюдаемых координат не равны бесконечности.

11. Редуцированные наблюдатели это наблюдатели

а) восстанавливающие только часть вектора состояния объекта;

б) для объектов первого-второго порядка;

в) вектор состояний которых содержит не более двух компонентов.

г) коэффициенты передачи которых меньше единицы.

12. В модальной системе регулирования наблюдателем скорость процесса идентификации

а) должна быть больше скорости процесса управления;

б) должна быть меньше скорости процесса управления;

в) должна быть равна скорости процесса управления;

г) может выбираться произвольно, вне зависимости от скорости процесса управления.

13. Объект управления имеет порядок n. Система модального управления с наблюдателем полного порядка будет иметь порядок

а) n;

б) n+1;

в) 2n;

г) 3n.

14. Объект управления с полностью измеряемым вектором состояния имеет порядок n. Система модального управления будет иметь порядок

а) n;

б) n+1;

в) 2n;

г) 3n.

15. Передаточная функция объекта $W_o(p)=\dfrac{p+1}{p^2+p+1}$. Каким должен быть вектор коэффициентов обратных связей модального регулятора $u = g - KX$, чтобы динамика системы приближалась к динамике, заданной передаточной функцией $W_c(p)=\dfrac{1}{p+1}$?

а) $k_1 = 0$, $k_2 = -1$;

б) $k_1 = 0$, $k_2 = 1$;

в) $k_1 = 2$, $k_2 = 1$;

г) указанная цель недостижима, так как в результате получим неустойчивую систему.

16. Биноминальное распределение корней характеристического полинома системы модального управления принимается, если требуется

а) получить максимальную скорость процесса регулирования в неколебательной системе;

б) получить максимальную скорость процесса регулирования в колебательной системе;

в) построить регулятор с наименьшими по модулю коэффициентами передачи;

г) построить систему, скорость процесса управления в которой вдвое больше скорости реакции самого объекта.

17. Для системы $\dot{X}=AX+BU, Y=CX$ существует дуальная система с вектором состояний Z, вектором входа V и вектором выхода Q. Ее описание:

а) $\dot{Z}=AZ+CV, Q=BZ$;

б) $\dot{Z}=A^TZ+CV, Q=BZ$;

в) $\dot{Z}=A^TZ+C^TV, Q=BZ$;

г) $\dot{Z}=A^TZ+C^TV, Q=B^TZ$.

18. S_1 и S_2 – дуальные системы (объекты управления). Следовательно

а) условие полной управляемости объекта S_1 есть условие полной наблюдаемости объекта S_2;

б) условие полной наблюдаемости объекта S_1 есть условие полной управляемости объекта S_2;

в) расчет модального регулятора для объекта S_1 есть расчет наблюдателя полного порядка для объекта S_2;

г) расчет наблюдателя полного порядка для объекта S_1 есть расчет модального регулятора для объекта S_2.

19. Передаточная функция объекта $W_o(p) = \dfrac{p-1}{p^2+p+1}$. Каким должен быть вектор коэффициентов обратных связей модального регулятора u = g – KX, чтобы динамика системы приближалась к динамике, заданной передаточной функцией $W_c(p) = \dfrac{1}{p+1}$?

а) $k_1 = 0$, $k_2 = -1$;

б) $k_1 = 0$, $k_2 = 1$;

в) $k_1 = 2$, $k_2 = 1$;

г) указанная цель недостижима, так как в результате получим неустойчивую систему.

20. Отклонение поведения системы модального управления с наблюдателем от эталонного поведения связано

а) только с инерционностью объекта управления;

б) с инерционностями модального регулятора и объекта;

в) с инерционностями модального регулятора и наблюдателя;

г) только с инерционностью наблюдателя.

2. Раздел. Адаптивные системы

1. Самоорганизующимися системами автоматического управления называются системы,

а) автоматически определяющие структуру и параметры закона управления;

б) автоматически определяющие параметры закона управления заданной структуры;

в) автоматически определяющие требуемые значения управляющих воздействий;

г) автоматически определяющие значения переменных состояния объекта управления.

2. Самонастраиваемыми системами автоматического управления называются системы,

а) автоматически определяющие структуру и параметры закона управления;

б) автоматически определяющие параметры закона управления заданной структуры;

в) автоматически определяющие требуемые значения управляющих воздействий;

г) автоматически определяющие значения переменных состояния объекта управления.

