

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»  
Набережночелнинский институт (филиал)

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор –  
Проректор по научной деятельности

  
«27» 7  
2023 г.  


### ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

по специальной дисциплине, соответствующей научной специальности программы аспирантуры

Научная специальность: **2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

Высшая инженерная школа  
Кафедра системного анализа и информатики

Казань 2023 г.

## **Цель и задачи кандидатского экзамена по специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

**Цель:** установить глубину профессиональных знаний, умений и навыков обучающихся, уровень их подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

**Задачами является выявление:** уровня владения основными теориями и концепциями системного анализа; способности использовать методы анализа и обработки информации, теории управления, математического программирования, оптимизации и принятия решений в ходе самостоятельной научно-исследовательской работы.

### **Основные требования:**

В процессе сдачи кандидатского экзамена аспирант должен продемонстрировать:

- понимание фундаментальных основ системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и статистических методов анализа данных;
- владение базовыми методами системного анализа и управления на уровне, необходимом для конструктивного применения в прикладных задачах;
- способность сводить конкретные прикладные проблемы различных предметных областей к решению совокупности математических задач, осуществлять обоснованный выбор соответствующих классических и интеллектуальных алгоритмов анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

### **Порядок проведения кандидатского экзамена**

Экзамен проводится на русском языке в устной форме по билетам. Общее количество вопросов - 90. В каждом билете на экзамен 3 вопроса. Экзамен состоит из ответов на вопросы билета и ответов на уточняющие вопросы, возникающие у комиссии по ходу экзамена.

Все члены экзаменационной комиссии слушают ответ экзаменуемого и оценивают его знания. Решение об итоговой оценке знаний аспиранта принимается комиссией на закрытом заседании открытым голосованием большинства голосов членов комиссии, участвующих в голосовании. При равном числе голосов решающим является голос председателя. Результаты сдачи государственного экзамена объявляются в тот же день после оформления в установленном порядке протоколов заседаний экзаменационных комиссий.

### **Критерии оценивания**

Уровень знаний обучающегося оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

Аспирант продемонстрировал всестороннее, систематическое и глубокое знание программного материала, усвоил взаимосвязь основных понятий программы, проявил творческие способности и системный подход при изложении и использовании программного материала; сформулировал и грамотно обосновал свою точку зрения по рассматриваемой проблематике; ответил на все дополнительные вопросы; ответ четкий и хорошо структурированный; освоен понятийный аппарат.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

Аспирант продемонстрировал полное знание программного материала, показал систематический характер знаний по программе и способность к их самостоятельному обновлению в ходе предстоящей научной работы; ответил не на все дополнительные вопросы; ответ структурирован; освоен понятийный аппарат.

Оценка «удовлетворительно» ставится при соблюдении следующих условий:

Аспирант продемонстрировал знание основного программного материала, понимание базовых идей и концепций, однако допустил ошибки при ответе на некоторые из вопросов; частично ответил на некоторые из дополнительных вопросов, допускает несущественные ошибки при использовании понятийного аппарата.

Оценка «неудовлетворительно» ставится при соблюдении следующих условий:

Аспирант продемонстрировал значительные пробелы в знаниях основного программного материала, допустил принципиальные ошибки при ответе на вопросы; не дал адекватного ответа на дополнительные вопросы; допускает грубые ошибки при использовании понятийного аппарата или не использует понятийный аппарат предметной области вообще.

## **Вопросы программы кандидатского экзамена по научной специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

1. Понятия о системном подходе, системном анализе. Выделение системы из среды, определение системы. Системы и закономерности их функционирования и развития. Управляемость, достижимость, устойчивость. Свойства системы: целостность и членимость, связность, структура, организация, интегрированные качества.

2. Модели систем: статические, динамические, концептуальные, топологические, формализованные (процедуры формализации моделей систем), информационные, логико-лингвистические, семантические, теоретико-множественные и др.

3. Классификация систем. Естественные, концептуальные и искусственные, простые и сложные, целенаправленные, целеполагающие, активные и пассивные, стабильные и развивающиеся системы.

4. Основные методологические принципы анализа систем. Задачи системного анализа. Роль человека в решении задач системного анализа.

5. Определение и общая классификация видов информационных технологий. Модели, методы и средства сбора, хранения, коммуникации и обработки информации с использованием компьютеров.

