




Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ИМЕНИ В. А. ТРАПЕЗНИКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПУ РАН)

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИПУ РАН, академик РАН


Д.А. Новиков
«27» апреля 2023 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
**2.3.1 «Системный анализ, управление
и обработка информации, статистика»**
по физико-математическим
и техническим наукам

Москва 2023

Программа-минимум кандидатского экзамена по научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» составлена на основании Паспорта научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118.

Программа-минимум кандидатского экзамена разработана рабочей группой в составе:

д-р техн. наук Алескеров Ф.Т.
д-р техн. наук, чл.-корр. РАН Галяев А.А.,
д-р техн. наук, проф. Краснова С.А.,
канд. физ.-мат. наук Кустов А.Ю.
д-р техн. наук, академик РАН Новиков Д.А.,
д-р техн. наук Павлов Б.В.,
д-р физ.-мат. наук Рапопорт Л.Б.,
д-р физ.-мат. наук, проф. РАН Хлебников М.В.,
канд. физ.-мат. наук Юрченков А.В.

Руководитель
рабочей группы
д-р техн. наук



Е.В. Каршаков

(подпись)

Заведующий
отделом
докторантуры и
аспирантуры
д-р техн. наук



Л.Ю. Филимонюк

(подпись)

Программа-минимум кандидатского экзамена обсуждена и утверждена на заседании Ученого совета ИПУ РАН протокол № 5 от 27 апреля 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ.....	6
ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ.....	8
1. Системный анализ.....	8
2. Оптимизация.....	10
3. Теория автоматического управления.....	14
4. Модели и методы принятия решений.....	22
5. Обработка информации и статистика.....	25
6. Интеллектуальное управление.....	31
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	33

ВВЕДЕНИЕ

Программа-минимум кандидатского экзамена разработана в соответствии с Паспортом научной специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Область науки: 2. Технические науки.

Группа научных специальностей: 2.3. Информационные технологии и телекоммуникации.

Освоение программы направлено на формирование необходимого набора знаний, умений и навыков у соискателей степени кандидата наук, выполняющих исследования по указанным ниже направлениям¹.

1. Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

6. Методы идентификации систем управления на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации.

7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем

¹ Заимствовано из паспорта научной специальности 2.3.1.

8. Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем.

9. Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов.

10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов.

12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

13. Методы получения, анализа и обработки экспертной информации, в том числе на основе статистических показателей.

14. Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов систем управления с целью улучшения их технических характеристик.

15. Теоретический анализ и экспериментальное исследование функционирования элементов систем управления в нормальных и специальных условиях с целью улучшения технико-экономических и эксплуатационных характеристик.

16. Методология статистического обеспечения управления развитием сложных систем.

17. Прикладные статистические исследования, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития сложных систем.

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины:

- системный анализ,
- оптимизация,
- теория автоматического управления,
- методы принятия решений,
- математическая статистика,
- методы обработки информации,
- методы интеллектуального управления.

СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

Разделы	Темы	Литература
1. Системный анализ	Тема 1.1. Классификация систем управления. Кибернетика	[8, 16]
	Тема 1.2. Теория систем. Системный анализ	[4, 8, 9, 15]
	Тема 1.3. Системотехника	[14]
2. Оптимизация	Тема 2.1. Основы теории и методов безусловной оптимизации. Общие схемы исследования итеративных методов.	[12]
	Тема 2.2. Методы экстремизации дифференцируемых функций	[12]
	Тема 2.3. Влияние помех на методы безусловной экстремизации	[12]
	Тема 2.4. Экстремизация недифференцируемых функций	[12]
	Тема 2.5. Выпуклое, линейное и квадратичное программирование	[12]
	Тема 2.6. Аналитические и численные методы нелинейного программирования	[2]
3. Теория автоматического управления	Тема 3.1. Описание линейных систем управления. Устойчивость	[13, 17, 20, 25]
	Тема 3.2. Виды управления. Стабилизация линейных систем	[13, 17, 20, 25]
	Тема 3.3. Методы анализа, синтеза и оценивания линейных систем при воздействии внешних возмущений	[6, 13, 17, 20, 25]
	Тема 3.4. Робастная устойчивость, стабилизация и управление в линейных системах	[6, 13, 17, 25]
	Тема 3.5. Устойчивость и стабилизация нелинейных систем	[6, 13, 23, 25]

	Тема 3.6. Управление нелинейными системами	[6, 13, 23, 25]
	Тема 3.7. Оптимальное управление	[6, 13, 17, 23, 25]
	Тема 3.8. Адаптивное управление	[6, 16, 23, 25]
4. Модели и методы принятия решений	Тема 4.1. Альтернативы, компромиссы и согласия	[1, 7, 11]
	Тема 4.2. Принятие решений в условиях неопределенности	[10]
	Тема 4.3. Принятие коллективных решений	[1, 7, 10]
	Тема 4.4. Принятие решений при нечеткой информации	[3, 10]
5. Обработка информации и статистика	Тема 5.1. Основные понятия выборочной теории. Точечные и интервальные оценки	[5]
	Тема 5.2. Проверка параметрических и непараметрических гипотез	[5]
	Тема 5.3. Корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализ	[5]
	Тема 5.4. Непараметрические методы статистики	[5]
	Тема 5.5. Идентификация систем управления	[16, 19]
	Тема 5.6. Методы параметрической идентификации	[6, 19]
6. Интеллектуальное управление	Тема 6.1. Нечеткие системы управления	[16, 21]
	Тема 6.2. Управление с итеративным обучением	[16, 18]
	Тема 6.3. Искусственные нейронные сети	[16, 18, 22, 24]

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

1. Системный анализ

ТЕМА 1.1. Классификация систем управления. Кибернетика. Классификация систем управления. [16, с. 11–31]. Кибернетика в XX веке [16, с. 46–56; 8, с. 7–31]. Философия и методология управления [8, с. 32–40]. Законы, закономерности и принципы управления [16, с. 57–65].

