

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение по образованию
в области информатики и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

_____ И.А. Старовойтова

21.11.2019

Регистрационный № ТД-1.1521/тип.

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Типовая учебная программа по учебной дисциплине
для специальности:**

**1-53 01 07 «Информационные технологии и управление
в технических системах»**

СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления электроники и
приборостроения, электротехнической,
оптико-механической и
станкоинструментальной
промышленности
Министерства промышленности
Республики Беларусь

_____ А.С. Турцевич

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по образованию в
области информатики и
радиоэлектроники

_____ В.А. Богуш

СОГЛАСОВАНО

Начальник Главного управления
профессионального образования
Министерства образования
Республики Беларусь

_____ С.А. Касперович

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

_____ И.В. Титович

Эксперт-нормоконтролер

Минск 2019

СОСТАВИТЕЛЬ:

М. К. Хаджинов, доцент кафедры систем управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра автоматизации технологических процессов учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (протокол № 7 от 03.03.2018);

А. Г. Стрижнев, ведущий научный сотрудник СКБ-7 НПООО «ОКБ ТСП», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой систем управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 7 от 12.11.2018);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 3 от 21.12.2018);

Научно-методическим советом по автоматизации Учебно-методического объединения по образованию в области информатики и радиоэлектроники (протокол № 9 от 19.11.2018).

Ответственный за выпуск: С.С. Шишпаронок
(И.О.Фамилия)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» разработана для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования первой ступени и типового учебного плана вышеуказанной специальности.

Актуальность изучения учебной дисциплины связана с общемировой практикой перехода проектирования систем автоматического управления на компьютерные технологии как более быстрые и высоконадёжные.

Дисциплина предусматривает сжатое изложение разделов, содержащих общие сведения компьютерного проектирования в среде Matlab (Matrix Laboratory), и более подробное изложение методик проектирования сложных регуляторов, проверке их работоспособности компьютерным моделированием и представления результатов в удобной форме для программирования регуляторов в микроконтроллерах.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РОЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: подготовка специалиста, обладающего достаточными знаниями в сфере компьютерных технологий проектирования систем автоматического управления, а также умениями выбора определённых технологий и практическими навыками компьютерного проектирования систем управления.

Задачи учебной дисциплины:

– обучение студентов методикам расчётов систем управления в пространстве состояний;

– формирование у студентов навыков проектирования систем автоматического управления с помощью пакетов прикладных программ и интерактивной оценки результатов проектирования.

Базовыми учебными дисциплинами по учебной дисциплине «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» являются: «Физика», «Математика», «Элементы и устройства систем управления», «Математические основы теории систем» (учебная дисциплина компонента УВО), «Информационное обеспечение систем управления» (учебная дисциплина компонента УВО), «Теория автоматического управления». В свою очередь учебная дисциплина «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» является базой для таких учебных дисциплин, как «Локальные системы автоматизации» (учебная дисциплина компонента УВО).

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» формируются следующие компетенции:

академические:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- уметь работать самостоятельно;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- обладать навыками устной и письменной коммуникации;
- уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни;
- владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации с использованием компьютерной техники;
- быть способным генерировать новые идеи (обладать креативностью);
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности;

социально-личностные:

- обладать способностью к межличностным коммуникациям;
- быть способным к критике и самокритике;
- уметь работать в команде;
- обладать качествами гражданственности;

профессиональные:

- разрабатывать алгоритмическое обеспечение для систем автоматического управления технологическими процессами и подвижными объектами;
- организовывать работу малых коллективов исполнителей для достижения поставленных целей;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- анализировать и оценивать собранные данные;
- пользоваться глобальными информационными ресурсами;
- владеть современными средствами инфокоммуникаций;
- выполнять автоматизированное проектирование систем управления.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- принципы построения алгоритмов оценивания и управления;
- программные средства реализации компьютерных технологий для проектирования алгоритмов оценивания и управления;

уметь:

- выбирать и использовать компьютерные технологии для различных задач проектирования автоматических систем;
- оценивать результаты применения компьютерных технологий;

владеть:

- навыками использования пакетов прикладных программ, предназначенных для исследования динамики систем управления технологическими процессами и подвижными объектами;
- инструментальными средствами пакетов для синтеза регуляторов.