6. Программно-технические средства реализации современных офисных технологий. Стандарты пользовательских интерфейсов. Создание и обработка текстовых файлов и документов с использованием текстовых редакторов и процессоров. Программные средства создания и обработки электронных таблиц. Программные средства создания графических объектов, графические процессоры (векторная и растровая графика).

7. Понятие информационной системы, банки и базы данных. Логическая и физическая организация баз данных. Модели представления данных, архитектура и основные функции СУБД. Распределенные БД.

8. Принципиальные особенности и сравнительные характеристики файл-серверной, клиент-серверной и интранет технологий распределенной обработки данных.

9. Реляционный подход к организации БД. Базисные средства манипулирования реляционными данными. Методы проектирования реляционных баз данных (нормализация, семантическое моделирование данных, ER-диаграммы).

10. Языки программирования в СУБД, их классификация и особенности. Стандартный язык баз данных SQL.

11. Перспективные концепции построения СУБД (ненормализованные реляционные БД, объектно-ориентированные базы данных др.).

12. Основные сетевые концепции. Глобальные, территориальные и локальные сети. Проблемы стандартизации. Сетевая модель OSI. Модели взаимодействия компьютеров в сети.

13. Среда передачи данных. Преобразование сообщений в электрические сигналы, их виды и параметры. Проводные и беспроводные каналы передачи данных.

14. Локальные сети. Протоколы, базовые схемы пакетов сообщений и топологии локальных сетей. Сетевое оборудование ЛВС.

15. Глобальные сети. Основные понятия и определения. Сети с коммутацией пакетов и ячеек, схематехника и протоколы. Принципы межсетевого взаимодействия и организации пользовательского доступа. Методы и средства защиты информации в сетях. Базовые технологии безопасности.

16. Сетевые операционные системы. Архитектура сетевой операционной системы: сетевые оболочки и встроенные средства. Обзор и сравнительный анализ популярных семейств сетевых ОС.

17. Принципы функционирования Internet, типовые информационные объекты и ресурсы. Ключевые аспекты WWW-технологии. Адресация в сети Internet. Методы и средства поиска информации в Internet, информационно-поисковые системы.

18. Языки и средства программирования Internet приложений. Язык гипертекстовой разметки HTML, основные конструкции, средства подготовки гипертекста (редакторы и конверторы). Базовые понятия VRML.

19. Организация сценариев отображения и просмотра HTML документов с использованием объектно-ориентированных языков программирования.

20. Представление звука и изображения в компьютерных системах. Устройства ввода, обработки и вывода мультимедиа информации. Форматы представления звуковых и видео файлов. Оцифровка и компрессия. Программные средства записи, обработки и воспроизведения звуковых и видеофайлов. Мультимедиа в вычислительных сетях.

21. Основные разделы теории и приложений искусственного интеллекта. Описание и постановка задачи. Задачи в пространстве состояний, в пространстве целей. Классификация задач по степени сложности. Линейные алгоритмы. Полиномиальные алгоритмы. Экспоненциальные алгоритмы.

22. Виды и уровни знаний. Знания и данные. Факты и правила. Принципы организации знаний. Требования, предъявляемые к системам представления и обработки знаний. Формализмы, основанные на классической и математической логиках.

23. Современные логики. Фреймы. Семантические сети и графы. Модели, основанные на прецедентах. Приобретение и формализация знаний. Пополнение знаний.

24. Обобщение и классификация знаний. Логический вывод и умозаключение на знаниях. Проблемы и перспективы представления знаний.

25. Назначение и принципы построения экспертных систем. Классификация экспертных систем. Методология разработки экспертных систем. Этапы разработки экспертных систем.

26. Постановка задач принятия решений. Классификация задач принятия решений. Этапы решения задач.

27. Экспертные процедуры. Задачи оценивания. Алгоритм экспертизы. Методы получения экспертной информации. Шкалы измерений, методы экспертных измерений.

28. Методы опроса экспертов, характеристики экспертов. Методы обработки экспертной информации, оценка компетентности экспертов, оценка согласованности мнений экспертов.

29. Методы формирования исходного множества альтернатив. Морфологический анализ.

30. Методы многокритериальной оценки альтернатив. Классификация методов. Множества компромиссов и согласия, построение множеств. Функция полезности. Аксиоматические методы многокритериальной оценки.

31. Прямые методы многокритериальной оценки альтернатив. Методы нормализации критериев. Характеристики приоритета критериев. Постулируемые принципы оптимальности (равномерности, справедливой уступки, главного критерия, лексикографический).