Контрольные вопросы к теме 1.1

1. Перечислите типы управления. Приведите базовую структуру системы автоматического управления.
2. Опишите и поясните базовую входо-выходную структуру системы управления и ее модификации.
3. Перечислите и поясните основания классификации систем управления. Приведите примеры.
4. Расскажите кратко об истории и современном состоянии кибернетики.
5. Объясните, как соотносятся кибернетика, философия и методология управления.
6. Перечислите и прокомментируйте общие законы кибернетики и управления. Приведите примеры.
7. Сформулируйте и прокомментируйте принципы функционирования сложных систем. Приведите примеры.
8. Сформулируйте и прокомментируйте принципы функционирования биологических и социальных систем. Приведите примеры.
9. Сформулируйте и прокомментируйте принципы организационного управления. Приведите примеры.

ТЕМА 1.2. Теория систем. Системный анализ. История системных исследований: от тектологии А.А. Богданова до концепции Л. Фон-Берталанфи. Теория систем в работах зарубежных ученых [4, с. 12–46]. Теория систем в работах советских и российских ученых [4, с. 72–79; 9, с. 20–26]. Модели и моделирование [9, с. 35–61]. Системы, модели систем [9, с. 69–93]. Искусственные и естественные системы, классификация систем [9,

с. 99–117]. Системный анализ: история развития [8, с. 54–61; 4, с. 139–202]; подходы и методы системного анализа [4, с. 211–266; 15, с. 7–31].

Контрольные вопросы к теме 1.2

1. Приведите и поясните основные идеи тектологии А.А. Богданова.

2. Приведите и прокомментируйте основные положения общей теории систем Л. фон-Берталанфи.

3. Охарактеризуйте кратко историю развития теории систем и системного анализа в работах зарубежных ученых.

4. Охарактеризуйте кратко историю развития теории систем и системного анализа в работах советских и российских ученых.

5. Приведите основные функции моделей в рамках моделирования как метода исследования.

6. Приведите классификацию систем, приведите примеры.

7. Перечислите основные методы системного анализа, приведите примеры их использования в Вашей научной области.

ТЕМА 1.3. Системотехника. Системотехника и системный инжиниринг: принципы системного проектирования [14, с. 11–22]. Жизненный цикл систем и проектов [14, с. 23–37]. Архитектура сложных систем [14, с. 85–101]. Управление требованиями [14, с. 119–145]. Уровни готовности технологий [14, с. 284–301].

Контрольные вопросы к теме 1.3

1. Перечислите основные принципы системного проектирования.

2. Перечислите основные фазы и этапы жизненного цикла.

3. Перечислите и охарактеризуйте основные элементы архитектуры сложных систем.

4. Перечислите и охарактеризуйте основные функции и этапы управления требованиями.

5. Опишите взаимосвязь уровней готовности технологий с фазами жизненного цикла системы.

2. Оптимизация

ТЕМА 2.1. Основы теории и методов безусловной минимизации. Общие схемы исследования итеративных методов. Выпуклость и дифференцируемость функций. Матрица Гессе. Необходимые и достаточные условия экстремума. Градиентный подход. Метод Ньютона для задач минимизации и решения нелинейных уравнений [12, с. 15–40]. Первый и второй методы Ляпунова для исследования сходимости итеративных методов. Теоремы о сходимости итеративных методов [12, с. 44–58].

Контрольные вопросы к теме 2.1

1. Дайте определения векторной функции, дифференцируемой функции. Дайте определения и укажите различия между выпуклой, строго выпуклой и сильно выпуклой функцией, приведите примеры.

2. Сформулируйте критерии выпуклости для дважды дифференцируемых функций.

3. Сформулируйте необходимые и достаточные условия экстремума первого и второго порядка для дифференцируемых функций. Докажите, что дифференцируемая сильно выпуклая функция достигает минимума во всем пространстве.

4. Дайте определения градиента и производной по направлению. Формализуйте градиентный метод и метод Ньютона для задач минимизации.

5. Сформулируйте и поясните понятия линейной, сверхлинейной и квадратичной сходимости.

6. Формализуйте первый и второй методы Ляпунова для исследования сходимости итерационных процессов.

7. Сформулируйте принцип сжимающих отображений. Приведите примеры.

ТЕМА 2.2. Методы экстремизации дифференцируемых функций. Модификации методов Ньютона и градиентного спуска. Методы первого порядка. Сопряженные градиенты. Метод тяжелого шарика. Метод секущих. Метод переменных направлений. Общие идеи методов первого порядка [12, с. 63–93].

Контрольные вопросы к теме 2.2

1. Перечислите методы минимизации первого порядка.
2. Формализуйте возможные модификации метода Ньютона.
3. Перечислите многошаговые методы минимизации и приведите их разностные схемы.
4. Опишите метод секущих и сопряженных направлений.
5. Поясните особенности квазиньютоновских методов и области их применения.
6. Формализуйте прямые методы минимизации (аппроксимации нулевого порядка).

ТЕМА 2.3. Влияние помех на методы безусловной экстремизации. Источники и типы помех. Особенности градиентного метода при наличии помех. Особенности прямых методов при наличии помех. Особенности оптимальных методов при наличии случайных помех [12, с. 94–113].

Контрольные вопросы к теме 2.3

1. Опишите источники и типы помех при решении задач безусловной минимизации.
2. Опишите особенности применения градиентного метода при наличии помех.
3. Опишите особенности задачи минимизации при наличии помех.
4. Формализуйте метод разностной аппроксимации градиента (метод Кифера–Вольфовица).
5. Опишите потенциальные возможности итеративных методов при наличии случайных помех.

ТЕМА 2.4. Экстремизация недифференцируемых функций. Выпуклые множества. Теоремы отделимости. Условия экстремума, его существование и единственность. Субградиентный метод. Многошаговые и оптимальные методы [12, с. 114–149].

Контрольные вопросы к теме 2.4

1. Сформулируйте условия экстремума, существования, единственности и устойчивости решения задачи минимизации.

2. Формализуйте субградиентный метод решения задач выпуклой оптимизации. Укажите, в чем его достоинства и недостатки.

3. Перечислите этапы поиска минимума выпуклой функции в случае, когда известны значения этой функции в произвольной точке.

4. Перечислите основные виды помех в задачах экстремизации недифференцируемых функций.