Типовая учебная программа по учебной дисциплине «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» рассчитана на 90 учебных часов, из них 48 часов – аудиторные. Примерное распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 32 часа, лабораторные занятия – 16 часов.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Наименование раздела, темы	Количество аудиторных часов		
	Всего	Лекции	Лабораторные занятия
Введение	2	2	-
Раздел 1. Модели объектов управления	12	8	4
Тема 1. Создание моделей	4	2	2
Тема 2. Управляемость и наблюдаемость	2	2	-
Тема 3. Канонические формы моделей	2	2	-
Тема 4. Программные средства исследования моделей	4	2	2
Раздел 2. Алгоритмы управления	14	8	6
Тема 5. Устойчивость и коррекция систем управления	8	4	4
Тема 6. Модальное управление	4	2	2
Тема 7. Оптимальное по квадратичному критерию управление	2	2	-
Раздел 3. Алгоритмы оценивания и наблюдатели	16	10	6
Тема 8. Наблюдатели и алгоритмы оценивания	2	2	-
Тема 9. Наблюдатели Люенбергера	4	2	2
Тема 10. Редуцированный наблюдатель	4	2	2
Тема 11. Фильтр Калмана	4	2	2
Тема 12. Оценивание с экстраполяцией	2	2	-
Раздел 4. Отказоустойчивые системы управления и высоконадёжные вычисления	4	4	-
Тема 13. Построение отказоустойчивых систем управления	2	2	-
Тема 14. Вычислительные проблемы при расчёте систем управления	2	2	-
Итого:	48	32	16

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ВВЕДЕНИЕ

Программные средства для расчетов систем управления. Среда Matlab, её структура и составные части. Набор пакетов прикладных программ и интерактивная моделирующая система. Запуск Matlab, вычисления в командной строке. Открытие и сохранение m-файлов. Матрица как базовый элемент данных. Ввод матриц. Арифметические операции над матрицами и массивами. Представление полиномов. Вычисление корней.

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

ТЕМА 1. СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ

Цели моделирования. Иерархический подход. Выделение объекта из окружающей среды. Представление объекта как функционального преобразователя. Физические и эмпирические модели. Запись уравнений состояния. Формы представлений математических моделей систем управления. Класс линейных моделей с постоянными параметрами. Формирование моделей подклассов *tf*, *zpk* и *ss*. Дискретные LTI-объекты. Преобразование из непрерывной формы в дискретную форму и обратно. Извлечение числовых параметров LTI-моделей. Функции различных соединений моделей. Выделение и модификация подсистем, изменение числа входов и выходов.

Операторы и функции анализа моделей автоматических систем. Средства графического интерфейса пользователя для анализа линейных систем.

Связь модели в пространстве состояний с передаточной матрицей. Дискретная модель непрерывного объекта. Модели внешних воздействий. Эквивалентные преобразования линейных моделей.

ТЕМА 2. УПРАВЛЯЕМОСТЬ И НАБЛЮДАЕМОСТЬ

Редукция модели. Понятие полной управляемости по состоянию. Критерий полной управляемости. Понятие полной наблюдаемости и восстанавливаемости. Критерий полной наблюдаемости. Дуальность свойств управляемости и наблюдаемости. Управляемость и наблюдаемость дискретной модели. Структурные показатели управляемости и наблюдаемости, их физический смысл. Вычисление индексов управляемости и наблюдаемости. Объекты с равномерной управляемостью и наблюдаемостью.

ТЕМА 3. КАНОНИЧЕСКИЕ ФОРМЫ МОДЕЛЕЙ

Понятие канонических форм и способы их характеристики. Классификация канонических форм односвязных систем. Фробениусовы канонические формы, связь между ними. Переход к строчной управляемой канонической форме. Классификация форм Люенбергера.

Модальные канонические формы. Диагонализация модели. Канонические формы Шура и Хессенберга. Особенности их использования при расчетах систем управления. Балансирование и упрощение моделей.

ТЕМА 4. ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ

Сценарии и функции. Оформление функций. Управление выполнением программ. Организация циклов. Организация диалога с пользователем. Графические окна. Создание графиков. Добавление кривых на существующий график. Разметка кривых. Подокна. Подписи к осям и заголовки. Управление цветом и маркёрами.