3. Поисковая самонастраиваемая система управления минимизирует некоторый функционал J. Движение в пространстве состояний системы X осуществляется в направлении

а) градиента $\partial J / \partial X$;

б) антиградиента $-\partial J / \partial X$;

в) перпендикулярном градиенту $\partial J / \partial X$;

г) совпадающем с линией равного уровня J(X) = const.

4. Системы прямого адаптивного управления имеют своем составе

а) настраиваемую модель и адаптивный регулятор;

б) эталонную модель и адаптивный регулятор;

в) настраиваемую либо эталонную модель и адаптивный регулятор.

5. Системы непрямого адаптивного управления имеют своем составе

а) настраиваемую модель и адаптивный регулятор;

б) эталонную модель и адаптивный регулятор;

в) настраиваемую либо эталонную модель и адаптивный регулятор.

6. Условия согласованности объекта и модели определяют

а) устойчивость адаптивной системы;

б) скорость процесса идентификации;

в) скорость процесса адаптации;

г) возможность компенсации параметрических и сигнальных рассогласований.

7. Прямой метод Ляпунова, применяемый при синтезе адаптивных систем, дает

а) необходимые условия устойчивости системы;

б) достаточные условия устойчивости системы;

в) необходимые и достаточные условия устойчивости системы;

г) необходимые, но в большинстве случаев и достаточные условия устойчивости системы.

8. Квадратичная форма $x^T Hx$ положительно определена, если симметричная матрица H

а) составлена из положительных элементов;

б) имеет положительные элементы в главной диагонали;

в) имеет положительные вещественные собственные числа;

г) диагональна.

9. Производная по времени квадратичной формы $F(x) = x^T Hx$ равна

а) $2x^T Hx$;

б) $2x^T H$;

в) $2x^T H\, dx/dt$;

г) $2dx/dt\, H$.

10. Эквивалентное описание адаптивной системы, применяемое для ее синтеза с помощью прямого метода Ляпунова, есть описание динамики

а) объекта управления;

б) в совокупности объекта управления и модели;

в) в совокупности объекта управления, модели и адаптивного регулятора;

г) рассогласования между объектом управления и моделью.

11. Идентифицирующие свойства настроек адаптивного регулятора позволяют судить

а) о выполнении цели управления;

б) о выполнении цели адаптации;

в) о параметрических и сигнальных возмущениях, действующих на объект;

г) о задающем сигнале.

12. Идентифицирующие свойства настроек адаптивного регулятора проявляются

а) всегда при выполнении цели управления;

б) всегда при выполнении цели адаптации;

в) при выполнении цели адаптации и постоянном задающем сигнале;

г) при выполнении цели управления и частотно-богатом задающем сигнале.

13. Преимуществами сигнальной настройки адаптивного регулятора перед параметрической являются

а) простота реализации вычислительного алгоритма;

б) простота реализации управляющего воздействия;

в) более высокое быстродействие;

г) возможность подавления рассогласований, изменяющихся в широких пределах.

14. Преимуществами параметрической настройки адаптивного регулятора перед сигнальной являются

а) простота реализации вычислительного алгоритма;

б) простота реализации управляющего воздействия;

в) более высокое быстродействие;

г) возможность подавления рассогласований, изменяющихся в широких пределах.

15. Критерий гиперустойчивости, применяемый при синтезе адаптивных систем, дает

а) необходимые условия устойчивости системы;

б) достаточные условия устойчивости системы;

в) необходимые и достаточные условия устойчивости системы;

г) необходимые, но в большинстве случаев и достаточные условия устойчивости системы.

16. При применении критерия гиперустойчивости определение структуры алгоритмов адаптивного регулятора осуществляется

а) в ходе нахождения эквивалентного описания системы;

б) в ходе разрешения интегрального неравенства Попова;

в) в ходе разрешения проблемы положительности ВЧХ линейной части системы;

г) в ходе имитационного моделирования адаптивной системы.

17. При применении критерия гиперустойчивости определение вектора обобщенного выхода линейной стационарной части системы осуществляется

а) в ходе нахождения эквивалентного описания системы;

б) в ходе разрешения интегрального неравенства Попова;

в) в ходе разрешения проблемы положительности ВЧХ линейной части системы;

г) в ходе имитационного моделирования адаптивной системы.