ТЕМА 2.5. Выпуклое, линейное и квадратичное программирование. Выпуклое программирование. Нелинейное программирование. Теорема двойственности. Методы выпуклого программирования [12, с. 225–267]. Типы задач линейного программирования. Многогранные множества. Устойчивость решения. Конечные методы линейного программирования. Итерационные методы [12, с. 268–295].

Контрольные вопросы к теме 2.5

1. Сформулируйте основы понятия и методы выпуклого программирования.

2. Сформулируйте основы понятия и методы нелинейного программирования.

3. Объясните принцип единственности и устойчивости решения задачи нелинейного программирования.

4. Опишите методы линеаризации и возможных направлений для задач выпуклого программирования.

5. Объясните принцип метода штрафов в задачах математического программирования.

6. Перечислите существующие методы математического программирования для негладких функций.

7. Перечислите конечные методы линейного программирования, указав особенности.

8. Перечислите условия применения и особенности итерационных методов линейного программирования.

9. Объясните принцип единственности и устойчивости решения задачи линейного программирования.

10. Приведите схему решения задачи математического программирования при использовании метода градиента и метода регуляризации.

11. Поясните связь между поиском решения задачи математического программирования и методом функции Ляпунова.

ТЕМА 2.6. Аналитические и численные методы нелинейного программирования. Конус допустимых направлений. Правило Лагранжа. Множители Лагранжа. Ограничения различных типов. Седловая точка. Двойственная функция. Геометрическое программирование [2, с. 301–334]. Условный градиент. Возможное направление спуска. Приведенный градиент. Проекция точки на множество. Антиградиент. Проекционная матрица. Линейные и нелинейные ограничения. Метод возможных направлений. [2, с. 337–420].

Контрольные вопросы к теме 2.6

1. Сформулируйте постановки задач оптимизации с ограничениями в виде равенств и в виде неравенства, приведите примеры. Формализуйте процесс оптимизации при ограничениях в виде равенств.

2. Сформулируйте и докажите теорему Каруша-Куна-Таккера. Укажите, чем условия теоремы отличаются от метода множителей Лагранжа.

3. Изложите основные принципы геометрического программирования.

4. Формализуйте метод условного градиента.

5. Опишите методы проекции точки на множество и антиградиента.

6. Опишите и охарактеризуйте методы последовательной безусловной минимизации.

7. Перечислите и опишите основные виды задач оценивания.

8. Укажите модификации решения задачи оптимизации при использовании метода возможных направлений в случае линейных ограничений.

3. Теория автоматического управления

ТЕМА 3.1. Описание линейных систем управления.

Устойчивость. Пространство состояний, передаточные функции, операторный подход, одномерные системы [13, с. 17–52]. Устойчивость матриц, устойчивость линейных систем. Критерии устойчивости полиномов. Частотные критерии устойчивости замкнутых систем [13, с. 52–82].

Контрольные вопросы к теме 3.1

1. Для линейных непрерывных и дискретных систем приведите формы записи в пространстве состояний и в передаточных функциях, охарактеризуйте их составляющие.

2. Опишите основные функциональные пространства сигналов, соответствующие нормы и связь между ними для непрерывного и дискретного случаев.

3. Для одномерной линейной непрерывной системы приведите различные формы входо-выходного описания и охарактеризуйте их составляющие.

4. Приведите типовые передаточные функции и частотные характеристики соответствующих звеньев (апериодического звена первого и второго порядка, колебательного звена и интегратора).

5. Дайте определение квадратичной функции Ляпунова. Сформулируйте определение и критерий устойчивости линейной стационарной системы.

7. Сформулируйте основные графические критерии устойчивости полиномов. Приведите эскизы годографов Михайлова для устойчивых полиномов второй и третьей степени.

8. Приведите последовательность действий при исследовании устойчивости полиномов по методу Рауса и проиллюстрируйте ее на примере полинома третьей степени.

9. Сформулируйте критерии устойчивости дискретных полиномов по Шуру и Шура–Кона–Джури.

10. Сформулируйте и докажите критерий Найквиста.

11. Дайте определение запасов устойчивости по амплитуде и по фазе годографа Найквиста и их графическую иллюстрацию.

ТЕМА 3.2. Виды управления. Стабилизация линейных систем. Программное управление. Управляемость. Управление по обратной связи. Наблюдаемость. Частотные методы [13, с. 83–100]. Стабилизация с помощью регуляторов низкого порядка. Обратная связь по состоянию. Обратная связь по выходу. Квадратичная стабилизация [13, с. 101–127].

Контрольные вопросы к теме 3.2

1. Дайте определение управляемости на физическом уровне. Сформулируйте и докажите ранговый критерий управляемости.

2. Дайте определение наблюдаемости на физическом уровне. Сформулируйте и докажите ранговый критерий наблюдаемости.

3. Сформулируйте постановку задачи выбора управления в форме обратной связи в терминах передаточных функций. Укажите связь критериев управляемости и наблюдаемости с понятием минимальной реализации передаточных функций.

4. Приведите вид характеристического полинома замкнутой системы с П-регулятором. Сформулируйте критерий устойчивости системы с устойчивой передаточной функцией, замкнутой П-регулятором, дайте графическую иллюстрацию.

5. Дайте определение минимально-фазового объекта. Сформулируйте условия устойчивости/неустойчивости соответствующей замкнутой системы с П-регулятором.

6. Приведите вид характеристического полинома замкнутой системы с ПИ-регулятором. Объясните суть метода Д-разбиения плоскости параметров для настройки коэффициентов ПИ-регулятора.

7. Сформулируйте и докажите теорему о назначении спектра в линейной стационарной системе с одним входом с помощью линейной статической обратной связи. Сформулируйте критерий стабилизируемости линейной стационарной системы.

8. Объясните принцип построения стабилизирующей обратной связи по выходу при помощи наблюдателя Льюенбергера. Приведите уравнения замкнутой расширенной системы.

9. Приведите процедуру построения регулятора по методу квадратичной стабилизации.

10. Приведите процедуру построения квадратично стабилизирующего регулятора при наличии ограничения на управление.

