

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА  
ВЕЛИКОГО

---

Институт компьютерных наук и кибербезопасности  
Высшая школа компьютерных технологий и информационных систем

С. А. Нестеров

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

(Методические указания к лабораторным и курсовой работам)

Санкт-Петербург  
2024



УДК 681.51.01

*С.А. Нестеров. Компьютерные системы управления* : Учебное пособие (Методические указания к лабораторным и курсовой работам). Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2024. – 20 с.

Методические указания разработаны для студентов, изучающих дисциплину «Компьютерные системы управления» в рамках направления 09.04.01. «Информатика и вычислительная техника» по магистерской программе 09.04.01\_20 «Разработка компьютерных систем».

Лабораторные работы предназначены для закрепления знаний, полученных при изучении теоретических основ соответствующего курса, умения применить их для различных структурно-функциональных организаций КСУ и закрепления навыков при разработке и исследованию существующих вариантов построения компьютерных систем управления многосвязными объектами. Курсовая работа строится как обобщение результатов, полученных при исследовании различных вариантов КСУ, сравнении их, анализе и рекомендациям по наиболее рациональному построении таких систем для технических объектов многосвязного типа.

© Нестеров С. А., 2024

© Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Лабораторная работа №1. Изучение и исследование свойств и характеристик многосвязного объекта. ....	7
2. Лабораторная работа №2. Расчет и моделирование многоцелевого управления статикой динамического многосвязного объекта. ....	8
3. Лабораторная работа №3. Синтез и исследование системы децентрализованного управления многосвязным объектом. ....	9
4. Лабораторная работа №4. Синтез и исследование системы сепарабельного управления многосвязным объектом. ....	11
5. Лабораторная работа №5. Синтез и исследование системы централизованного управления многосвязным объектом. ....	12
6. Лабораторная работа №6. Синтез и исследование иерархической системы управления многосвязным объектом с координацией по принципу согласования взаимодействий путем модификации целей. ....	13
7. Лабораторная работа №7. Синтез и исследование иерархической системы управления многосвязным объектом с координацией по принципу прогнозирования взаимодействий путем модификации образов. ....	14
8. Лабораторная работа №8. Синтез и исследование иерархической системы управления многосвязным объектом с координацией в динамической форме. ....	15
9. Курсовая работа (проект).....	16
Список использованных источников.....	18

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум разработан для закрепления теоретических знаний, полученных из лекционного курса, путем выполнения лабораторных работ (расчетных заданий) и курсового проекта для студентов, изучающих дисциплину «Компьютерные системы управления» в рамках направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» по магистерской программе 09.04.01\_20 «Разработка компьютерных систем».

Настоящие методические указания составлены в соответствии с требованиями собственных образовательных стандартов Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Лабораторные работы (расчетные задания) и курсовая работа (проект) выполняются студентами фронтально (одновременно) по индивидуальным заданиям. Такой подход позволяет совместить самостоятельное выполнение с возможностью группового обмена полученными результатами для более глубокого осознания процессов, анализа экспериментов и формирования выводов и заключения. Данный лабораторный практикум предполагает использование предварительных аналитических расчетов свойств и характеристик изучаемого объекта для определения направления и объема экспериментов, проводимых путем компьютерного моделирования с применением программных сред (например Matlab и Simulink).

Основное внимание уделяется изучению статических и динамических процессов в системах управления многосвязными объектами (много входов много выходов), которые могут быть представлены локальными подсистемами и межсистемными взаимосвязями. Для учебных целей используются варианты описания подсистем непрерывными динамическими моделями 1-2 порядка со статическими сетевыми связями из 2-3 подсистем.

