

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Романчук Иван Сергеевич

Должность: Ректор

Дата подписания: 23.05.2023 15:56:00

Уникальный программный ключ:

6319edc2b582ffdacea445101d5779568d0957ac34f5cd074d81181530452479

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для обучающихся по направлению подготовки 15.03.06

Мехатроника и робототехника

Профиль: Автоматизированные системы управления технологическим процессом
форма обучения очная

Пояснительная записка

Целью изучения дисциплины «Теория автоматического управления» является формирование у студентов фундаментальных представлений о принципах построения, анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ), а также умений применять полученные теоретические знания к решению инженерных задач анализа и синтеза мехатронных и робототехнических систем.

Задачи дисциплины: изучение основных положений теории управления; знакомство с математическим аппаратом, необходимым для описания, анализа и синтеза моделей САУ; освоение методов анализа и синтеза непрерывных и дискретных моделей САУ; изучение возможностей современных программных пакетов для исследования моделей САУ при решении задач анализа и синтеза; получение навыков проведения расчетов и проектирования САУ в соответствии с заданными требованиями.

В результате изучения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции (в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника):

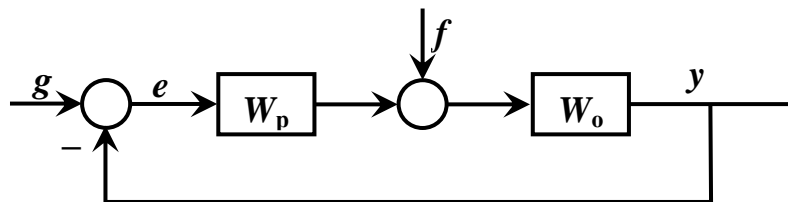
- ОПК-4 – готовность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования, использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники и технологии в своей профессиональной деятельности;
- ОПК-6 – способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.

Лабораторный практикум

1. Исследование типовых законов управления

Задание 1

Рассматривается система автоматического управления (САУ), представленная на схеме:



где $W_o(p) = \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi Tp + 1}$, $T > 0$, $\xi > 0$.

Выполнить исследование замкнутой САУ для типовых законов управления.