РАЗДЕЛ 2. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ТЕМА 5. УСТОЙЧИВОСТЬ И КОРРЕКЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Устойчивость и коррекция систем управления. Вычисление запасов устойчивости одномерных систем. Формирование критериев качества при расчете параметров систем управления. Различие последовательной коррекции и коррекции в обратной связи. Алгоритм вычисления последовательной коррекции. Проблема устойчивости коррекции в обратной связи. Алгоритм вычисления коррекции в обратной связи. Коррекция автоматических систем в виде ПИ-регулятора (пропорционально-интегральный регулятор) и гибкой обратной связи. Алгоритм вычисления гибкой обратной связи и её последовательной коррекции. Пересчёт общей гибкой обратной связи в местную обратную связь. Обеспечение физической реализуемости гибкой обратной связи.

Микропроцессорная реализация коррекции. Выбор периода дискретизации и методов экстраполяции. Использование канонических форм для упрощения алгоритма.

ТЕМА 6. МОДАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Общая постановка задачи модального управления. Расчет регуляторов при полноразмерном измерении вектора состояния и скалярном управлении. Выбор стандартных форм уравнений. Критерии выбора. Нормированное уравнение. Типовые варианты нормированных уравнений. Использование метода стандартных коэффициентов в модальном управлении. Функции размещения полюсов. Задача размещения полюсов для объектов, имеющих нули. Пересчёт модального регулятора в прямую цепь.

ТЕМА 7. ОПТИМАЛЬНОЕ ПО КВАДРАТИЧНОМУ КРИТЕРИЮ УПРАВЛЕНИЕ

Постановка задачи оптимального управления линейным объектом по квадратичному критерию качества при Гауссовых случайных воздействиях и измерительных шумах (задача ЛКГ). Взаимная сопряженность задач проектирования оптимального регулятора и оптимального фильтра. Использование общих программ проектирования. Реализация задачи ЛКГ в динамическом компенсаторе.

РАЗДЕЛ 3. АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ И НАБЛЮДАТЕЛИ

ТЕМА 8. НАБЛЮДАТЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Основное назначение. Реализация свойства наблюдаемости в наблюдателе и алгоритме оценивания в реальном времени. Возможность применения в системах управления при аппаратной и программной реализациях. Возможность объединения с помощью наблюдателя набора датчиков в единую систему. Различия между наблюдателями Люенбергера и фильтром Калмана.

ТЕМА 9. НАБЛЮДАТЕЛИ ЛЮЕНБЕРГЕРА

Постановка задачи наблюдателя Люенбергера. Его структура, схема подключения к наблюдаемому объекту. Основные расчетные соотношения. Классификация наблюдателей Люенбергера.

Полноразмерный наблюдатель. Его расчет и особенности использования функций размещения полюсов. Рекомендации по выбору параметров. Динамические свойства системы «объект – наблюдатель – регулятор». Фильтрующие свойства полноразмерного наблюдателя. Автономность расчётов наблюдателя и регулятора. Рекомендации по выбору динамических свойств регулятора и наблюдателя. Проектирование наблюдателя с встроенным регулятором.

ТЕМА 10. РЕДУЦИРОВАННЫЙ НАБЛЮДАТЕЛЬ

Достоинства и недостатки. Структура включения редуцированного наблюдателя в систему управления. Способ синтеза редуцированного наблюдателя. Структура и расчетные соотношения. Использование при расчёте функций размещения полюсов. Наблюдатель минимального порядка. Его структура, особенности применения и расчёта.

Оценивание не измеряемых входных сигналов. Построение наблюдателей для части объекта. Наблюдатель и компенсатор момента нагрузки электродвигателя.

ТЕМА 11. ФИЛЬТР КАЛМАНА

Постановка задачи. Структура фильтра. Уравнение Рикатти. Составные части ошибок оценивания. Уравнения замкнутой системы управления с фильтром Калмана. Принцип разделения в построении оптимальной системы управления. Фильтр Калмана – Бьюси. Различие настроек фильтра в переходном и установившемся режимах. Проектирование фильтра Калмана в среде Matlab.

ТЕМА 12. ОЦЕНИВАНИЕ С ЭКСТРАПОЛЯЦИЕЙ

Оценивание по дискретным данным с экстраполяцией. Постановка задачи. Ограничения теоремы Котельникова. Уравнения и структура дискретно-непрерывного фильтра. Уравнение прогноза и уравнение коррекции.

Характер изменения ошибок оценивания. Оценивание по дискретным и непрерывным измерениям. Уравнения и структура фильтра.

Оценивание состояния нелинейного объекта. Исследование наблюдаемости нелинейного объекта. Неприменимость принципа разделения. Различие задач фильтрации и сглаживания.

Алгоритмы линейной фильтрации для нелинейного объекта. Применение адаптивных фильтров. Адаптивный фильтр с поисковой градиентной настройкой. Увеличение скорости настройки за счет применения ортогональных поисковых сигналов.