К планируемым результатам лабораторного практикума следует отнести:

- понимание роли и проблем построения различных конфигураций и структур систем управления многосвязными объектами (МСО);
- знание основных принципов управления МСО, методов построения и расчета управляющих устройств (УУ) для достижения заданных целей

управления (ЦУ) с обеспечением наилучших (требуемых) показателей качества.;

- умения и навыки формализации процессов и цифрового моделирования поведения таких систем и структур для построения решающих органов (РО);

- умения и навыки экспериментального исследования, анализа и проектирования одноуровневых и иерархических систем управления многосвязными объектами.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Изучение свойств и характеристик многосвязного объекта

#### 1. Программа работы

- 1.1. По заданному математическому описанию МСО составить структурную схему с выделением подсистем и межсистемных связей. Вычислить передаточную матрицу для МСО.
- 1.2. По характеристическому полиному определить корни и для заданного вида процессов с помощью корневого годографа выбрать значение изменяемого параметра межсистемных связей.
- 1.3. Составить структурную схему МСО с индивидуальными параметрами.
- 1.4. Разработать компьютерную программу для цифрового моделирования переходных процессов для заданных входных воздействий.
- 1.5. Определить основные свойства и характеристики конкретного МСО.
- 1.6. По проведенному анализу написать выводы и заключение.

#### 2. Содержание отчета

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Структурная схема МСО.
- 2.3. Расчетная часть с анализом свойств МСО, выбором параметра межсистемных связей и формированием индивидуального объекта.
- 2.4. Схема программы для цифрового моделирования процессов с использованием известных программных средств (например Matlab , Simulink ).
- 2.5. Результаты моделирования для заданных режимов.
- 2.6. Анализ полученных свойств и характеристик и сравнение с теоретическими расчетами.
- 2.7. Выводы и заключение.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **Расчет и моделирование многоцелевого управления статикой динамического многосвязного объекта (МСО)**

#### ***1. Программа работы***

- 1.1. По заданному математическому описанию динамического МСО составить модель статики и его структурное представление.
- 1.2. Рассчитать управляющие воздействия статикой МСО для бесконфликтного и компромиссного ( с заданным вариантом ) случаев.
- 1.3. Проверить их работу на динамической модели.
- 1.4. Сформулировать замещающие задачи при синтезе управлений локальными решающими органами.
- 1.5. По полученным результатам составить выводы и заключение.

#### ***2. Содержание отчета***

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Расчетная часть для бесконфликтного и компромиссного случаев с приведением структурной модели статики МСО.
- 2.3. Результаты моделирования на статической и динамической моделях.
- 2.4. Анализ полученных при моделировании результатов и сравнение их с расчетными.
- 2.5. Выводы и заключение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Синтез и исследование системы децентрализованного управления многосвязным объектом (МСО)

#### *1. Программа работы*

- 1.1. Для заданных уставок и управляющих устройств (УУ) в прямой связи (РО) составить структурную схему системы децентрализованного управления (ДЦУ).
- 1.2. Рассчитать варианты применения пропорционального (П-), интегрального (И-) и изодромного (ПИ-) УУ в прямой связи системы ДЦУ с улучшением качества переходных процессов (быстродействия и колебательности) в 3–5 раз. Для контроля показателя качества применить метод корневого годографа.
- 1.3. Промоделировать рассчитанные варианты с помощью соответствующих программных средств с обязательной фиксацией процессов изменения управляющих сигналов и выходных переменных.
- 1.4. Обеспечить необходимую коррекцию для достижения нулевой статической ошибки. Применить модификации УУ для уменьшения выбросов управляющих сигналов.
- 1.5. Проверить изменение качества процессов при компьютерной реализации УУ с использованием фиксатора нулевого порядка с различными периодами дискретизации.
- 1.6. По полученным результатам составить выводы и заключение.

#### *2. Содержание отчета*

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Расчетная часть для различных вариантов УУ в прямой связи системы ДЦУ с составлением структурных схем. Вычисление необходимой для нулевой статической ошибки коррекции и

проверка модификаций для уменьшения выбросов управляющих сигналов.