1. Исследовать САУ при П-законе

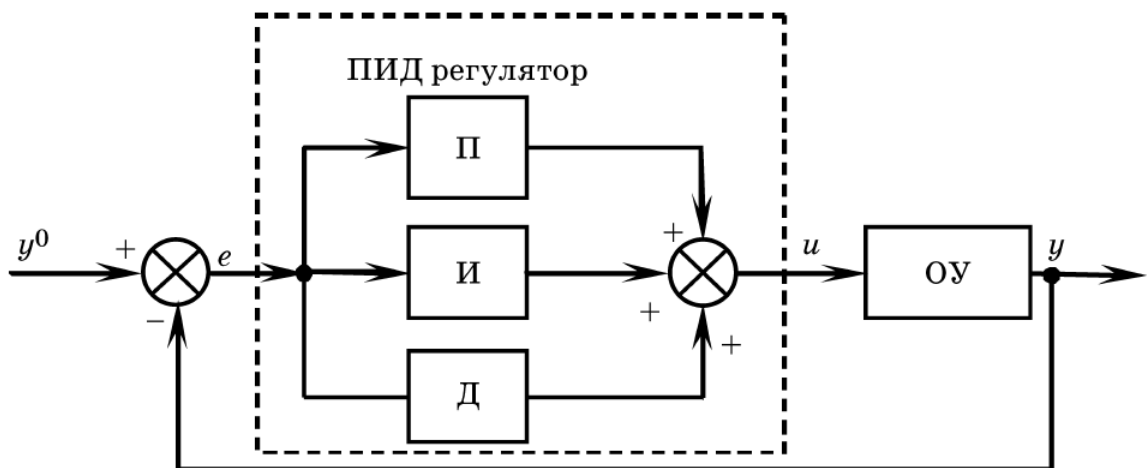
- а) исследовать устойчивость замкнутой системы (при произвольных T , ξ и k_n); определить степень устойчивости и сделать вывод о ее зависимости или независимости от параметра П-закона;
 - б) получить переходную функцию при условии $k_n \leq \xi^2 - 1$ и $k_n > \xi^2 - 1$; в обоих случаях определить установившееся значение;
 - в) в случае $k_n > \xi^2 - 1$ определить степень колебательности системы; сделать вывод о ее зависимости от параметра П-закона;
 - г) найти передаточные функции ошибки; определить статическую ошибку системы, сделать вывод о ее зависимости от параметра П-закона;
 - д) сделать общие выводы о влиянии параметра П-закона на качество управления в переходном и установившемся режиме.
2. Исследовать САУ при ПИ-законе
- а) исследовать устойчивость замкнутой системы, сделать вывод о характере ее зависимости от параметров ПИ-закона;
 - б) найти передаточные функции ошибки; определить позиционную и скоростную ошибки, сделать вывод о зависимости их от параметров ПИ-закона; сделать вывод о статичности/астиатичности системы с интегральным слагаемым в законе управления;
 - в) сделать общие выводы о влиянии интегрального слагаемого в законе управления на качество управления.
3. Исследовать САУ при ПД-законе
- а) исследовать устойчивость замкнутой системы; исследовать влияние параметров ПД-закона на степень устойчивости при условии $k_d \geq 2T(\sqrt{k_n + 1} - \xi)$ и при условии $k_d < 2T(\sqrt{k_n + 1} - \xi)$;
 - б) в случае $k_d < 2T(\sqrt{k_n + 1} - \xi)$ изучить влияние параметров ПД-закона на степень колебательности системы;
 - в) найти передаточные функции ошибки; определить статическую ошибку системы, сделать вывод о характере ее зависимости от параметров ПД-закона;
 - г) сделать общие выводы о влиянии дифференцирующего слагаемого в законе управления на качество управления в переходном и установившемся режиме.
4. Исследовать САУ при ПИД-законе
- а) исследовать устойчивость замкнутой системы, сделать вывод о характере ее зависимости от параметров ПИД-закона;
 - б) найти передаточные функции ошибки; определить позиционную и скоростную ошибки, сделать вывод о зависимости их от параметров ПИД-закона; сделать вывод о статичности/астиатичности системы;
 - в) сделать общие выводы о влиянии интегрального и дифференцирующего слагаемых в законе управления на качество управления.
5. Оформить отчет.

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Исследование, описанное в п. 1 задания. Привести все необходимые рассуждения, обоснования и математические выкладки.
3. Исследование, описанное в п. 2 задания. Привести все необходимые рассуждения, обоснования и математические выкладки.
4. Исследование, описанное в п. 3 задания. Привести все необходимые рассуждения, обоснования и математические выкладки.
5. Исследование, описанное в п. 4 задания. Привести все необходимые рассуждения, обоснования и математические выкладки.

Задание 2

Построить в MatLab Simulink модель САУ, представленную на схеме:



с ОУ – апериодическим звеном 3-го порядка, $W_o(p) = \frac{1}{(p+1)^3}$. Выполнить

исследование типовых регуляторов.

1. Зафиксировав нулевые параметры интегрирующего и дифференцирующего звеньев, исследовать САУ при П-законе.
 - а) Изменяя значения k_p от 0.1 до 1 с шагом 0.1, вывести переходные характеристики полученных САУ и проанализировать влияние значения k_p на скорость реакции системы, величину перерегулирования и установившееся значение.
 - б) Изменяя значения k_p от 1 до 10 с шагом 1, вывести переходные характеристики полученных САУ и проанализировать характер переходного процесса (монотонный, затухающие колебания, незатухающие колебания). На основании характера переходного процесса сформулировать предположение об устойчивости САУ при указанных значениях параметра. Проверить предположение путем выполнения соответствующих расчетов.