32. Методы аппроксимации функции полезности. Деревья решений. Методы компенсации. Методы аналитической иерархии. Методы порогов несравнимости. Диалоговые методы принятия решений. Качественные методы принятия решений (вербальный анализ).

33. Принятие решений в условиях неопределенности. Статистические модели принятия решений. Методы глобального критерия. Критерии Байеса-Лапласа, Гермейера, Бернулли-Лапласа, максиминный (Вальда), минимаксного риска Сэвиджа, Гурвица, Ходжеса-Лемана и др.

34. Принятие коллективных решений. Теорема Эрроу и ее анализ. Правила большинства, Кондорсе, Борда. Парадокс Кондорсе. Расстояние в пространстве отношений. Современные концепции группового выбора.

35. Модели и методы принятия решений при нечеткой информации. Нечеткие множества. Основные определения и операции над нечеткими множествами. Нечеткое моделирование. Задачи математического программирования при нечетких исходных условиях.

36. Задача оптимизации на нечетком множестве допустимых условий. Задача достижения нечетко определенной цели. Нечеткое математическое программирование с нечетким отображением.

37. Постановки задач на основе различных принципов оптимальности. Нечеткие отношения, операции над отношениями, свойства отношений. Принятие решений при нечетком отношении предпочтений на множестве альтернатив. Принятие решений при нескольких отношениях предпочтения.

38. Игра как модель конфликтной ситуации. Классификация игр. Матричные, кооперативные и дифференциальные игры. Цены и оптимальные стратегии. Чистые и смешанные стратегии. Функция потерь при смешанных стратегиях.

39. Геометрическое представление игры. Нижняя и верхняя цены игр, седловая точка. Принцип минимакса. Решение игр. Доминирующие и полезные стратегии. Нахождение оптимальных стратегий. Сведение игры к задаче линейного программирования.

40. Оптимизационный подход к проблемам управления и принятия решений. Допустимое множество и целевая функция. Формы записи задач математического программирования. Классификация задач математического программирования.

41. Постановка задачи линейного программирования. Стандартная и каноническая формы записи. Гиперплоскости и полупространства. Допустимые множества и оптимальные решения задач линейного программирования. Выпуклые множества.

42. Крайние точки и крайние лучи выпуклых множеств. Теоремы об отделяющей, опорной и разделяющей гиперплоскости. Представление точек допустимого множества задачи линейного программирования через крайние точки и крайние лучи.

43. Условия существования и свойства оптимальных решений задачи линейного программирования. Опорные решения системы линейных уравнений и крайние точки множества допустимых решений.

44. Сведение задачи линейного программирования к дискретной оптимизации. Симплекс-метод. Многокритериальные задачи линейного программирования.

45. Двойственные задачи. Критерии оптимальности, доказательство достаточности. Теорема равновесия, ее следствия и применения. Теоремы об альтернативах и лемма Фаркаша в теории линейных неравенств.

46. Геометрическая интерпретация двойственных переменных и доказательство необходимости в основных теоремах теории двойственности. Зависимость оптимальных решений задачи линейного программирования от параметров.

47. Локальный и глобальный экстремум. Необходимые условия безусловного экстремума дифференцируемых функций. Теорема о седловой точке. Необходимые условия экстремума дифференцируемой функции на выпуклом множестве. Необходимые условия Куна-Таккера. Задачи об условном экстремуме и метод множителей Лагранжа.

48. Выпуклые функции и их свойства. Задание выпуклого множества с помощью выпуклых функций. Постановка задачи выпуклого программирования и формы их записи. Простейшие свойства оптимальных решений.

49. Необходимые и достаточные условия экстремума дифференцируемой выпуклой функции на выпуклом множестве и их применение. Теорема Удзавы. Теорема Куна-Таккера и ее геометрическая интерпретация.

50. Основы теории двойственности в выпуклом программировании. Линейное программирование как частный случай выпуклого. Понятие о негладкой выпуклой оптимизации. Субдифференциал.

51. Классификация методов безусловной оптимизации. Скорости сходимости. Методы первого порядка. Градиентные методы. Методы второго порядка. Метод Ньютона и его модификации. Квазиньютоновские методы. Методы переменной метрики.