18. При применении критерия гиперустойчивости определение числовых значений параметров алгоритмов адаптивного регулятора осуществляется

а) в ходе нахождения эквивалентного описания системы;

б) в ходе разрешения интегрального неравенства Попова;

в) в ходе разрешения проблемы положительности ВЧХ линейной части системы;

г) в ходе имитационного моделирования адаптивной системы.

19. Один из методов обеспечения положительности ВЧХ линейной части адаптивной системы при применении критерия гиперустойчивости состоит в том, чтобы

а) выбором вектора обобщенного выхода обеспечить чередование корней числителя и знаменателя передаточной функции линейной части;

б) выбором структуры алгоритмов адаптации придать линейной части нужные свойства в ходе синтеза системы;

в) выбором параметров алгоритмов адаптации придать линейной части нужные свойства в ходе имитационного моделирования системы;

г) выбором числовых значений матриц эталонной модели на этапе определения требований к системе.

20. Преимуществом систем непрямого адаптивного управления (с настраиваемой моделью) перед системами с явной эталонной моделью является

а) простота технической реализации настройки;

б) большая скорость процесса адаптации;

в) больший диапазон параметрических рассогласований, компенсируемых системой;

г) простота расчета.

3. Раздел. Системы фази-управления

1. Следующее утверждение справедливо:

а) нечеткие множества – частный случай четких множеств;

б) четкие множества – частный случай нечетких множеств;

в) четкие множества никак не связаны с нечеткими множествами;

г) для каждого нечеткого множества можно найти эквивалентное четкое множество.

2. Возможно ли проверить адекватность и корректность функции принадлежности средствами теории нечетких множеств?

а) возможно;

б) возможно, но только в некоторых случаях;

в) невозможно.

3. Нечеткое множество A с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ содержится в нечетком множестве B с функцией принадлежности $\mu_B(x)$, если

а) $\mu_A(x) \geq \mu_B(x)$;

б) $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$;

в) $\mu_A(x) = \mu_B(x)$;

г) $\mu_A(x) + \mu_B(x) = 1$.

4. Пересечение нечетких множеств A и B есть нечеткое множество C с функцией принадлежности

а) $\mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;

б) $\mu_C(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;

в) $\mu_C(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$;

г) $\mu_C(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x)$.

5. Объединение нечетких множеств A и B есть нечеткое множество C с функцией принадлежности

а) $\mu_C(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;

б) $\mu_C(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;

в) $\mu_C(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$;

г) $\mu_C(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x)$.

6. Ядром нечеткого множества A называется четкое множество, состоящее из всех элементов x универсального множества U, для которых

а) $\mu_A(x) = 1$;

б) $0 \le \mu_A(x) \le 1$;

в) $0{,}5 \le \mu_A(x) \le 1$;

г) $0{,}75 \le \mu_A(x) \le 1$.

7. Результатом операции концентрации («очень») над нечетким множеством A с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ является нечеткое множество B с функцией принадлежности

а) $\mu_B(x) = (\mu_A(x))^2$;

б) $\mu_B(x) = \sqrt{\mu_A(x)}$;

в) $\mu_B(x) = 1/\mu_A(x)$;

г) $\mu_B(x) = 1 - \mu_A(x)$.

8. Результатом операции размывания («не очень») над нечетким множеством A с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ является нечеткое множество B с функцией принадлежности

а) $\mu_B(x) = (\mu_A(x))^2$;

б) $\mu_B(x) = \sqrt{\mu_A(x)}$;

в) $\mu_B(x) = 1/\mu_A(x)$;

г) $\mu_B(x) = 1 - \mu_A(x)$.

9. Результатом операции дополнения («не») над нечетким множеством A с функцией принадлежности $\mu_A(x)$ является нечеткое множество B с функцией принадлежности

а) $\mu_B(x) = (\mu_A(x))^2$;

б) $\mu_B(x) = \sqrt{\mu_A(x)}$;

в) $\mu_B(x) = 1/\mu_A(x)$;

г) $\mu_B(x) = 1 - \mu_A(x)$.

