

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

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

(Методические указания к лабораторным работам)

Санкт-Петербург
2026

С.А. Нестеров. Основы теории управления : Учебное пособие (Методические указания к лабораторным работам). Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2026. – 16 с.

Методические указания разработаны для студентов, изучающих дисциплину «Основы теории управления» в рамках направления 09.03.01. «Информатика и вычислительная техника» по бакалаврской программе.

Лабораторные работы предназначены для закрепления знаний, полученных при изучении теоретических основ соответствующего курса, умения применить их для различных структурно-функциональных организаций СУ и закрепления навыков при разработке и исследовании существующих вариантов построения систем управления объектами. Цикл работ строится как последовательное изучение заданного ОУ, исследование различных вариантов СУ, сравнении их, анализе и рекомендациям по наиболее рациональному построению таких систем для технических объектов.

© Нестеров С. А., 2026

© Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Лабораторная работа №1. Изучение свойств объекта управления (ОУ) по математическому описанию «вход-выход»	5
2. Лабораторная работа №2. Изучение свойств ОУ в форме «вход – состояние - выход»	6
3. Лабораторная работа №3. Преобразования математических описаний ОУ в формах «вход – состояние – выход»	7
4. Лабораторная работа №4. Частотный синтез СУ по заданным требованиям.	8
5. Лабораторная работа №5. Синтез модального управления	9
6. Лабораторная работа №6. Синтез линейного оптимального управления	11
7. Лабораторная работа №7. Изучение свойств СУ с наблюдателем состояния	13
8. Лабораторная работа №8. Исследование влияния дискретизации управления на свойства СУ	14
9. Лабораторная работа №9. Изучение влияния нелинейностей в УУ на свойства СУ	15
Список используемых источников.....	16

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум разработан для закрепления теоретических знаний, полученных из лекционного курса, путем выполнения лабораторных работ (расчетных заданий) для студентов, изучающих дисциплину «Основы теории управления» в рамках направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» по бакалаврской программе .

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) 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 техническими объектами. Для учебных целей используются варианты описания объектов непрерывными динамическими моделями 2-4 порядка с различными свойствами и характеристиками.

К планируемым результатам лабораторного практикума следует отнести:

- понимание роли и проблем построения различных конфигураций и структур систем управления техническими объектами;
- знание основных принципов управления, методов построения и расчета управляющих устройств (УУ) для достижения заданных целей управления с обеспечением наилучших (требуемых) показателей качества;
- умения и навыки формализации процессов и цифрового моделирования поведения таких систем и структур для построения управления;
- умения и навыки экспериментального исследования, анализа и проектирования систем управления объектами.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
Изучение свойств объекта управления (ОУ)
по математическому описанию «вход-выход»

1. Программа работы

- 1.1. По заданному дифференциальному уравнению ОУ составить операторное описание вход-выход и передаточную функцию с расчетом корней полиномов числителя и знаменателя, временные зависимости свободного и вынужденного режимов, частотные передаточные функции в обычном и логарифмическом масштабах.
- 1.2. Построить структурную схему с детализацией до интеграторов с обозначением всех сигналов и переменных.
- 1.3. Вывести аналитически временные и частотные функции и построить соответствующие кривые (временные графики, годограф АФЧХ – диаграмму Найквиста, логарифмические АЧХ и ФЧХ – диаграмму Боде с обозначением характерных точек..
- 1.4. Разработать схему для компьютерного моделирования временных процессов с использованием Matlab и Simulink, получить процессы и сравнить с рассчитанными аналитически.
- 1.5. Получить с помощью Matlab и Simulink диаграммы Найквиста и Боде и сравнить с выведенными ранее аналитически.
- 1.6. По проведенному исследованию дать анализ результатов и написать выводы (заключение).