ТЕМА 3.3. Методы анализа, синтеза и оценивания линейных систем при воздействии внешних возмущений. Реакция на типовые возмущения. Устойчивость при наличии внешних возмущений. Множества достижимости для устойчивых систем, переходные процессы. Ограниченные внешние возмущения, гармонические и L_2 -ограниченные возмущения [13, с. 140–184]. Подавление ограниченных внешних возмущений. H_∞ -оптимизация, подавление случайных возмущений [13, с. 184–213]. Эллипсоидальное оценивание. Фильтр Калмана [13, с. 213–222]. Фильтры Калмана–Бьюси [13, с. 213–222; 6, с. 359–377].

Контрольные вопросы к теме 3.3

1. Опишите реакции линейной устойчивой системы с одним выходом и одним входом на единичный скачок и гармонический сигнал.

2. Сформулируйте критерий ограниченности решений линейной системы при ограниченных внешних возмущениях в непрерывном и дискретном случаях.

3. Объясните смысл множества достижимости линейной системы и перечислите его основные свойства. Формализуйте множества достижимости при наличии внешних возмущений, ограниченных в L_2 - и L_∞ -нормах.

4. Сформулируйте и докажите критерий инвариантности эллипсоида для линейных систем с внешними возмущениями.

5. Укажите способы оценки влияния гармонических и L_2 -ограниченных внешних возмущений на выход линейной системы.

6. Сформулируйте задачу и соответствующую теорему о подавлении ограниченных внешних возмущений.

7. Раскройте связи между выполнением линейного матричного неравенства и выполнением ограничений на величину управления в линейных системах.

8. Сформулируйте постановку задачи H_∞ -оптимизации. Приведите алгоритм решения задачи H_∞ -оптимизации в частотной области для системы, заданной в передаточных функциях.

9. Сформулируйте постановку задачи H_∞ -оптимизации. Приведите алгоритм решения задачи H_∞ -оптимизации в пространстве состояний.

10. Изложите принципы эллипсоидального оценивания переменных состояния по имеющимся измерениям при случайных возмущениях.

11. Сформулируйте постановку и приведите решение задачи фильтрации при неслучайных ограниченных возмущениях.

12. Сформулируйте постановку задачи фильтрации при стохастических возмущениях. Опишите формализм фильтра Калмана для дискретных линейных систем.

ТЕМА 3.4. Робастная устойчивость, стабилизация и управление в линейных системах. Виды неопределенностей: параметрическая неопределенность, частотная неопределенность, (M, Δ) -конфигурация, нестационарные и нелинейные возмущения [13, с. 222–233]. Робастная устойчивость полиномов и матриц. Робастная устойчивость при неопределенных передаточных функциях. Робастная квадратичная стабилизация. Робастный линейно-квадратичный регулятор, H_∞ -оптимизация в робастной постановке [13, с. 233–266].

Контрольные вопросы к теме 3.4

1. Приведите способы описания параметрической неопределенности (интервальной, аффинной, частотной, (M, Δ) -конфигурации) и укажите их специфику.

2. Сформулируйте принцип проверки робастной устойчивости полиномов (принцип исключения нуля).

3. Сформулируйте и докажите теорему Харитонова о робастной устойчивости интервального полинома.

4. Сформулируйте теорему Харитонова о робастной устойчивости интервального полинома. Дайте ее графическую интерпретацию с помощью годографа Цыпкина–Поляка.

5. Изложите методику проверки робастной устойчивости неопределенной системы, заданной в передаточных функциях, с

помощью робастной модификации годографа Найквиста. Сформулируйте теорему о малом коэффициенте усиления.

6. Сформулируйте постановку задачи и соответствующие теоремы о робастной квадратичной стабилизации.

7. Сформулируйте постановку задачи о робастном линейно-квадратичном регуляторе и приведите алгоритм ее решения.

8. Укажите особенности постановки и решения задачи H_∞ -оптимизации в робастном варианте.

ТЕМА 3.5. Устойчивость и стабилизация нелинейных систем. Линейные нестационарные системы: устойчивость, параметрический резонанс. Нелинейные системы: определение устойчивости, теоремы об устойчивости [13, с. 304–335]. Исследование устойчивости нестационарных нелинейных систем по линейному приближению. Нелинейная обратная связь. Абсолютная устойчивость [13, с. 335–356].

Контрольные вопросы к теме 3.5

1. Дайте определения устойчивости по Ляпунову и асимптотической устойчивости нулевого состояния равновесия нелинейной системы. Приведите пример нелинейной системы с неустойчивой точкой притяжения.

2. Дайте определения устойчивого и асимптотически устойчивого решения нелинейной системы. Приведите пример системы с неограниченно растущим асимптотически устойчивым решением.

3. Сформулируйте и докажите теоремы об устойчивости по Ляпунову и асимптотической устойчивости по Ляпунову нулевого решения линейной нестационарной системы.

4. Опишите явление параметрического резонанса в линейной нестационарной системе. Приведите пример системы с переключениями, в которой может возникнуть параметрический резонанс.

5. Дайте определение положительно (отрицательно) определенной функции. Сформулируйте теоремы об устойчивости по Ляпунову нулевого решения нелинейной системы с использованием положительно определенной функции Ляпунова.

6. Дайте определение инвариантного множества динамической системы, приведите пример. Сформулируйте теорему Барбашина–Красовского–Ла Салля (принцип инвариантности Ла Салля)

7. Сформулируйте теорему Барбашина–Красовского об устойчивости в целом. Приведите пример.

8. Дайте определение устойчивой по входу нелинейной системы. Сформулируйте и докажите теорему об ограниченности ее решения.

9. Сформулируйте и докажите теорему о достаточных условиях неустойчивости нелинейной системы.

10. Сформулируйте и докажите теорему об асимптотической устойчивости нелинейной системы по линейному приближению.

11. Дайте определение абсолютной устойчивости нулевого состояния равновесия системы, состоящей из линейной части и нелинейной обратной связи, подчиненной секторному ограничению.

12. Для системы с одним нелинейным элементом в обратной связи приведите формулировки частотного критерия В.М. Попова и кругового критерия абсолютной устойчивости. Выполните их сравнительный анализ.