52. Методы сопряженных градиентов. Конечно-разностная аппроксимация производных. Конечно-разностные методы. Методы нулевого порядка. Методы покоординатного спуска, Хука-Дживса, сопряженных направлений.

53. Методы деформируемых конфигураций. Симплексные методы. Комплекс-методы. Решение задач многокритериальной оптимизации методами прямого поиска.

54. Основные подходы к решению задач с ограничениями. Классификация задач и методов. Методы проектирования. Метод проекции градиента. Метод условного градиента.

55. Методы сведения задач с ограничениями к задачам безусловной оптимизации. Методы внешних и внутренних штрафных функций. Комбинированный метод проектирования и штрафных функций. Метод зеркальных построений. Метод скользящего допуска.

56. Задачи стохастического программирования. Стохастические квазиградиентные методы. Прямые и непрямые методы. Метод проектирования стохастических квазиградиентов.

57. Методы конечных разностей в стохастическом программировании. Методы стохастической аппроксимации. Методы с операцией усреднения. Методы случайного поиска.

58. Стохастические задачи с ограничениями вероятностей природы. Прямые методы. Стохастические разностные методы. Методы с усреднением направлений спуска. Специальные приемы регулировки шага.

59. Методы и задачи дискретного программирования. Задачи целочисленного линейного программирования. Методы отсечения Гомори. Метод ветвей и границ. Задача о назначениях. Венгерский алгоритм. Задачи оптимизация на сетях и графах.

60. Метод динамического программирования для многошаговых задач принятия решений. Принцип оптимальности Беллмана. Основное функциональное уравнение. Вычислительная схема метода динамического программирования.

61. Основные понятия теории управления: цели и принципы управления, динамические системы. Математическое описание объектов управления: пространство состояний, передаточные функции, структурные схемы.

62. Основные задачи теории управления: стабилизация, слежение, программное управление, оптимальное управление, экстремальное регулирование. Классификация систем управления.

63. Структуры систем управления: разомкнутые системы, системы с обратной связью, комбинированные системы. Динамические и статические характеристики систем управления: переходная и весовая функции и их взаимосвязь, частотные характеристики. Типовые динамические звенья и их характеристики.

64. Понятие об устойчивости систем управления. Устойчивость по Ляпунову, асимптотическая, экспоненциальная устойчивость. Устойчивость по первому приближению. Функции Ляпунова. Теоремы об устойчивости и неустойчивости.

65. Устойчивость линейных стационарных систем. Критерии Ляпунова, Льенара-Шипара, Гурвица, Михайлова. Устойчивость линейных нестационарных систем. Метод сравнения в теории устойчивости: леммы Гронуолла-Беллмана, Бихари, неравенство Чаплыгина. Устойчивость линейных систем с обратной связью: критерий Найквиста, большой коэффициент усиления.

66. Методы синтеза обратной связи. Управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость. Дуальность управляемости и наблюдаемости. Канонические формы. Линейная стабилизация. Стабилизация по состоянию, по выходу. Наблюдатели состояния.

67. Качество процессов управления в линейных динамических системах. Показатели качества переходных процессов. Методы оценки качества. Коррекция систем управления.

68. Управление при действии возмущений. Различные типы возмущений: операторные, координатные. Инвариантные системы. Волновое возмущение. Неволновое возмущение. Метод квазирасщепления. Следящие системы.

69. Релейная обратная связь: алгебраические и частотные методы исследования.

70. Стабилизация регулятором переменной структуры: скалярные и векторные скользящие режимы.

71. Универсальный регулятор (стабилизатор Нуссбаума).

72. Абсолютная устойчивость. Геометрические и частотные критерии абсолютной устойчивости. Абсолютная стабилизация. Адаптивные системы стабилизации: метод скоростного градиента, метод целевых неравенств.

73. Управление в условиях неопределенности. Позитивные динамические системы: основные определения и свойства, стабилизация позитивных систем при неопределенности.

74. Аналитическое конструирование. Идентификация динамических систем. Экстремальные регуляторы – самооптимизация.

75. Классификация дискретных систем автоматического управления. Уравнения импульсных систем во временной области. Разомкнутые системы. Описание импульсного элемента. Импульсная характеристика приведенной непрерывной части. Замкнутые системы.

76. Уравнения разомкнутых и замкнутых импульсных систем относительно решетчатых функций. Дискретные системы. ZET-преобразование решетчатых функций и его свойства.