10. R_1 – нечеткое отношение между множествами X и Y ($X \rightarrow Y$) с функцией принадлежности $\mu_1(x,y)$. R_2 – нечеткое отношение между множествами Y и Z ($Y \rightarrow Z$) с функцией принадлежности $\mu_2(y,z)$. Нечеткое отношение между множествами X и Z описывается функцией принадлежности

а) $\mu(x,z) = \mathrm{sum}(\mathrm{prod}(\mu_1(x,y), \mu_2(y,z)))$;

б) $\mu(x,z) = \max(\min(\mu_1(x,y), \mu_2(y,z)))$;

в) $\mu(x,z) = \mathrm{prod}(\mathrm{sum}(\mu_1(x,y), \mu_2(y,z)))$;

г) $\mu(x,z) = \min(\max(\mu_1(x,y), \mu_2(y,z)))$;

д) $\mu(x,z) = \max(\mathrm{prod}(\mu_1(x,y), \mu_2(y,z)))$.

11. Продолжите нечеткий силлогизм: «Огурцы в большинстве своем зеленые, …

а) этот предмет, скорее всего, огурец. Следовательно, этот предмет, наверное, зеленый»;

б) этот предмет, похоже, зеленый. Следовательно, этот предмет, наверное, огурец»;

в) и чаще всего не превышают в длину 24 см. Следовательно, зеленые предметы короче 24 см. в большинстве своем – огурцы.

12. Нечеткий вывод может быть сделан с использованием операции

а) пересечения нечетких отношений;

б) объединения нечетких отношений;

в) декартова произведения нечетких отношений;

г) свертки нечетких отношений.

13. Правильная последовательность действий при реализации нечеткого алгоритма регулирования следующая:

а) фазификация – логический вывод – композиция – дефазификация;

б) фазификация – композиция – логический вывод –дефазификация;

в) дефазификация – логический вывод – композиция – фазификация;

г) дефазификация – композиция – логический вывод – фазификация.

14. Этап реализации нечеткого алгоритма регулирования, на котором функции принадлежности, определенные на входной переменной применяются к ее фактическому значению для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила, называется

а) фазификация;

б) дефазификация;

в) логический вывод;

г) композиция.

15. Этап реализации нечеткого алгоритма регулирования, на котором вычисленные значения степени истинности предпосылок каждого правила применяются к заключениям каждого правила, называется

а) фазификация;

б) дефазификация;

в) логический вывод;

г) композиция.

16. Этап реализации нечеткого алгоритма регулирования, на котором нечеткие множества для каждого правила объединяются вместе для формирования единого нечеткого множества вывода, называется

а) фазификация;

б) дефазификация;

в) логический вывод;

г) композиция.

17. Этап реализации нечеткого алгоритма регулирования, нечеткое множество вывода преобразуется в числовое значение, называется

а) фазификация;

б) дефазификация;

в) логический вывод;

г) композиция.

18. Фази-алгоритм Сугэно для систем с несколькими входами отличается от алгоритма Мамдани

а) методом фазификации;

б) видом заключений правил;

в) видом процедуры композиции;

г) видом процедуры дефазификации.

19. Нечеткий ПИД-регулятор – нечеткий логический контроллер, имееющий
а) один четкий вход и один четкий выход;
б) один четкий вход и три четких выхода;
в) три четких входа и три четких выхода;
г) три четких входа и один четкий выход.

20. Укажите правильную последовательность «размещения» по числовой оси лингвистических термов для сигналов ошибки регулирования и управляющего воздействия:
а) NB – NS – NM – ZE – PB – PS – PM;
б) NB – PB – NM – PM – NS – PS – ZE;
в) NB – PM – NS – ZE – PS – NM – PB;
г) NB – NM – NS – ZE – PS – PM – PB.

4. Раздел. Нейронные сети

1. Идея нейрокомпьютеров базируется на концепции
а) детерминизма;
б) коннекционизма;
в) объективизма;
г) субъективизма.

2. Биологический нейрон имеет
а) один дендрит и один аксон;
б) множество дендритов и один аксон;
в) один дендрит и множество аксонов;
г) множество дендритов и множество аксонов.

3. Синапсы искусственного нейрона это
а) его входы;

б) весовые коэффициенты его входов;

в) коэффициенты нелинейного преобразователя;

г) его выходы.

4. В гомогенной нейронной сети все нейроны имеют

а) одинаковые функции активации;

б) одинаковые веса синапсов;

в) одинаковое число входов;

г) одинаковые функции активации, веса синапсов и число входов.

5. Обучение нейронной сети состоит в

а) выбору функции активации;

б) настройке параметров функции активации;

в) настройке весовых коэффициентов нейронов;

г) выбору топологии сети.