ТЕМА 3.6. Управление нелинейными системами. Метод линеаризации обратной связью [6, с. 172–198; 13, с. 357–370]. Метод скользящих режимов. Метод декомпозиции для стабилизации механических систем. Каскадные системы. Синтез управления методом бэкстеппинга [13, с. 370–394].

Контрольные вопросы к теме 3.6

1. Для нелинейных систем с одним входом и одним выходом формализуйте метод линеаризации обратной связью по выходу.

2. Для нелинейных систем с одним входом и одним выходом дайте определения относительного порядка, внешней и внутренней динамики, нулевой динамики, минимально-фазовой системы. Поясните эти понятия на примере системы стабилизации верхнего положения перевернутого маятника на тележке.

3. Приведите решение задачи стабилизации верхнего положения маятника методом скользящих режимов. Приведите оценку производной функции Ляпунова и фазовый портрет этой системы с разрывным управлением.

4. Формализуйте основные положения метода скользящих режимов. В качестве примера используйте аффинную систему с векторным управлением, представленную в регулярной форме, и рассмотрите задачу стабилизации ее движения на целевом многообразии.

5. С помощью уравнений Лагранжа второго рода формализуйте математическую модель механической системы и укажите ее особенности. На примере этой системы поясните реализацию принципа декомпозиции с помощью разрывных управлений.

6. Формализуйте общую схему стабилизации каскадных систем с одним входом и одним выходом методом бэкстеппинга.

7. Приведите решение задачи стабилизации верхнего положения маятника методом бэкстеппинга.

ТЕМА 3.7. Оптимальное управление. Задачи оптимизации управления на конечном интервале, линейно-квадратичный регулятор [13, с. 128–139]. Динамическое программирование. Линейно-квадратичная задача оптимального управления в дискретном времени. Уравнения в частных производных Гамильтона–Якоби–Беллмана. Линейно-квадратичная задача оптимального управления в непрерывном времени. Принцип максимума Понтрягин [13, с. 394–421].

Контрольные вопросы к теме 3.7

1. Сформулируйте постановку задачи о линейно-квадратичном регуляторе и приведите алгоритм ее решения.

2. Приведите процедуру получения дифференциального матричного уравнения Риккати и соответствующий аналитический вид оптимального управления. Перечислите основные свойства решения уравнения Риккати.

3. Приведите процедуру нахождения функции Ляпунова с помощью линейного матричного неравенства.

4. Получите оценку функционала и аналитический вид управления при решении задачи о линейно-квадратичном регуляторе с помощью линейного матричного неравенства.

5. Опишите метод динамического программирования в задаче оптимального управления с дискретным временем. Приведите и поясните функции Беллмана, рекуррентные соотношения Беллмана (принцип оптимальности).

6. Приведите уравнение в частных производных Гамильтона–Якоби–Беллмана. Раскройте его связь с рекуррентными соотношениями Беллмана.

7. Приведите формулировку принципа максимума Понтрягина для задачи оптимального управления с фиксированной конечной точкой и нефиксированным временем.

8. Приведите формулировку принципа максимума Понтрягина для задачи оптимального управления при отсутствии условий на конечную точку и фиксированным временем.

ТЕМА 3.8. Адаптивное управление. Назначение, структура и типы адаптивных систем управления. Общая постановка задачи и общая характеристика методов адаптивного управления. Алгоритмы адаптивного управления линейным объектом с эталонной моделью по состоянию и по выходу. Адаптивное управление по состоянию нелинейным объектом. Адаптивное управление и робастность. Оптимальные алгоритмы настройки регуляторов с заданной структурой и критерии адаптируемости. [6, с. 392–417; 16, с. 108–134].

Контрольные вопросы к теме 3.8

1. Перечислите типы адаптивных систем управления. Приведите и поясните блок-схемы самонастраивающихся систем адаптивного управления: общую, с эталонной моделью, с идентификатором.

2. Формализуйте общую постановку задачи адаптивного управления и целевые условия. Поясните, чем отличаются задачи адаптивного управления по состоянию и по выходу.

3. Сформулируйте общие принципы и перечислите этапы построения алгоритмов адаптивного управления. В качестве иллюстрации

люстрации приведите алгоритм адаптивного управления с эталонной моделью для линейного объекта первого порядка.

4. Синтезируйте систему прямого адаптивного управления с эталонной моделью для линейного объекта второго порядка с неизвестными постоянными параметрами методом функций Ляпунова.

5. Приведите алгоритм адаптивного управления по выходу для линейного объекта с единичным относительным порядком.

6. Сформулируйте условие строгой положительной вещественности передаточной функции. Объясните роль и значение этого условия в задачах адаптивного управления с эталонной моделью по выходу.

7. Объясните принципы синтеза базовых адаптивных систем управления с эталонной моделью по выходу на основе применения дифференциального фильтра.

8. Опишите класс нелинейных систем, для которых непосредственно применимы методы прямого адаптивного управления. Сформулируйте для них постановку задачи и приведите алгоритм адаптивного управления по состоянию с эталонной моделью.

9. Объясните, каким образом наличие шума и внешних возмущений влияет на работоспособность законов настройки адаптивных систем с эталонной моделью. Перечислите методы борьбы с указанными проблемами и приведите их основные свойства, преимущества и недостатки.

10. Сформулируйте критерии полной и частичной адаптируемости основного контура по выходу.

4. Модели и методы принятия решений

ТЕМА 4.1. Альтернативы, компромиссы и согласие. Методы многокритериальной оценки альтернатив [11, с. 7–21]. Альтернативы, критерии, оценки альтернатив по критериям [7, с. 18–24]. Множество Парето [1, с. 26–35]. Методы решений: методы свертки, пороговые методы [1, с. 81–111]. Множества компромиссов и согласия [1, с. 181–191].

Контрольные вопросы к теме 4.1

1. Дайте определения следующих понятий: принятие решений; лицо, принимающее решение; альтернативы и критерии; процесс принятия решений и его этапы; доминирование по Парето; множество оптимальных (эффективных) по Парето.

2. Перечислите основные типы шкал критериев. Приведите примеры критериев с этими шкалами и допустимых преобразований.