- в) Используя всю полученную ранее информацию о переходных процессах в САУ, проанализировать влияние значения k_n на величину установившейся ошибки.
 - г) Сделать общие выводы о влиянии значения k_n на устойчивость рассматриваемой САУ и качество управления в переходном и установившемся режиме.
2. Зафиксировав значение $k_n = 1$, исследовать САУ при ПИ-законе.
- а) Изменяя значения k_n от 0.6 до 1.5 с шагом 0.1, вывести переходные характеристики полученных САУ и проанализировать влияние значения k_n на скорость реакции системы, величину перерегулирования и установившееся значение.
 - б) Проанализировать характер переходного процесса и влияние значения k_n на устойчивость САУ.
 - в) Проанализировать влияние значения k_n на величину установившейся ошибки.
 - г) Сделать общие выводы о влиянии значения k_n на устойчивость рассматриваемой САУ и качество управления в переходном и установившемся режиме.
3. Зафиксировав значения $k_n = 1$ и $k_i = 1$, исследовать САУ при ПИД-законе.
- а) Изменяя значения k_d от 0.1 до 1.9 с шагом 0.2, вывести переходные характеристики полученных САУ и проанализировать влияние значения k_d на скорость реакции системы, величину перерегулирования и установившееся значение.
 - б) Проанализировать характер переходного процесса и влияние значения k_d на устойчивость САУ.
 - в) Проанализировать влияние значения k_d на величину установившейся ошибки.
 - г) Сделать общие выводы о влиянии значения k_d на устойчивость рассматриваемой САУ и качество управления в переходном и установившемся режиме.
4. Оформить отчет. Содержание отчета – описание всех действий, указанных в п. 1 – 3, и выводы о влиянии параметров типовых регуляторов на качество рассматриваемой САУ (со всеми необходимыми пояснениями и обоснованиями).

2. Метод Циглера-Никольса синтеза регуляторов

Задание 1

Передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(s) = \frac{k_o \cdot (as + 1)}{(T_1s + 1) \cdot (T_2s + 1)}.$$

1. Определить по методу Циглера-Никольса (первый вариант метода) настройки ПИ- и ПИД-регуляторов. Применить экспериментальный и расчетный способы.

- Для СУ с синтезированными регуляторами найти время регулирования, перерегулирование и установившуюся ошибку.
 - Оформить отчет.
- Значения параметров положить равными $k_0 = 2$; $a = 10$; $T_1 = 2$; $T_2 = 3$.

Задание 2

Передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(s) = \frac{k_0}{(T_1s + 1) \cdot (T_2s + 1) \cdot (T_3s + 1)}.$$

- Определить по методу Циглера-Никольса (первый вариант метода) настройки ПИ- и ПИД-регуляторов.
- Для СУ с синтезированными регуляторами найти время регулирования, перерегулирование и установившуюся ошибку.
- Оценить полученные значения, сделать вывод о необходимости корректировки параметров.
- Применить корректировку параметров, добиваясь приемлемых значений качества управления.
- Построить переходные характеристики для СУ с параметрами, подобранными по методу Циглера-Никольса, и с параметрами после корректировки. Сделать выводы.

Значения параметров положить равными $k_0 = 10$; $T_1 = 10$; $T_2 = 5$; $T_3 = 3$.

Задание 3

САУ описывается структурной схемой, представленной на рис. ниже.

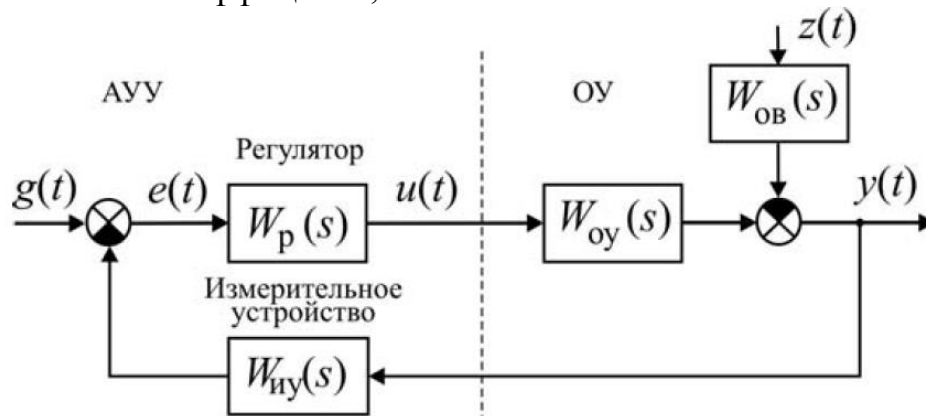
Выходной сигнал определяется уравнением $y(t) = W_{oy}(p)u(t) - W_{об}(p)z(t)$.