- 2.3. Схемы программ для моделирования процессов при различных вариантах УУ.
- 2.4. Результаты моделирования для непрерывных вариантов реализации систем ДЦУ, а также с использованием фиксатора (экстраполятора) нулевого порядка для управляющих сигналов.
- 2.5. Анализ полученных теоретических выкладок и экспериментальных результатов.
- 2.6. Выводы и заключение.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**  
**Синтез и исследование системы сепарабельного управления**  
**многосвязным объектом (МСО)**

***1. Программа работы***

- 1.1. Применить принцип “развязывания взаимодействий за счет связывания” для автономного функционирования подсистем МСО.
- 1.2. Рассчитать различные варианты УУ для получения требуемого качества переходных процессов.
- 1.3. Построить структурные схемы систем сепарабельного управления (СпрУ) для отработки заданных уставок.
- 1.4. Смоделировать работу всех вариантов систем СпрУ в непрерывном случае и с фиксатором нулевого порядка.
- 1.5. Проанализировать полученные результаты и сравнить с результатами, полученными в лабораторной работе № 3.
- 1.6. Сформулировать выводы и заключение.

***2. Содержание отчета***

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Расчетная часть по применению принципа “развязывания взаимодействий за счет связывания” для различных вариантов построения УУ.
- 2.3. Структурные схемы систем СпрУ и схемы программ для их моделирования.
- 2.4. Результаты моделирования с фиксацией экспериментальных данных.
- 2.6. Сравнение результатов работы систем СпрУ с системами ДЦУ.
- 2.7. Выводы и заключение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Синтез и исследование системы централизованного управления многосвязным объектом (МСО)

#### *1. Программа работы*

- 1.1. Для заданного математического описания МСО применить способы построения “типового промышленного” управления с улучшением качества переходных процессов в 3-5 раз (по корневым показателям) и оптимального управления с использованием интегрального квадратичного критерия.
- 1.2. Рассчитать варианты построения УУ для достижения заданного качества переходных процессов. Для расчета оптимального управления использовать алгебраическое уравнение Риккати.
- 1.3. Построить структурную схему системы централизованного управления и схему программы для её моделирования как непрерывном случае так и с фиксатором нулевого порядка.
- 1.4. Сравнить результаты моделирования в данной работе с результатами, полученными в работах № 3 и 4.
- 1.5. Проанализировать работу различных структур одноуровневого управления.
- 1.6. Сформулировать выводы и заключение

#### *2. Содержание отчета*

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Расчетная часть по применению корневых показателей качества и интегрального квадратичного критерия с использованием алгебраического уравнения Риккати.
- 2.3. Структурная схема и схемы программы моделирования процессов в непрерывном времени и с фиксатором нулевого порядка.
- 2.4. Результаты моделирования переходных процессов.
- 2.5. Анализ и сравнение работы различных структур управления.
- 2.6. Выводы и заключение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

### Синтез и исследование иерархической системы управления (ИСУ) многосвязным объектом (МСО) с координацией по принципу согласования взаимодействий путем модификации целей

#### *1. Программа работы*

- 1.1. Изложить идею построения ИСУ МСО с координацией по принципу согласования взаимодействий путем модификации целей.
- 1.2. Построить двухуровневую ИСУ для заданного МСО с определением координирующей информацией с учетом использования для оптимизации динамики локальных регуляторов.
- 1.3. Рассчитать аналитически требуемые для заданных ЦУ и ЦФ значения всех переменных оптимального режима.
- 1.4. Разработать схему программы для цифрового моделирования работы двухуровневой ИСУ заданного МСО.
- 1.5. Исследовать динамические процессы в синтезированной ИСУ с обязательной фиксацией переменных состояния, управления и межсистемных связей.
- 1.6. Проанализировать результаты экспериментов.
- 1.7. Сформулировать выводы и заключение.

#### *2. Содержание отчета*

- 2.1. Задание на лабораторную работу.
- 2.2. Изложение идеи построения ИСУ МСО с координацией по принципу согласования взаимодействий путем модификации целей.
- 2.3. Схема двухуровневой ИСУ для заданного МСО с использованием ранее разработанных локальных регуляторов.
- 2.4. Аналитический расчет для заданных ЦУ и ЦФ всех переменных оптимального режима.
- 2.5. Схема программы моделирования процессов в ИСУ МСО.
- 2.6. Результаты моделирования с фиксацией основных параметров и характеристик динамических процессов.
- 2.8. Выводы и заключение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### **Синтез и исследование иерархической системы управления (ИСУ) многосвязным объектом (МСО) с координацией по принципу прогнозирования взаимодействий путем модификации образов**