2. Содержание отчета

- 2.1. Задание на лабораторную работу (цели и задачи, параметры ОУ).
- 2.2. Структурная схема ОУ. Аналитические расчеты и полученные кривые.
- 2.3. Схема цифрового моделирования изучаемых процессов с использованием программных средств.
- 2.4. Результаты расчетов и моделирования.
- 2.5. Анализ теоретических и экспериментальных результатов для заданных режимов, их сравнение.
- 2.6. Выводы и заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Изучение свойств ОУ в форме «вход – состояние - выход»

1. Программа работы

- 1.1. Для заданного объекта составить нормальную и каноническую формы математического описания ОУ с его параметрами и режимами, рассчитать передаточную функцию и сравнить с полученной в Лаб. раб. № 1.
- 1.2. Построить структурные схемы ОУ в обеих формах, отражающие связь входного воздействия, внутренних переменных и выходного сигнала.
- 1.3. Рассчитать и построить переходные процессы всех координат ОУ для собственных и вынужденных режимов и сравнить с результатами в Лаб. раб. № 1.
- 1.4. Построить схемы компьютерного моделирования переходных процессов для нормальной и канонической форм.
- 1.5. Получить переходные процессы внутренних переменных состояния и выходной переменной ОУ для нормальной и канонической форм с использованием Matlab и Simulink.
- 1.6. Сравнить переходные процессы с результатами Лаб. раб. № 1.
- 1.7. По проведенному исследованию выполнить анализ результатов и написать выводы.

2. Содержание отчета

- 2.1. Задание на лабораторную работу (цели и задачи, параметры ОУ).
- 2.2. Математическое описание объекта управления в нормальной и канонической формах.
- 2.3. Структурные схемы ОУ для нормальной и канонической форм.
- 2.4. Рассчитанные аналитически переходные процессы.
- 2.5. Схемы компьютерного моделирования.
- 2.6. Переходные процессы внутренних переменных состояния и выходной переменной.
- 2.7. Сравнение результатов моделирования с аналитически рассчитанными и результатами Лаб. раб. №1.
- 2.7. Анализ результатов, выводы и заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Преобразования математических описаний ОУ в формах

«ВХОД – состояние – ВЫХОД»

1. Программа работы

1.1. По результатам лабораторной работы №2 использовать математические описания объекта управления в нормальной и канонической формах.

1.2. Рассчитать матрицу преобразования (М), построенную на основе собственных векторов и матрицу Вандермонда по собственным числам матрицы Фробениуса (нормальная форма).

1.3. Выполнить преобразования матриц нормальной формы в матрицы канонической формы с использованием матрицы М и матрицы Вандермонда.

1.4. Рассчитать матрицу преобразования Р, определяемую через матрицы управляемости исходной и требуемой форм математического описания ОУ.

1.5. Выполнить преобразование матриц ОУ с использованием матрицы Р.

1.6. Сравнить процедуры преобразования матриц ОУ этими методами.

1.7. По проведенным расчетам выполнить анализ результатов и написать выводы.

2. Содержание отчета

2.1. Задание на лабораторную работу (цели и задачи, параметры ОУ).

2.2. Математические описания ОУ в нормальной и канонической формах.

2.3. Расчет матрицы преобразования М, построенной по собственным векторам матрицы Фробениуса и матрицы Вандермонда, их применения.

2.4. Расчет матрицы преобразования Р, построенной по матрицам управляемости, ее применение.

2.5. Сравнение процедур расчета матриц ОУ и их характеристики.

2.8. Анализ результатов, выводы и заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

Частотный синтез СУ по заданным требованиям

1. Программа работы

- 1.1. Синтезировать управляющее устройство для заданного ОУ частотным методом для обеспечения заданных требований к свойствам СУ.
- 1.2. Обеспечить улучшение качества переходного процесса в 3-5 раз по сравнению с исходными процессами в ОУ (см. Лаб.раб. №1), аналитически синтез вести по исходным и желаемым ЛАХ и ЛФХ с определением структуры и параметров УУ и корректирующего звена (при необходимости).
- 1.3. Учесть возможность модификации УУ для ограничения управляющего воздействия ($u(t)$).
- 1.4. Включить в СУ белый шум на выходе объекта управления.
- 1.5. Построить переходные процессы ($u(t)$), ($x(t)$), ($x'(t)$), ($y(t)$) для всех рассматриваемых случаев.
- 1.6. Провести анализ результатов и сделать выводы.

2. Содержание отчета

- 2.1. Задание на лабораторную работу и исходные данные ОУ.
- 2.2. Синтез управляющего устройства частотным методом.
- 2.3. Детальная структурная схема СУ.
- 2.4. Модификация управляющего устройства для ограничения ($u(t)$).
- 2.5. Переходные процессы ($u(t)$), ($x(t)$), ($x'(t)$), ($y(t)$) для всех рассматриваемых случаев.
- 2.6. Исследование СУ при наличии белого шума на выходе объекта управления.
- 2.7. Анализ результатов и выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Синтез модального управления.