В случае, если измерительное устройство является безынерционным, $e(t) = g(t) - k_{иу} \cdot y(t)$, где $k_{иу}$ – коэффициент передачи измерительного устройства.

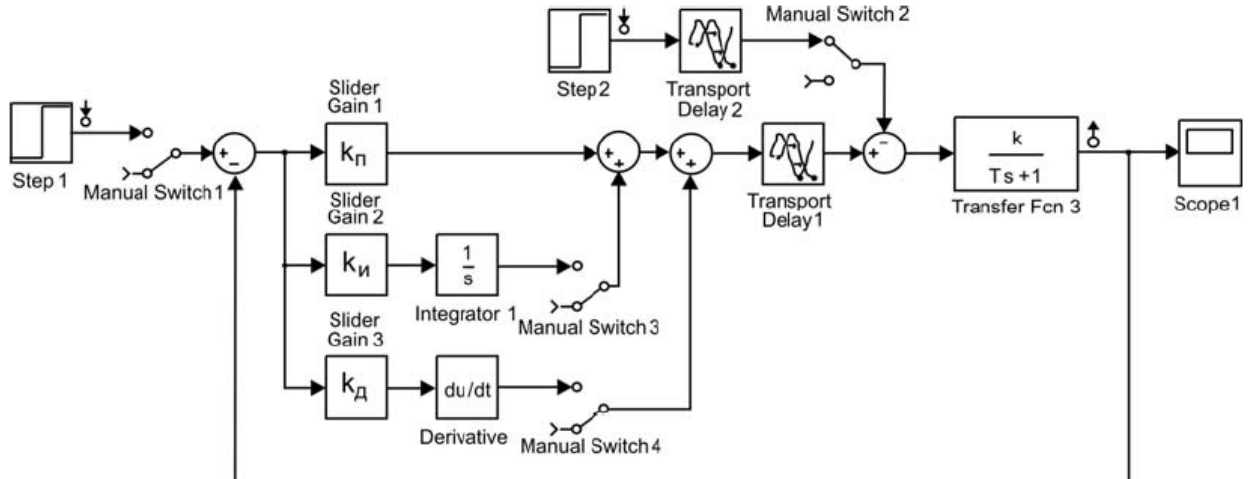
Объект управления описывается передаточными функциями:

$$W_{oy}(s) = \frac{k_{oy}}{Ts + 1} \cdot e^{-\tau \cdot s}, \quad W_{об}(s) = \frac{k_{об}}{Ts + 1} \cdot e^{-\alpha \tau s},$$

где α – постоянный коэффициент, $0 < \alpha < 1$.



Положить $k_{ny} = 1$. В этом случае схема модели СУ в Simulink может иметь вид:



1. Рассчитать по методу Циглера-Никольса и установить на модели значение параметра k_n П-регулятора. Найти реакцию СУ на единичное ступенчатое возмущение. Определить степень устойчивости СУ, статическую ошибку, максимальное отклонение регулируемой величины и время регулирования.
2. Рассчитать по методу Циглера-Никольса и установить на модели значение параметров ПИ-регулятора. Найти реакцию СУ на единичное ступенчатое возмущение. Определить степень устойчивости СУ, статическую ошибку, максимальное отклонение регулируемой величины и время регулирования.
3. Рассчитать по методу Циглера-Никольса и установить на модели значение параметров ПИД-регулятора. Найти реакцию СУ на единичное ступенчатое возмущение. Определить степень устойчивости СУ, статическую ошибку, максимальное отклонение регулируемой величины и время регулирования.
4. Сравнить показатели качества СУ с регуляторами трех типов. Сделать выводы.
5. Варьируя значения параметров ПИД-регулятора, определить такие значения, которые обеспечивают лучшее качество управления. Объяснить полученные результаты.
6. Оформить отчет.