#### ***1. Программа работы***

- 1.1. Изложить идею построения ИСУ МСО с координацией по принципу прогнозирования взаимодействий путем модификации образов (ограничений).
- 1.2. Построить двухуровневую ИСУ для заданного МСО с определением координирующих сигналов с учетом использования для оптимизации динамики синтезированных ранее локальных регуляторов для подсистем.
- 1.3. Рассчитать аналитически требуемые для заданных ЦУ и ЦФ значения всех переменных оптимального режима.
- 1.4. Разработать схему программы для цифрового моделирования работы двухуровневой ИСУ заданного МСО.
- 1.5. Исследовать динамические процессы в синтезированной ИСУ с фиксацией переменных состояния, управления и межсистемных связей.
- 1.6. Проанализировать результаты экспериментов.
- 1.7. Сформулировать выводы и заключение.

#### ***2. Содержание отчета***

- 2.1. Задание и программа лабораторной работы.
- 2.2. Изложение идеи построения двухуровневой ИСУ МСО с координацией по принципу прогнозирования взаимодействий путем модификации образов (ограничений).
- 2.3. Схема двухуровневой ИСУ для заданного МСО с использованием ранее синтезированных локальных регуляторов.
- 2.4. Аналитический расчет для заданных ЦУ и ЦФ всех установившихся значений переменных оптимального режима.
- 2.5. Схема программы моделирования процессов в ИСУ МСО.
- 2.6. Результаты моделирования с фиксацией основных параметров и характеристик динамических процессов.
- 2.7. Выводы и заключение.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### Синтез и исследование иерархической системы управления (ИСУ) многосвязного объекта (МСО) в динамической форме

#### **1. Программа работы**

- 1.1. Изложить идею процедуры координации в динамических системах (режимах).
- 1.2. Построить двухуровневую ИСУ для заданного МСО с координацией локальных подсистем в динамической форме.
- 1.3. Рассчитать аналитически структуры и параметры оптимальных регуляторов локальных подсистем и координатора с определением информации, передаваемой между уровнями.
- 1.4. Разработать схему программы для цифрового моделирования динамических процессов в двухуровневой ИСУ заданным МСО.
- 1.5. Исследовать процессы в синтезированной системе при различных значениях весовых коэффициентов интегрального квадратичного функционала качества.
- 1.6. Проанализировать полученные результаты.
- 1.7. Сформулировать выводы и заключение.

#### **2. Содержание отчета**

- 2.1. Задание и программа лабораторной работы.
- 2.2. Изложение идеи построения двухуровневой ИСУ МСО с координацией в динамической форме.
- 2.3. Схема двухуровневой ИСУ для заданного МСО при координации в динамической форме.
- 2.4. Расчет параметров оптимальных регуляторов локальных решающих органов (УУ) и координатора для различных значений весовых коэффициентов интегрального квадратичного функционала качества процессов.
- 2.5. Схема программы для моделирования динамических процессов в двухуровневой ИСУ заданным МСО.
- 2.7. Результаты моделирования с фиксацией основных параметров и характеристик.
- 2.8. Выводы и заключение.

## КУРСОВАЯ РАБОТА (ПРОЕКТ)

### Исследование различных структурно-функциональных организаций двухуровневого управления многосвязным динамическим объектом

#### *1. Программа работы*

- 1.1. Для заданного динамического МСО с изученными в лаб. раб. №1 свойствами и характеристиками описать возможные структурно- функциональные организации управления.
- 1.2. Проанализировать различные варианты улучшения динамических свойств МСО с помощью локальных решающих органов, изученных в лаб. раб. № 3, 4 и 5.
- 1.3. Сформировать скорректированный локальными управлениями МСО для необходимой координации в соответствии с заданной глобальной целевой функцией.
- 1.4. Аналитически исследовать возможность достижения рассчитанных в лаб. раб. № 2 значений переменных состояния и взаимосвязи различными принципами ( согласования и прогнозирования взаимодействий) путями модификации целей и образов.
- 1.5. Представить структуры двухуровневого управления динамическим МСО в соответствии с заданными вариантами, исследованными в лаб. раб. № 6 и 7.
- 1.6. Представить схемы программ для цифрового моделирования заданных вариантов из лаб. раб. № 6 и 7.
- 1.7. Сравнить качества достигнутые в каждом из заданных вариантов с учетом вычислительных и временных затрат на их реализацию.
- 1.8. Описать области приоритетного применения различных структур управления динамическим МСО.
- 1.9. Составить выводы и заключение.
- 1.10. При необходимости публичная защита курсовой работы (проекта).