3. Перечислите основные функции свертки, приведите примеры. Укажите достоинство и недостатки этого метода.

4. Опишите методы последовательной оптимизации и целевого программирования (близости к опорной/идеальной точке). Укажите используемые меры близости.

5. Сформулируйте аксиомы порогового агрегирования. Укажите класс бинарных отношений, который строит пороговое правило.

ТЕМА 4.2. Принятие решений в условиях неопределенности. Виды неопределенности. Статистические модели принятия решений. Критерии принятия решений для выбора оптимальной стратегии в условиях риска и неопределенности: Байеса-Лапласа, Гермейера, Бернулли-Лапласа, максиминный (Вальда), минимаксного риска Сэвиджа, Гурвица. Дерево решений [10, с. 135–146].

Контрольные вопросы к теме 4.2

1. Перечислите источники неопределенности при принятии решений и дайте классификацию задач принятия решений при неполной информации.

2. Формализуйте выбор лучшего решения по следующим критериям: Байеса-Лапласа, Гермейера, Бернулли-Лапласа, максиминный (Вальда), минимаксного риска Сэвиджа, Гурвица. Укажите для каждого критерия стратегии, которые считаются оптимальными.

3. Опишите преимущества и недостатки следующих критериев принятия решений для выбора оптимальной стратегии в условиях риска и неопределенности: Байеса-Лапласа, Гермейе-

ра, Бернулли-Лапласа, максиминный (Вальда), минимаксного риска Сэвиджа, Гурвица.

4. Объясните смысл параметра в критерии принятия решений Гурвица и способ его оценки.

5. Опишите процесс построения дерева решений, приведите пример.

ТЕМА 4.3. Принятие коллективных решений. Принятие коллективных решений [7, с. 178–185]. Локальные модели, правило большинства, нелокальные модели. [1, с. 90–107]. Парадокс Кондорсе. Теорема Эрроу и ее анализ. [1, с. 124–149]. Пять классов процедур построения коллективных решений; итеративные методы принятия коллективных решений [10, с. 287–333].

Контрольные вопросы к теме 4.3

1. Перечислите три типа моделей агрегирования коллективных предпочтений. Для каждого типа укажите виды входных и выходных данных и приведите примеры правил голосования.

2. Опишите суть парадокса Кондорсе и сформулируйте понятие победителя по Кондорсе.

3. Перечислите свойства правил голосования в реляционной модели агрегирования предпочтений. Укажите их формулировки на языке списочного представления правила голосования.

4. Сформулируйте и докажите теорему Эрроу для реляционной модели правил голосования.

5. Приведите примеры нелокальных правил голосования. Перечислите свойства правил голосования, которые для них не выполняются.

ТЕМА 4.4. Принятие решений при нечеткой информации. Общая постановка задачи многокритериального принятия решений при нечетких данных. Нечеткие модели и методы многокритериального принятия решений [3, с. 181–193]. Оптимальный выбор при нечеткой информации. Множество Орловского. Получение нечеткого гарантированного результата. Нечеткое математическое программирование с четкими и нечеткими целевыми функциями. Оптимальное управление в нечетких усло-

виях. Общая характеристика методов оптимального выбора [10, с. 152–174].

Контрольные вопросы к теме 4.4

1. Сформулируйте и прокомментируйте постановку задачи многокритериального принятия решений при нечетких данных. Приведите примеры.

2. Формализуйте нечеткие модели взвешенных сумм и произведений. Укажите их достоинства и недостатки.

3. Изложите последовательность действий при использовании метода многокритериального принятия решений TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Укажите его достоинства и недостатки.

4. Опишите подход Беллмана–Заде к нечеткому выбору (получение нечеткого гарантированного результата).

5. Формализуйте постановки задач нечеткого математического программирования с четкими и нечеткими целевыми функциями.

6. Сформулируйте задачи нечеткой оптимизации и опишите типовые подходы к их решению.

5. Обработка информации и статистика

ТЕМА 5.1. Основные понятия выборочной теории. Точечные и интервальные оценки. Генеральная и выборочная совокупности. Статистические модели. Эмпирические данные. Выборочные характеристики [5, с. 18–50]. Оценки. Выборочные моменты. Точечные оценки. Функция правдоподобия. Интервальные оценки. Доверительные интервалы [5, с. 54–152].

Контрольные вопросы к теме 5.1

1. Дайте определение генеральной совокупности и ее закона распределения. Дайте определение выборки, выборочного пространства и выборочного распределения.

2. Дайте определение статистической и параметрической моделей (непрерывной и дискретной). Приведите примеры.

3. Сформулируйте задачу оценки неизвестных параметров. Дайте определение точечной и интервальной оценок.

4. Дайте определение эмпирической функции распределения и плотности распределения. Дайте определение основным выборочным характеристикам. Приведите примеры.

5. Дайте определение состоятельной, несмещенной, эффективной оценок. Докажите, что выборочное среднее является состоятельной, несмещенной и эффективной оценкой среди линейных оценок. Докажите, что выборочная дисперсия является смещенной состоятельной оценкой. Раскройте понятие исправленной выборочной дисперсии.

6. Дайте определение количества информации по Фишеру. Докажите неравенство Рао–Крамера.

7. Дайте определения достаточной статистики и функции правдоподобия. Приведите примеры.

8. Перечислите основные методы получения точечных оценок. Приведите примеры.

9. Дайте определение интервальной оценки и доверительного интервала. Приведите примеры. Постройте интервальные оценки для экспоненциального и нормального распределений.

10. Опишите метод доверительных множеств.

ТЕМА 5.2. Проверка параметрических и непараметрических гипотез. Виды гипотез, статистические критерии, ошибки первого и второго рода. Критерий Неймана–Пирсона. Критерий Вальда [5, с. 158–191]. Проверка непараметрических гипотез. Критерии согласия и независимости [5, с. 207–236].

Контрольные вопросы к теме 5.2

1. Раскройте понятие статистической гипотезы. Поясните, какие гипотезы называют n -параметрическими, простыми и сложными, приведите примеры. Опишите принципы проверки двух простых гипотез.

2. Опишите критерий Неймана–Пирсона. Поясните, каким образом объем выборки влияет на результат проверки гипотез на примере нормальной модели выборки.