3. Синтез оптимальных по степени устойчивости параметров типовых регуляторов

Задание 1

Пусть передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(p) = \frac{b}{a_0 p^2 + a_1 p + a_2}.$$

Выбрав параметры объекта в соответствии с номером своего варианта (см. таблицу 1), выполнить следующее исследование.

1. Найти оптимальный по степени устойчивости параметр П-регулятора, при котором степень колебательности системы равна
 - а) $\mu = 0$;
 - б) $\mu = 1$.
2. Найти оптимальные по степени устойчивости параметры ПИ-регулятора, при которых степень колебательности системы равна
 - а) $\mu = 0$;
 - б) $\mu = 1$.
3. Оформить отчет.

Таблица 1. Параметры объекта управления второго порядка.

№ варианта	b	a_0	a_1	a_2
1	4	2	8	2
2	3	1,5	6	0
3	4	2	8	0
4	1	2	10	2
5	3	2	6	2
6	4	1	8	2
7	3	2	10	2
8	5	1	10	1
9	6	3	12	3
10	5	5	10	2

Задание 2 (дополнительное)

Пусть передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(p) = \frac{b}{a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}.$$

1. Найти оптимальные по степени устойчивости параметры ПД-регулятора. Определить степень колебательности системы при найденных значениях параметров.
2. Найти оптимальные по степени устойчивости параметры ПИД-регулятора. Определить степень колебательности системы при найденных значениях параметров.

Указание: выполнить рассуждения, аналогичные проведенным в лекции при выводе оптимальных по степени устойчивости параметров П-регулятора и ПИ-регулятора для объекта второго порядка (составить характеристический полином замкнутой системы, а также преобразованный полином, записать условия граничной устойчивости и решить полученную систему).

В случае затруднений в самостоятельном выводе выражений для оптимальных значений параметров можно использовать учебник Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. – М.: Физматлит.

3. Оформить отчет.

Задание 3

Пусть передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(p) = \frac{b}{a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}.$$

Используя результаты, полученные при выполнении задания 2, и выбрав параметры объекта в соответствии с номером своего варианта (см. таблицу 2), выполнить следующее исследование.

1. Найти оптимальные по степени устойчивости параметры ПД-регулятора, при которых степень колебательности системы равна $\mu = 0$.
2. Найти оптимальные по степени устойчивости параметры ПИД-регулятора, при которых степень колебательности системы равна $\mu = 0$.
3. Оформить отчет.

Таблица 2. Параметры объекта управления третьего порядка.

№ варианта	B	a_0	a_1	a_2	a_3
1	6	3	15	12	3
2	4	2	6	1	0.5
3	5	2	4	0	0.5
4	6	2	12	16	0
5	2	2	6	1	0
6	2	1	2	0	0
7	2	0.5	4	2	0.1
8	2	3	6	0	1
9	1	2	9	4	2
10	3	1	4	2	3

Содержание отчета.

По заданию 1.

1. Название работы.
2. Параметры объекта (в соответствии с номером своего варианта).
3. Расчеты, необходимые для определения оптимального значения параметра П-регулятора (со всеми обоснованиями); полученное оптимальное значение.
4. Расчеты, необходимые для определения оптимальных значений параметров ПИ-регулятора (со всеми обоснованиями); полученные оптимальные значения.

По заданию 2 (для обоих пунктов задания).

1. Название работы.
2. Передаточная функция и характеристический полином замкнутой системы.
3. Преобразованный полином (привести все необходимые вычисления).
4. Условия граничной устойчивости для преобразованного полинома.

5. Решение полученной системы уравнений и неравенств и определение оптимальных значений параметров.
6. Определение степени колебательности системы для найденных значений параметров.
7. Выводы по проведенному исследованию.

По заданию 3.

1. Название работы.
2. Параметры объекта (в соответствии с номером своего варианта).
3. Расчеты, необходимые для определения оптимальных значений параметров ПД-регулятора (со всеми обоснованиями); полученные оптимальные значения.
4. Расчеты, необходимые для определения оптимальных значений параметров ПИД-регулятора (со всеми обоснованиями); полученные оптимальные значения.