77. Передаточная, переходная и весовая функции импульсной системы. Классификация систем с несколькими импульсными элементами. Многомерные импульсные системы. Описание многомерных импульсных систем с помощью пространства состояний.

78. Устойчивость дискретных систем. Исследование устойчивости по первому приближению, метод функций Ляпунова, метод сравнения. Теоремы об устойчивости: критерий Шора-Куна. Синтез дискретного регулятора по состоянию и по выходу, при наличии возмущений.

79. Элементы теории реализации динамических систем.

80. Консервативные динамические системы. Элементы теории бифуркации.

81. Основные виды нелинейностей в системах управления. Методы исследования поведения нелинейных систем.

82. Автоколебания нелинейных систем, отображение А. Пуанкаре, функция последования, диаграмма Ламеррея. Орбитальная устойчивость. Теоремы об устойчивости предельных циклов: Андронова-Витта, Кенигса. Существование предельных циклов: теоремы Бендиксона, Дюлока.

83. Дифференциаторы выхода динамической системы.

84. Гладкие нелинейные динамические системы на плоскости: анализ управляемости, наблюдаемости, стабилизируемости и синтез обратной связи.

85. Управление системами с последствием.

86. Классификация оптимальных систем. Задачи оптимизации. Принцип максимума Понтрягина. Динамическое программирование.

87. Управление сингулярно-возмущенными системами.

88.  $H_2$ - и  $H_\infty$ -стабилизация. Minimax-стабилизация.

89. Игровой подход к стабилизации.  $I_1$ -оптимизация управления. Вибрационная стабилизация.

90. Эвристические методы стабилизации: нейросети, размытые множества, интеллектуальное управление.

**Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена в аспирантуру по научной специальности 2.3.1 Системный анализ, управление и обработка информации, статистика**

**Основная литература**

1. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ : учебное пособие / Ф. П. Тарасенко. - М. : КНОРУС, 2010. - 224 с.
2. Антонов А.В. Системный анализ : учебник / А.В. Антонов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФРА-М, 2020. - 366 с.
3. Корилов А.М. Теория систем и системный анализ : учебное пособие / А.М. Корилов, С.Н. Павлов. – М. : ИНФРА-М, 2019. - 288 с.
4. Кузнецов В.А. Системный анализ, оптимизация и принятие решений : учебник для студентов высших учебных заведений / В.А. Кузнецов, А.А. Черепяхин. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 256 с.
5. Безручко В.Т. Информатика (курс лекций) : учебное пособие / В.Т. Безручко. – М. : ИНФРА-М, 2020. - 432 с.
6. Грошев А.С. Информатика : учебник для вузов / А.С. Грошев, П.В. Закляков - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : ДМК Пресс, 2014. - 592 с.
7. Жмакин А.П. Архитектура ЭВМ : учебное пособие / А.П. Жмакин, - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб. :БХВ - Петербург, 2010. - 347 с.
8. Залогова Л. А. Компьютерная графика / Л. А. Залогова; [науч. ред. С. В. Русаков]. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. - 245 с.
9. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики : пособие / Е.А. Никулин. - СПб. : БХВ-Петербург, 2015. - 554 с.
10. Богачёв К.Ю. Основы параллельного программирования : учебное пособие / К. Ю. Богачёв. - 4-е изд. – М. : Лаборатория знаний, 2020. - 345 с.
11. Федотов И.Е. Модели параллельного программирования : практическое пособие / И.Е. Федотов – М. : СОЛОН-Пр., 2017. - 392 с.
12. Немнюгин С.А. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем : пособие / С.А. Немнюгин, О.Л. Стесик. - СПб. : БХВ-Петербург, 2014. - 397 с.
13. Голицына О.Л. Базы данных : учебное пособие / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, И.И. Попов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : ИНФРА-М, 2020. - 400 с.
14. Агальцов В.П. Базы данных : в 2 кн. Книга 1. Локальные базы данных : учебник / В.П. Агальцов. - М. : ИНФРА-М, 2017. - 352 с.
15. Агальцов В.П. Базы данных : в 2 кн. Книга 2. Распределенные и удаленные базы данных : учебник / В.П. Агальцов. - М. : ИНФРА-М, 2018. - 271 с.
16. Блягоз З.У. Теория вероятностей и математическая статистика. Курс лекций : учебное пособие / З.У. Блягоз. - СПб. : Лань, 2018. - 224 с.
17. Геворкян П.С. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие / П.С. Геворкян, А.В. Потемкин, И.М. Эйсымонт. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 176 с.
18. Гайдук А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие / А.Р. Гайдук, В.Е. Беляев, Т.А. Пьявченко. - 5-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2019. - 464 с.
19. Голубева Н.В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие / Н.В. Голубева. - СПб. : Лань, 2016. - 192 с.
20. Коновалов Б.И. Теория автоматического управления : учебное пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев. - СПб. : Лань, 2016. - 224 с.
21. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления : учебное пособие / А.А. Первозванский. - СПб. : Лань, 2015. - 624 с.
22. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение,