## ***2. Содержание пояснительной записки к курсовой работе (проекту)***

- 2.1. Задание и программа курсовой работы (проекта).
- 2.2. Описание и схема заданного динамического МСО с анализом его свойств и характеристик.
- 2.3. Анализ различных вариантов улучшения динамических свойств МСО с помощью локальных решающих органов с демонстрацией полученных наилучших результатов.
- 2.4. Описание и схема сформированного с учетом локальных регуляторов МСО.
- 2.4. Расчётная часть по определению переменных состояния при различных принципах взаимосвязей и путях модификации.
- 2.5. Структуры и схемы программ моделирования различных вариантов двухуровневого управления динамического МСО.
- 2.6. Результаты моделирования переходных процессов и сравнение их для заданных вариантов построения систем управления МСО.
- 2.8. Описание областей приоритетного применения для исследованных вариантов управления динамическим МСО.
- 2.9. Выводы и заключение.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Остром К., Виттенберг Б. Системы управления с ЭВМ . - М. : Мир, 1987. - 480 с.
2. Дроздов Н.М., Мирошник И.В., Скорубский В.И. Системы автоматического управления с микро – ЭВМ. – Л. : Машиностроение, 1989. - 280 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических систем. – М. : Мир, 1973. – 342с.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с. с.
5. Компьютерные системы управления техническими объектами. / С.А.Нестеров, А.Г.Новопашенный, Р.П.Строганов. Учебное пособие. Изд. 4-е переработанное и дополненное. – С-Пб., 2021. – [https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr\\_21-23.pdf/fo](https://elib.spbstu.ru/dl/5/tr/2021/tr_21-23.pdf/fo).
6. Строганов Р.П., Ярмийчук В.Д. Исследование компьютерных систем управления : Пособие к лабораторным работам / под ред. Л.И. Бабко. – С-Пб.: СПбГПУ, 2006. – 134 с. – <http://elib.spbstu.ru/dl/2014.pdf>.
7. Дроздовский А. А., Калугина М.О. Нестеров С.А. Оптимизация статики в иерархических системах управления многосвязными динамическими системами. // Материалы V Международной научно – практической конференции молодых ученых : « Прикладная математика и информатика : Современные исследования в области естественных и технических наук » 22 – 24 апреля 2019. – Тольяти : Издатель Качалин А.В., 2019. – с. 378 – 382.
8. Никитин А.Е., Нестеров С.А. Теория иерархического управления для систем в реальном масштабе времени. // Материалы VI Международной научно – практической конференции молодых ученых : «Прикладная математика и информатика : Современные исследования в области естественных и технических наук » 23 – 25 апреля 2020. – Сборник трудов / отв. за вып. В.Ф. Глазкова – Тольяти : Изд. ТГУ , 2020 – 1 опт. Диск – с. 87 – 91.

9. Кузина М.А., Нестеров С.А. Синтез управления для многосвязных динамических объектов в реальном масштабе времени. // Материалы X Международной научно – практической конференции молодых ученых : « Прикладная математика и информатика : Современные исследования в области естественных и технических наук » 23 – 25 апреля 2024.. – Сборник трудов - Тольяти : Изд. ТГУ , 2024.- с. 80 – 85.

Нестеров Сергей Александрович

## **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Учебное пособие

( Методические указания к лабораторным и курсовой работам )

Санкт – Петербургский политехнический университет  
Петра Великова

---

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16 .

Усл. печ. л. 1,3 Тираж . Заказ .

---

195251, Санкт – Петербург, Политехническая ул., 29 .

Тел.: (812) 552 – 77 – 17 ; 550 – 40 – 14