4. Синтез систем управления по желаемой передаточной функции

Задание

Известна передаточная функция объекта управления

$$W_o = \frac{b}{s^2 + a_1s + a_2}.$$

Выбрав параметры объекта в соответствии с номером своего варианта (см. таблицу 3), выполнить следующее.

1. Синтезировать астатическую (с астатизмом 1-го порядка) систему, у которой характеристический полином имеет вид $(s + 1)^2$.
2. Синтезировать регулятор, при котором получается монотонный переходный процесс, статическая ошибка от задающего воздействия равна нулю и время регулирования $t_p \leq 0,8$.
3. Предполагая, что задающее воздействие $g = g_0 = const$, определить алгоритм управления, при котором ошибка $x(t) = g_0 - y(t)$ изменяется по закону $x(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}$ (λ_1 и λ_2 выбрать в соответствии с номером своего варианта из таблицы 3).
4. Оформить отчет.

Таблица 3. Параметры объекта управления и ошибки.

№ варианта	B	a_1	a_2	λ_1	λ_2
1	2	3	2	-1	-2
2	3	4,5	2	-2	-3
3	1	3,5	3	-1	-2
4	7	4,5	4,5	-2	-3
5	5	4	4	-1	-2
6	4	4,5	5	-2	-3
7	5	2,5	1,5	-4	-2
8	8	6	8	-3	-1
9	6	5	6	-2	-1
10	2	5,5	7	-1	-2

Содержание отчета.

1. Название работы.
2. Параметры объекта (в соответствии с номером своего варианта).
3. Передаточная функция синтезированного регулятора астатической системы с характеристическим полиномом $(s+1)^2$ (привести все выкладки, необходимые для ее получения).
4. Передаточная функция синтезированного регулятора, обеспечивающего показатели качества управления, указанные в п. 2 задания (привести все выкладки, необходимые для ее получения). При определении желаемой передаточной функции системы обосновать выбор порядка и вида стандартной передаточной функции.
5. Алгоритм управления, обеспечивающий ошибку управления, указанную в п. 3 задания (привести все выкладки, необходимые для его получения).

Список литературы**Основная литература:**

1. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления: учебное методическое пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. — 162 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13869.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Федотов, А.В. Основы теории автоматического управления: учебное пособие / А. В. Федотов. — 2-е изд. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 278 с. — ISBN 978-5-4486-0570-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/83344.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Синтез линейных систем автоматического управления в среде MATLAB: учебно-методическое пособие / М. Ю. Васильева, А. А. Усманова, И. Г. Габдрахманов, А. И. Валиев. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. — 176 с. — ISBN 978-5-7882-2270-7. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/96543.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Дополнительная литература:

1. Борисевич, А.В. Теория автоматического управления: элементарное введение с применением MATLAB: монография / А.В. Борисевич. - Москва: Инфра-М, 2014. - 200 с. - ISBN 978-5-16-101828-6. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/470329> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: по подписке.
2. Гаврилов, А.Н. Теория автоматического управления технологическими объектами (линейные системы): учебное пособие / А.Н. Гаврилов, Ю.П. Барметов, А.А. Хвостов; под редакцией С.Г. Тихомиров. — Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. — 244 с. — ISBN 978-5-00032-176-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/50645.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Рыбак, Л.А. Теория автоматического управления. Часть I. Непрерывные системы: учебное пособие / Л. А. Рыбак. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. — 121 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/28400.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
4. Рыбак, Л.А. Теория автоматического управления. Часть II. Дискретные системы: учебное пособие / Л. А. Рыбак. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. — 65 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/28401.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
5. Моделирование мехатронных систем в среде MATLAB (Simulink / SimMechanics): учебное пособие для высших учебных заведений / В.М. Мусалимов, Г.Б. Заморуев, И.И. Калапышина [и др.]. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2013. — 115 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL:

<http://www.iprbookshop.ru/68668.html> (дата обращения: 31.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Интернет-ресурсы:

1. Документация системы MatLab: <https://docs.exponenta.ru/matlab/index.html>
2. Документация пакета Simulink: <https://docs.exponenta.ru/simulink/index.html>