РАЗДЕЛ 4. ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

ТЕМА 13. ПОСТРОЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Виды отказов в системах управления. Традиционный подход к построению отказоустойчивых систем управления. Принцип перераспределения качества управления.

Особенности настроек фильтра Калмана при возможности сбоев в ЭВМ.

Алгоритм оценивания при дискретных изменениях характеристик канала измерения. Алгоритм дискретной фильтрации при наличии отказов в канале измерения.

ТЕМА 14. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАСЧЁТЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Основные причины вычислительных проблем. Различие математик ЭВМ и человека. Проблема правильного округления. Обусловленность задачи и численная устойчивость алгоритма. Функции вычисления числа обусловленности и оценки обусловленности. Повышение обусловленности путём выбора вида модели объекта и её масштабирования. Способы масштабирования координат и времени.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

1. Медведев, В. С. Control System Toolbox. MATLAB 5 для студентов / В. С. Медведев, В. Г. Потёмкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. – 287 с.
2. Автоматизированное проектирование систем управления / М. Джамшиди [и др.]; под ред. М. Джамшиди. – М.: Машиностроение, 1989. – 344 с.
3. Рей, У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей. – М.: Мир, 1983. – 368 с.
4. Кузовков, Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1975. – 184 с.
5. Потёмкин, В. Г. Система инженерных и научных расчётов MATLAB 5.X. В 2 т. / В. Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1999. – 366 с.
6. Андриевский, Б. Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б. Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1999. – 466 с.
7. Гришин, Ю. П. Динамические системы, устойчивые к отказам / Ю.П. Гришин, Ю. М. Казаринов. – М.: Радио и связь, 1985. – 176 с.
8. Интеллектуальные системы автоматического управления / под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.
9. Мирошник, И. В. Теория автоматического управления: учебное пособие. В 2 ч. Ч.1 / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.
10. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

11. Хаджинов, М. К. Автоматизированное проектирование систем управления на ПЭВМ: метод. пособие к лаб. работам / М. К. Хаджинов, А. С. Леошин. – Минск: БГУИР, 1998.
12. Антипова, М. А. Автоматизированный расчёт систем управления: метод. пособие к лаб. работам / М. А. Антипова, М. К. Хаджинов. – Минск: БГУИР, 2004.
13. Хаджинов, М. К. Алгоритмы управления сложными системами: метод. пособие к практич. занятиям / М. К. Хаджинов, Е. П. Кукареко. – Минск: БГУИР, 1994.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- работа над текстами лекций;
- выполнение индивидуальных заданий;

– подготовка к лабораторным занятиям.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовым учебным планом по специальности 1-53 01 07 «Информационные технологии и управление в технических системах» в качестве формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления» рекомендуется зачет.

Оценка учебных достижений студента производится по системе «зачтено / не зачтено».

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов могут использоваться следующие формы:

- контрольные опросы;
- письменные отчеты по домашним практическим упражнениям;
- электронные тренажёры для среды Matlab 6 и Matlab 7.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕТОДЫ (ТЕХНОЛОГИИ) ОБУЧЕНИЯ

Основные рекомендуемые технологии обучения, отвечающие целям и задачам учебной дисциплины:

- элементы проблемного изложения материала, частично-поисковый метод, реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на лабораторных занятиях;
- организация самостоятельной работы студентов.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Программные средства составления и исследования моделей объектов управления. Средства отображения характеристик систем. Оформление функций.
2. Алгоритмы вычисления последовательной коррекции и коррекции в обратной связи. Проблема устойчивости коррекции в обратной связи.
3. Алгоритм вычисления гибкой обратной связи и её последовательной коррекции. Обеспечение физической реализуемости коррекции.
4. Микропроцессорная реализация коррекции. Выбор периода дискретизации и методов экстраполяции. Использование канонических форм для упрощения алгоритма.
5. Проектирование модального регулятора. Функции размещения полюсов. Пересчёт модального регулятора в прямую цепь.
6. Проектирование наблюдателей и алгоритмов оценивания.
7. Оценивание неизмеряемых возмущений и их компенсация системой управления.
8. Проектирование фильтра Калмана. Постановка и решение задачи ЛКГ.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

1. Лицензионный пакет компьютерных программ Matlab 6 или Matlab 7.
2. Набор электронных тренажёров для среды Matlab 6 и Matlab 7.