6. Обучение нейронной сети есть

а) алгебраическая задача большой размерности;

б) оптимизационная задача большой размерности;

в) решение системы большого количества дифференциальных уравнений.

7. Тестовая выборка используется для определения

а) ошибки обучения;

б) ошибки обобщения;

в) как ошибки обучения, так и ошибки обобщения.

8. «Переобучение» нейронной сети – это

а) нормальный процесс повторного обучения сети для решения новых задач;

б) отрицательный эффект «слишком» тщательного обучения;

в) эффект самопроизвольного перехода сети в новое состояние.

9. В алгоритме обратного распространения ошибки, используемом при обучении нейронной сети, на каждой итерации применяется

а) метод координатного спуска;

б) метод наискорейшего спуска;

в) симплекс-метод;

г) метод Монте-Карло.

10. Алгоритм обратного распространения ошибки используется при обучении

а) многослойных сетей с прямыми связями;

б) многослойных сетей с перекрестными связями;

в) многослойных сетей с обратными связями;

г) однослойных ортогональных сетей.

11. Генетический алгоритм оптимизации является

а) методом регулярного поиска экстремума;

б) методом случайного поиска экстремума;

в) методом регулярного или случайного поиска экстремума в зависимости от реализации алгоритма;

г) методом, сочетающим как регулярный, так и случайный поиск.

12. Последовательность операций по формированию очередной популяции в генетическом алгоритме имеет вид:

а) селекция – скрещивание – мутация – отбор;

б) скрещивание – селекция – мутация – отбор;

в) мутация – селекция – скрещивание – отбор;

г) скрещивание – мутация – селекция – отбор.

13. В персептронах используется функция активации

а) пороговая;

б) сигнатурная;

в) сигмоидальная;

г) линейная с насыщением.

14. Однослойный персептрон с одним нейроном не способен реализовать логическую функцию

а) ИЛИ;

б) И;

в) ИЛИ-НЕ;

г) И–НЕ;

д) исключающее ИЛИ.

15. Преимуществом сетей встречного распространения перед сетями с сетями с обратным распространением ошибки является

а) существенно меньшее время обучения;

б) возможность строить точные аппроксимации;

в) сильная теоретическая проработка модификаций;

г) простота построения.

16. В сеть встречного распространения входит слой (сеть)

а) Кохонена;

б) Гроссберга;

в) Хонфилда;

г) Хэмминга.

17. К сетям с обратными связями относится сеть (слой)

а) Кохонена;

б) Гроссберга;

в) Хонфилда;

г) Хэмминга.

18. По правилу «победитель получает все» функционирует сеть (слой)

а) Кохонена;

б) Гроссберга;

в) Хонфилда;

г) Хэмминга.

19. В сети Хопфилда

а) два слоя, причем число нейронов первого слоя совпадает с числом входов;

б) один слой, число нейронов которого равно числу входов;

в) два слоя, первый из которых – слой Кохонена, второй – слой Гроссберга;

г) два слоя, первый из которых – слой Гроссберга, второй – слой Кохонена.

20. Номер образца, к которому наиболее близок входной вектор нейронной сети, выдает сеть (слой)

а) Кохонена;

б) Гроссберга;

в) Хонфилда;

г) Хэмминга.

Методические рекомендации к проведению лабораторных занятий

Практические занятия проводятся по всем темам курса. Тематика занятий приведена в таблице:

№	Тема занятий	Продолж.
1	Моделирование линейной системы в пространстве состояний. Преобразование моделей.	2
2	Определение управляемости и наблюдаемости объекта управления. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта.	2
3	Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.	4
4	Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора.	4
5	Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой регулятора.	4

Лабораторные работы выполняются с использованием пособия:

Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум. Учебное пособие/ Благовещенск, Амурский гос. ун-т, 2002. – 40 с.

Пособие входит в состав УМКД. В содержатся краткие теоретические сведения по темам работ и задания. В качестве исходных данных выступают передаточные функции третьего порядка объектов управления, заданные преподавателем индивидуально для каждого студента.

Работы выполняются на персональных компьютерах. Программное обеспечение: математический пакет Matlab 6.0, включающий подсистемы Control Toolbox и Simulink.

Выполнение работы непосредственно контролируется преподавателем: студент демонстрирует на экране ПК блок-схемы моделей и динамические характеристики систем управления.