3. Опишите процедуру построения последовательного критерия отношения правдоподобия (критерий Вальда). Укажи-

те, чем равны для критерия Вальда: вероятности совершения ошибок первого и второго рода; средний объем испытаний и нижняя граница среднего объема испытаний.

4. Опишите критерий согласия Колмогорова для проверки простой гипотезы. Укажите, в каких случаях его целесообразно использовать.

5. Опишите критерий согласия ω^2 для проверки простой гипотезы. Укажите, в каких случаях его целесообразно использовать.

6. Опишите критерий согласия χ^2 для проверки простой гипотезы. Укажите, в каких случаях его целесообразно использовать. Сформулируйте теорему Пирсона.

7. Опишите особенности применения критериев согласия Колмогорова, ω^2 и χ^2 при проверке сложных гипотез.

8. Опишите критерии независимости Спирмена. Перечислите свойства рангового коэффициента корреляции Спирмена. Поясните, в чем его преимущества и недостатки перед выборочным коэффициентом корреляции.

ТЕМА 5.3. Корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализ. Корреляционный анализ: парных связей, коэффициента корреляции, корреляционного отношения и множественных связей [5, с. 240–270]. Регрессионный анализ. Метод наименьших квадратов. Статистический анализ регрессионной модели. Линейные и квадратичные регрессии [5, с. 282–326]. Однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ. Понятие линейных контрастов [5, с. 340–356].

Контрольные вопросы к теме 5.3

1. Перечислите основные задачи корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа. Поясните, в чем состоит задача анализа парных связей. Приведите пример.

2. Опишите идею оценки показателя связи по выборочным данным. Приведите пример.

3. Опишите метод оценки коэффициента корреляции. Перечислите свойства множественного коэффициента корреляции.

4. Дайте общее определение регрессии и определение линейной регрессии. Приведите пример.

5. Опишите матричный способ записи линейной регрессии. Дайте определения матриц отклика, базисных функций, ошибок.

6. Сформулируйте предположения, лежащие в основе метод наименьших квадратов, и поясните идею этого метода.

7. Перечислите и детализируйте этапы статистического анализа регрессионной модели.

8. Сформулируйте правило проверки адекватности линейной регрессионной модели. Выведите формулу для несмещенной оценки дисперсии отклика.

9. Формализуйте задачи однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа. Приведите примеры.

ТЕМА 5.4. Непараметрические методы статистики. Одновыборочная и двухвыборочная задачи о сдвиге. Критерий знаков. Парные наблюдения. Критерий Вилкоксона [5, с. 366–395].

Контрольные вопросы к теме 5.4

1. Поясните, какие методы математической статистики называют непараметрическими. Укажите, в чем их преимущества и недостатки по сравнению с классическими методами.

2. Сформулируйте одновыборочную задачу о сдвиге.

3. Формализуйте и поясните критерий знаков.

4. Сформулируйте и решите задачу парных наблюдений.

5. Опишите критерий Вилкоксона.

6. Сформулируйте двухвыборочную задачу о сдвиге и опишите для нее критерий Вилкоксона.

ТЕМА 5.5. Идентификация систем управления. Эволюция методов идентификации. Классы моделей и методов идентификации. Структурная идентификация. Параметрическая идентификация. Непараметрическая идентификация. Идентификация систем с распределенными параметрами. Идентифицируемость. Идентификационный синтез. Управление с прогнозирующей моделью [16, с. 138–172].

Контрольные вопросы к теме 5.5

1. Изложите суть процесса идентификации систем управления и его основные аспекты. Поясните, что понимается под идентификацией в узком и широком смыслах. Перечислите основные разделы идентификации.

2. Опишите эволюцию методов идентификации. Укажите, какие методы характерны для современного периода развития теории идентификации и ее приложений.

3. Перечислите основные классы моделей и методов идентификации.

4. Изложите основные задачи и методы структурной идентификации. Сформулируйте требования к структуре формируемой модели.

5. Изложите основные задачи и методы параметрической идентификации. Укажите, какие методы эффективны для идентификации объектов в условиях интервальной неопределенности.

6. Изложите основные задачи и методы непараметрической идентификации. Укажите основные характеристики, используемые для построения непараметрических моделей.

7. Перечислите типовые формы моделей систем с распределенными параметрами. Укажите две основные группы методов идентификация систем с распределенными параметрами. Поясните, в чем состоит модификация классических методов оптимизации и фильтрации при их применении к системам с распределенными параметрами.

8. Поясните суть проблемы идентифицируемости систем. Дайте определение структурной идентифицируемости. Формализуйте понятия структурно локально и глобально идентифицируемого параметра.

9. Изложите цели и задачи идентификационного синтеза. Прокомментируйте основные проблемы, возникающие при применении идентификационного синтеза, и пути их решения.

ТЕМА 5.6. Методы параметрической идентификации.

Идентификация параметров модели объекта управления. Градиентный идентификатор. Идентификатор на основе метода наименьших квадратов (МНК). МНК-идентификатор с экспо-

ненциальной потерей памяти. Выбор коэффициента потери памяти. Условие параметрической идентифицируемости (постоянное возбуждение регрессора). Сравнительная характеристика различных методов получения оценок параметров [6, с. 417–432].

Контрольные вопросы к теме 5.6

1. Приведите и поясните общую идентификационную модель для получения оценок неизвестных параметров объекта управления. Постройте идентификационную модель для линейного объекта управления первого порядка.

2. Приведите и поясните общую идентификационную модель для получения оценок неизвестных параметров объекта управления. Опишите алгоритм построения идентификационной модели для линейного объекта управления с одним входом и одним выходом.

3. Формализуйте принципы построения и анализа идентификатора параметров объекта управления на основе градиентного метода. Укажите факторы, влияющие на качество оценивания.

4. Постройте градиентный идентификатор для линейного объекта управления первого порядка. Поясните, как влияет коэффициент усиления на характер сходимости алгоритма идентификации.

5. Формализуйте принципы работы идентификатора параметров объекта управления на основе метода наименьших квадратов. Перечислите преимущества и недостатки данного метода.