Программа работы

1.1 По результатам Лаб.раб.№ 2 использовать исходное математическое описание ОУ(нормальная форма), его параметры, структурную схему и переходные процессы.

1.2. Сформулировать цель и задачи лабораторной работы для синтеза УУ в виде пропорциональных обратных связей по вектору состояния с коррекцией по заданию , обеспечивающее улучшение качества переходного процесса в 3-5 раз.

1.3. Построить структурную схему СУ, отражающую входное воздействие, управляющее воздействие $u(t)$, внутренние переменные, выходную переменную $y(t)$ и обратные связи по вектору состояния.

1.4. Определить параметры УУ, обеспечивающие желаемое качество СУ по корневым показателям (с помощью корневого годографа, выбором полюсов на базе полиномов биномиального или Баттерворта) для улучшения процессов в 3-5 раз относительно исходных в ОУ.

1.5. Построить цифровую схему моделирования СУ для получения результатов в Matlab и Simulink.

1.6. Получить переходные процессы, подтверждающие улучшение качества управления: фиксировать управляющее воздействие $u(t)$, внутреннюю переменную $x(t)$, производную внутренней переменной $x'(t)$ и выходную переменную $y(t)$. Исследовать влияние помехи (белого шума) на выходе ОУ.

1.7. Рассмотреть модификацию УУ с обратной связью по выходу ОУ, построить соответствующую структурную схему СУ, исследовать процессы.

1.8. По проведенному исследованию выполнить анализ результатов и написать выводы.

2. *Содержание отчета*

2.1. Задание на лабораторную работу (цели и задачи, ОУ).

2.2. Структурная схема СУ с пропорциональными обратными связями по вектору состояния и цифровая схема моделирования.

2.3. Аналитический синтез УУ, расчет коэффициентов ОС по заданным корневым показателям качества и коррекции по заданию.

2.4. Переходные процессы $u(t)$, $x(t)$, $x'(t)$, $y(t)$ полученные в Matlab и Simulink.

2.6. Модификация УУ с обратной связью по выходу, схема СУ, процессы в такой системе и результаты исследования влияния помехи на выходе ОУ.

2.7. Сравнение качества СУ, синтезированных в Лаб.раб.№5 и данной.

2.8. Анализ результатов, выводы и заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Синтез линейного оптимального управления

1. Программа работы

- 1.1. По результатам Лаб.раб.№2 принять исходное математическое описание ОУ, его параметры, структурную схему и переходные процессы.
- 1.2. Цель и задачи лабораторной работы: рассчитать линейное оптимальное УУ в смысле интегрального квадратичного критерия качества.
- 1.3. Построить структурную схему СУ с линейным оптимальным УУ в виде пропорциональных обратных связей с коррекцией по заданию.
- 1.4. Аналитически рассчитать линейный оптимальный закон управления. Для нахождения матрицы коэффициентов применить алгебраическое уравнение Риккати.
- 1.5. Выполнить расчет линейного оптимального УУ с помощью Matlab и сравнить полученные коэффициенты с аналитическими результатами.
- 1.6. Построить цифровую схему моделирования системы управления, используемую для получения результатов в Matlab и Simulink.
- 1.7. Построить переходные процессы в СУ с линейным оптимальным законом.
- 1.8. Исследовать влияние весовых коэффициентов критерия качества Q на переходные процессы, быстродействие, перерегулирование и величину управляющего воздействия.
- 1.9. Сравнить результаты синтеза линейного оптимального УУ с результатами Лаб.раб. №4 и 5.
- 1.10. По проведенному исследованию выполнить анализ результатов и написать выводы.

2. Содержание отчета

- 2.1. Задание на лабораторную работу (цели и задачи, параметры ОУ).
- 2.2. Структурная схема ОУ, структурная схема системы с линейным оптимальным УУ и цифровая схема моделирования.
- 2.3. Интегральный квадратичный критерий качества и выбор матриц весовых коэффициентов Q и R .
- 2.4. Аналитический расчет линейного оптимального закона управления с использованием уравнения Риккати.

- 2.5. Расчет коэффициентов оптимального управления в Matlab и сравнение с аналитическим расчетом.
- 2.6. Переходные процессы, полученные в Matlab и Simulink.
- 2.7. Исследование влияния коэффициентов закона управления на переходные процессы.
- 2.8. Сравнение результатов с Лаб.раб. №4 и 5.
- 2.9. Анализ результатов, выводы и заключение.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Изучение свойств СУ с наблюдателем состояния

1. Программа работы

1.1. Добавить в замкнутую СУ наблюдатель с получением вектора состояния по выходному сигналу для снижения влияния шумов.