Кроме того, по результатам выполнения работ составляются отчеты включающие:

1) исходные данные;
2) задание на лабораторную работу;

3) результаты предварительных расчетов;
4) блок-схемы Simulink-моделей;
5) результаты моделирования в виде графиков (динамических характеристик систем).

Отчеты защищаются студентом в индивидуальном порядке. Защита предусматривает опрос студента по теоретическим сведениям, необходимым для выполнения работы.

Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Современные системы управления»

Самостоятельная работа студентов по дисциплине предусматривает:

– подготовку к лабораторным работам и составление отчетов по ним – 32 часа.

– самостоятельное изучение ряда теоретических и практических вопросов (20 час.):

3.1 Поисковые адаптивные системы – 2 час.

3.2 Системы экстремального регулирования – 2 час.

3.3 Пакет прикладных программ Control Toolbox – 2 час.

3.4 Система имитационного моделирования Simulink – 4 час.

3.5 Операции над нечеткими отношениями – 2 час.

3.6 Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox. – 4 час.

3.7 Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox – 4 час.

Формы контроля самостоятельной работы: зачет, тестирование (контрольные точки).

График выполнения самостоятельной работы приведен в таблице:

Номер недели	Самостоятельная работа студентов		Используемое учебное пособие	Формы контроля
	содержание	час.		
1	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование линейной системы в пространстве состояний. Преобразование моделей.»	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
2	1) Подготовка отчета по лабораторной работе «Моделирование линейной системы в пространстве состояний. Преобразование моделей.» 2) Система имитационного моделирования Simulink	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
3	1) Подготовка к лабораторной работе «Определение управляемости и наблюдаемости объекта управления. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта»	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет

Номер недели	Самостоятельная работа студентов		Используемое учебное пособие	Формы контроля
	содержание	час.		
	2) Система имитационного моделирования Simulink	2		
4	1) Подготовка отчета по лабораторной работе «Определение управляемости и наблюдаемости объекта управления. Построение дифференцирующих цепей для восстановления координат объекта»	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
5	1) Подготовка к лабораторной работе «Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.» 2) Поисковые адаптивные системы	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
6	1) Подготовка к лабораторной работе «Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.» 2) Системы экстремального регулирования	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
7	1) Подготовка к лабораторной работе «Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
8	1) Подготовка отчета по лабораторной работе «Построение и моделирование модальной системы со стационарным наблюдателем.»	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №1, проверка лабораторных работ, зачет
9	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора» 2) Операции над нечеткими отношениями	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ, зачет
10	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора» 2) Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ, зачет
11	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора». 2) Пакет прикладных программ Fuzzy Logic Toolbox	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ, зачет
12	1) Подготовка отчета по лабораторной работе«Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора».	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Контрольная точка и тестирование №2, проверка лабораторных работ, зачет
13	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления.	Проверка лабораторных работ, зачет

Номер недели	Самостоятельная работа студентов		Используемое учебное пособие	Формы контроля
	содержание	час.		
	сигнальной настройкой регулятора». 2) Перспептроны и их обучение	 2	Лабораторный практикум.	
14	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и сигнальной настройкой регулятора». 2) Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Проверка лабораторных работ, зачет
15	1) Подготовка к лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора» 2) Пакет прикладных программ Neural Network Toolbox	2 2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Проверка лабораторных работ, зачет
16	1) Подготовка отчета по лабораторной работе «Моделирование адаптивной системы с эталонной моделью и параметрической настройкой регулятора»	2	Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум.	Проверка лабораторных работ, зачет

При самостоятельном изучении теоретических разделов курса рекомендуется использовать следующую литературу:

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.3: Методы современной теории автоматического управления/ Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 748 с., ил.

2. Ричард Дорф. Современные системы управления/Р. Дорф, Р. Бишоп: Пер. с англ. Б.И. Копылова – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002 – 832 с.

3. В.А. Лукас. Теория управления техническими системами: Компактный учеб. курс – 3-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во Уральского горно-геологической академии, 2002. – 320 с.

4. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.: ил.

5. Рыбалев А.Н. Системы автоматического управления. Лабораторный практикум. Учебное пособие/ Благовещенск, Амурский гос. ун-т, 2002. – 40 с.

Перечень программных продуктов, используемых при изучении дисциплины

1. MathSoft Matlab 6.0 – для выполнения расчетов и моделирования в рамках выполнения лабораторных работ;
2. Microsoft Office – для оформления отчетов по лабораторным работам.