6. Формализуйте принципы работы идентификатора параметров системы на основе метода наименьших квадратов с экспоненциальной потерей памяти. Перечислите преимущества и недостатки данного метода. Объясните принципы выбора коэффициента потери памяти.

7. Сформулируйте условие идентифицируемости параметров линейного регрессионного уравнения с помощью градиентного закона идентификации.

8. Перечислите основные методы параметрической идентификации и дайте их сравнительную характеристику.

6. Интеллектуальное управление

ТЕМА 6.1. Нечеткие системы управления. Основные понятия и определения нечетких множеств. Логико-лингвистические регуляторы. Аналитические нечеткие регуляторы. Нечеткие ПИ и ПИД-регуляторы. Обучаемые нейро-нечеткие регуляторы [16, с. 400–422].

Контрольные вопросы к теме 6.1

1. Дайте определения нечеткого множества, функции принадлежности, лингвистической переменной, нечеткого отношения. Приведите основные операции на нечетких множествах и их свойства.

2. Опишите принцип построения логико-лингвистического регулятора с одним входом и одним выходом. Сформулируйте задачу синтеза оптимального нечеткого регулятора.

3. Опишите нечеткую модель Сугено. Формализуйте простейший аналитический нечеткий регулятор. Опишите метод нечеткого управления Такаги-Сугено.

4. Опишите обобщенный нечеткий ПИД-регулятор. Формализуйте нечеткие управляющие правила.

5. Опишите структуру нечеткого ПИ-регулятора. Укажите способы оптимизации его параметров.

6. Приведите и поясните нейро-нечеткую структуру модели Сугено. Сформулируйте постановку задачи обучения нейро-нечеткого регулятора.

ТЕМА 6.2. Управление с итеративным обучением. Концепции управления с итеративным обучением. Классические алгоритмы управления с итеративным обучением. Построение алгоритма управления с итеративным обучением на основе расширенных моделей. Построение алгоритма управления с итеративным обучением на основе 2D-моделей [16, с. 178–198].

Контрольные вопросы к теме 6.2

1. Изложите основные концепции управления с итеративным обучением. Приведите структурную схему, демонстрирующую основную идею управления с итеративным обучением.

Укажите особенности причинных и не причинных алгоритмов управления с итеративным обучением.

2. Изложите основную идею классического алгоритма управления с итеративным обучением и перечислите его априорные допущения. Формализуйте условия, гарантирующие сходимость алгоритма Аримото.

3. Для дискретной модели с одним входом и одним выходом запишите закон управления с итеративным обучением и функцию обучения. Сформулируйте критерий асимптотической устойчивости замкнутой системы в терминах матриц расширенной системы.

4. Формализуйте 2D-модель системы управления с итеративным обучением в форме повторяющегося процесса. Дайте определение экспоненциально устойчивого повторяющегося процесса.

5. Сформулируйте и поясните достаточные условия экспоненциальной устойчивости повторяющегося процесса управления с итеративным обучением с применением дивергентного метода векторных функций Ляпунова.

ТЕМА 6.3. Искусственные нейронные сети. Постановка задачи машинного обучения. Эволюция полносвязных нейронных сетей прямого распространения. Глубокие сверточные и рекуррентные нейронные сети [16, с. 426–451].

Контрольные вопросы к теме 6.3

1. Приведите постановку задачи машинного обучения. Охарактеризуйте основные режимы и методы обучения.

2. Перечислите и поясните основные этапы эволюции полносвязных нейронных сетей прямого распространения.

3. Приведите и поясните структурные схемы базовых слоев сверточной нейронной сети и типовых сверточных модулей.

4. Приведите и поясните структурную схему элементарной ячейки долгой краткосрочной памяти (LSTM).

5. Объясните суть процесса обработки информации посредством искусственной нейронной сети. Опишите метод обратного распространения ошибки при обучении искусственной нейронной сети.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Алескеров Ф.Т., Хабина Э.Л., Шварц Д.А. Бинарные отношения, графы и коллективные решения. – М.: Издательский дом ГУ-ВШЭ, 2006. – 298 с.
2. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации: Учеб. для вузов. Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 440 с.
3. Броневиц А.Г., Лепский А.Е. Нечеткие модели анализа данных и принятия решений: учебное пособие. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 264 с.
4. Волкова В.Н. Истоки и перспективы развития наук о системах. 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политех-Пресс, 2022. - 412 с.
5. Горяинов В.Б., Павлов И.В., Цветкова Г.М., Тескин О.И. Математическая статистика. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 424 с.
6. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 440 с.
7. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: учебник для вузов. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
8. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. – М.: ЛЕНАНД, 2016 – 160 с.
9. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа: Учеб. 3-е изд., доп. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.
10. Петровский А.В. Теория принятия решений. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.
11. Подиновский В.В. Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений, 2019. – М.: Наука, 2019. – 103 с.
12. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 392 с.
13. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Рапопорт Л.Б. Математи-

ческая теория автоматического управления. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 504 с.

14. Романов А.А. Прикладной системный инжиниринг. – М.: Физматлит, 2015. - 555 с.

15. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: Принятие решений и оптимизация. - М.: Издательство МИСИС, 2005. - 352 с.

16. Теория управления (дополнительные главы): Учебное пособие / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 552 с.

Дополнительная литература

17. Александров В.В., Болтынский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А., Тихомиров В.М. Оптимальное управление движением. – М.: Физматлит, 2005. – 374 с.

18. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А.А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.

19. Карабутов Н.Н. Адаптивная идентификация систем. Информационный синтез. – М.: URSS, 2016. – 384 с.

20. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 312 с.

21. Кудинов Ю.И., Пащенко Ф.Ф., Пащенко А.Ф., Кудинов И.Ю. Нечеткое моделирование и управление в технических системах. 3-е изд. СПб.: Лань, 2022. – 208 с.

22. Матвеев М.Г., Свиридов А.С., Алейникова Н.А. Модели и методы искусственного интеллекта. Применение в экономике: учеб. пособие. – М. Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. – 448 с.

23. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб.: Наука, 2000. – 549 с.

24. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия. – Телеком, 2006. – 452 с.

25. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.