моделирование в MATLAB : учебное пособие / А.Ю. Ощепков. - 3-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2018. - 208 с.

23. Певзнер Л.Д. Теория автоматического управления. Задачи и решения : учебное пособие / Л.Д. Певзнер. - СПб. : Лань, 2016. - 604 с.

24. Чикуров Н.Г. Моделирование систем и процессов : учебное пособие / Н.Г. Чикуров. - М. : РИОР, 2013. - 398 с.

25. Бахвалов Н.С. Численные методы в задачах и упражнениях : учебное пособие / Н.С. Бахвалов, А.В. Лапин, Е.В. Чижонков ; под редакцией В.А. Садовниченко. - 4-е изд. - М. : Лаборатория знаний, 2015. - 243 с.

26. Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах : учебное пособие / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. - 4-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2015. - 448 с.

27. Шевцов Г.С. Численные методы линейной алгебры : учебное пособие / Г.С. Шевцов, О.Г. Крюкова, Б.И. Мызникова. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб. : Лань, 2011. - 496 с.

28. Волков Е. А. Численные методы : учебник / Е. А. Волков. - 5-е изд. - СПб. : Лань, 2008. - 256 с.

29. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учебное пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. - СПб. : Лань, 2015. - 512 с.

30. Лесин В.В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В.В. Лесин, Ю.П. Лисовец. - СПб. : Лань, 2016. - 344 с.

31. Колбин В.В. Специальные методы оптимизации : учебное пособие / В.В. Колбин. - СПб. : Лань, 2014. - 384 с.

32. Окулов С.М. Динамическое программирование : учебное пособие / С.М. Окулов, О.А. Пестов. - М. : Издательство 'Лаборатория знаний', 2020. - 299 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Адлер Ю. П. Системное статистическое мышление: сложные системы и статистическое мышление : учебное пособие / Ю. П. Адлер. – Москва : МИСИС, 2017. – 88 с. – ISBN 978-5-906846-67-9. – URL: <https://e.lanbook.com/book/108071> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

2. Кузнецов В. А. Системный анализ, оптимизация и принятие решений : учебник для студентов высших учебных заведений / В.А. Кузнецов, А.А. Черепяхин. – Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2017. – 256 с. – ISBN 978-5-906818-95-9. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/908528> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

3. Лесин В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 344 с. – ISBN 978-5-8114-1217-4. – URL: <https://e.lanbook.com/book/86017> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

4. Трофимов В. Б. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учебное пособие / В. Б. Трофимов, С. М. Кулаков. – 2-е изд., испр. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 256 с. : ил., табл. – ISBN 978-5-9729-0488-4. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1167725> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

5. Горлач Б. А. Исследование операций : учебное пособие / Б. А. Горлач. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-1430-7. – URL: <https://e.lanbook.com/book/4865> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

6. Девятков В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография / В.В. Девятков. – Москва : Вуз. учеб.: ИНФРА-М, 2013. – 448 с. – (Научная книга). – ISBN 978-5-9558-0338-8. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/427491> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

7. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – 2-е изд., перераб. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 608 с. – ISBN 978-5-9221-

1132-4. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/544728> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

8. Ржевский С. В. Исследование операций : учебное пособие / С. В. Ржевский. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 480 с. – ISBN 978-5-8114-1480-2. – URL : <https://e.lanbook.com/book/32821> (дата обращения: 09.04.2023). – Текст : электронный.

### **Информационное обеспечение**

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам - <http://window.edu.ru>
2. Институт системного анализа РАН - <http://www.isa.ru>
3. Консультационный центр MATLAB компании Softline - <http://matlab.exponenta.ru>
4. Научная электронная библиотека - <http://elibrary.ru>
5. Общероссийский математический портал - <http://www.mathnet.ru>