1.2. Исследовать процессы в системе при различных значениях полюсов наблюдателя:

$$P_{\text{наб}} = (0.5; 1.0; 2.0; 4.0)P_{\text{з.э.}}$$

1.3. Построить переходные процессы:

$$u(t), x(t), y(t), y(t) + \text{ШБ}, \hat{x}(t), \hat{y}(t).$$

1.4. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

2. Содержание отчета

2.1. Задание на лабораторную работу и исходные данные замкнутой системы управления.

2.2. Описание введения наблюдателя в замкнутую систему управления.

2.3. Результаты исследования системы при:

$$P_{\text{наб}} = (0.5; 1.0; 2.0; 4.0)P_{\text{з.э.}}$$

2.4. Переходные процессы:

$$u(t), x(t), y(t), y(t) + \text{ШБ}, \hat{x}(t), \hat{y}(t).$$

2.5. Анализ результатов и выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

Исследование влияния дискретизации управления на свойства системы управления

1. Программа работы

1.1. Исследовать влияние дискретизации при компьютерной реализации устройства управления.

1.2. После формирования управляющего сигнала $u(t)$ включить в систему фиксатор нулевого порядка (ФНП), описываемый передаточной функцией:

$$W_{\text{ФНП}}(p) = \frac{1 - e^{-\tau p}}{p}.$$

1.3. Рассмотреть изменение переходных процессов при увеличении шага дискретизации Δ квантования.

1.4. Определить значения шага дискретизации Δ , при которых возникают расходящиеся переходные процессы.

1.5. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

2. Содержание отчета

2.1. Задание на лабораторную работу и исходные данные СУ.

2.2. Описание включения фиксатора нулевого порядка после формирования непрерывного управляющего сигнала $u(t)$.

2.3. Результаты исследования переходных процессов при различных значениях шага дискретизации Δ . Определение режима возникновения расходящихся переходных процессов.

2.4. Анализ результатов и выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

Изучение влияния нелинейностей в УУ на свойства системы управления

1. Программа работы

1.1. Исследовать влияние нелинейностей при формировании управления на вид переходных процессов и свойств СУ.

1.2. После формирования управляющего сигнала $u(t)$ включить в замкнутую систему нелинейности с изменением параметров.

1.3. Рассмотреть изменение переходных процессов при увеличении влияния параметров нелинейностей.

1.4. Определить характер влияния нелинейностей на свойства СУ.

1.5. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

2. Содержание отчета

2.1. Задание на лабораторную работу и исходные данные системы управления и параметров нелинейностей.

2.2. Описание включения нелинейностей после формирования непрерывного управляющего сигнала $u(t)$.

2.3. Результаты исследования переходных процессов при различных значениях параметров нелинейностей.

2.4. Определение свойств нелинейной замкнутой СУ.

2.5. Анализ результатов и выводы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бесекерский Виктор Антонович, Попов Евгений Павлович (каф. Автоматики и электроники, академия им. Можайского). Теория систем автоматического управления изд.4, переработанное и дополненное – СПб. Изд. «Прогрессия», 2004г, 752с (серия специалист).
2. Ричард К.Дорф (проф. Электротехники и ВТ Калифорнийского университета, Т. Дэвис). Современные системы управления. Перевод с англ. Б.И. Копылова – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002 – 832с.
3. Чарльз Л. Филипс (проф. университета Оберна, шт. Алабама), Райс Д. Харробор (проф. Университета Пенсаколы, шт. Флорида). Системы управления с обратной связью. Перевод с англ. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001-616 с.
4. Певзнер Л.Д. Теория систем управления. – М.:Изд-во МГТУ, 2002-472 с.
5. Иванов В.А., Ющенко А.С. – Теория дискретных САУ – М.: Наука – 1983г. – 336с
6. Куо. Б. Теория и проектирование цифровых СУ, пер. с англ., - М.: Машиностроение, 1986г. – 448с.

Нестеров Сергей Александрович

ОСНОВЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

(Методические указания к лабораторным и курсовой работам)

Санкт – Петербургский политехнический университет
Петра Великова

Подписано в печать . Формат 60х84 1/16 .

Усл. печ. л. 1,3 Тираж . Заказ .

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

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