

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. Е. ЕВСЕВЬЕВА»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
 Т. И. Шукшина
« 22 » марта 2025 г.



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ)**

**Научная специальность – 1.2.2. Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

Саранск 2025

Составитель:

Базаркина Ольга Александровна, кандидат физико–математических наук, доцент кафедры математики, экономики и методик обучения

Программа утверждена на заседании кафедры математики, экономики и методик обучения, протокол № 9 от 16.01.2025 г.

И. о. зав. кафедрой математики, экономики и методик обучения

« 16 » января 2025 г.



И. В. Ульянова

Программа утверждена на заседании Совета физико–математического факультета, протокол № 7 от 29.01.2025 г.

Председатель Совета факультета

« 29 » января 2025 г.



М. В. Ладошкин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Кандидатский экзамен по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы, комплексы программ (физико–математические науки) является необходимым компонентом подготовки специалиста высшей квалификации – кандидата наук по обозначенному направлению.

Цель кандидатского экзамена заключается в определении уровня профессиональной компетентности и готовности аспиранта к научно–исследовательской деятельности в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

Предлагаемая программа соответствует паспорту специальности, размещённого на сайте Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации.

Программа кандидатского экзамена составлена на основании следующих документов:

- Федеральный закон РФ от 29.12 2012 № 273–ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;

- Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно–педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;

- Постановление Правительства РФ от 30 ноября 2021 г. № 2122 «Об утверждении Положения о подготовке научных и научно–педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»

Кандидатский экзамен по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы, комплексы программ (физико–математические науки) проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических по разделам: математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Продолжительность устного ответа на экзамене – 20 минут, время на подготовку к ответу на экзаменационный билет – до 60 минут. Приводимый в конце программы список литературы к кандидатскому экзамену является ориентировочным.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Раздел 1. Математическое моделирование

Основные понятия и определения курса дифференциальных уравнений в частных производных. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнения в частных производных 2–ого порядка. Основные характеристики. Приведение к

каноническому виду. Вывод уравнения колебаний струны. Постановка основных начально–краевых задач. Решение 1–ой начально–краевой задачи методом разделения переменных. Вывод уравнения теплопроводности. Постановка основных начально–краевых задач. О корректности постановки краевых задач для уравнений математической физики. Примеры некорректных краевых задач. Гармонические функции и их свойства. Формула Пуассона. Задача Коши для уравнения струны. Формула Даламбера. Задача Коши для уравнения теплопроводности. Единственность решения. Решение задачи Коши методом преобразования Фурье. Основные понятия математического моделирования. Универсальность математических моделей. Математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике. Методы построения математических моделей. Построение математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Примеры. Методы построения математических моделей. Вариационные принципы построения математических моделей. Вариационный принцип Ферма. Вариационный принцип Гамильтона. Примеры. Методы построения математических моделей. Иерархический подход и метод аналогий в построении математических моделей. Примеры. Методы исследования математических моделей. Применение методов подобия. Принцип максимума и теоремы сравнения. Метод осреднения. Метод перехода к дискретным моделям. Модели динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Этапы построения математических моделей. Проверка адекватности математических моделей. Математические модели в научных исследованиях. Понятие модели, метода моделирования. Общая схема метода моделирования сложных систем. Дифференциальные модели. Общий вид модели, описываемой системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Фундаментальная система решений. Понятие положение равновесия автономной системы. Классификация положений равновесия системы линейных автономных дифференциальных уравнений на плоскости. Случай различных действительных собственных чисел. Случай кратного собственного числа. Случай комплексно–сопряженных чисел.

Раздел 2. Численные методы

Классификация численных методов решения систем линейных уравнений. Основные трудности решения систем линейных уравнений. Метод исключения Гаусса. Метод прогонки для решения систем линейных уравнений с трехдиагональной матрицей. Численные методы решения нелинейных уравнений: метод половинного деления, метод простой итерации, метод Ньютона и некоторые его модификации. Метод секущих, метод парабол. Методы нахождения решения систем нелинейных уравнений. Ускорение сходимости по Эйткену. Численные методы оптимизации. Численные методы отыскания безусловного экстремума функции одной и многих переменных. Численные методы отыскания условного экстремума. Постановка задачи об аппроксимации функции. Интерполяция. Интерполяционный многочлен в форме Лагранжа. Интерполяционный

многочлен в форме Ньютона. Погрешность и сходимость интерполяции. Интерполяция сплайнами. Интерполяция и аппроксимация функциональных зависимостей. Приближение методом наименьших квадратов. Постановка задачи численного дифференцирования. Дифференцирование интерполяционного многочлена Ньютона. Безразностные формулы численного дифференцирования для равноотстоящих узлов. Применение ряда Тейлора для численного дифференцирования. Постановка задач численного интегрирования. Формулы численного интегрирования. Метод Рунге – Ромберга – Рундсона повышения порядков точности. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Понятие о методе конечных разностей. Порядок точности разностной схемы. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Метод Эйлера с пересчетом. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Рунге–Кутты. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Адамса. Неявные схемы. Понятие о жестких системах. Постановка краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения. Метод стрельбы. Конечно–разностный метод решения краевых задач. Численные методы решения интегральных уравнений. Метод замены интеграла квадратурной суммой. Метод последовательных приближений. Метод Галёркина. Численные методы решения уравнений в частных производных. Основные понятия метода сеток. Задача Дирихле для уравнения Лапласа. Явные и неявные разностные схемы. Аппроксимация, устойчивость, сходимость разностных схем. Примеры неустойчивых разностных схем. Практические правила исследования устойчивости разностных схем. Спектральный признак устойчивости. Принцип максимума. Метод гармоник Фурье исследования устойчивости разностных схем. Применение метода гармоник Фурье для исследования устойчивости разностных схем в условиях переноса. Применение метода гармоник Фурье для исследования устойчивости разностных схем для уравнения теплопроводности. Численные методы решения задач математической физики. Основные методы построения и анализа разностных схем. Критерий фон Неймана для анализа устойчивости разностных схем.

Раздел 3. Комплексы программ

Понятие алгоритма, способы представления алгоритмов. Алгоритмы сортировки и поиска в линейных массивах. Структуры данных: массивы, стеки, очереди, деревья. Основные понятия теории графов. Технологии разработки комплексов прикладных программ. Структурное программирование. Основы построения языков программирования высокого уровня: синтаксис, семантика, данные, операции, передача параметров в процедурах и функциях. Программное обеспечение для научных исследований и расчетов. Модель, алгоритм, программа. Вычислительный эксперимент. Принципы проведения вычислительного эксперимента. Представление об алгоритмических языках программирования.

Представление о языках программирования высокого уровня. Пакеты прикладных программ для научных исследований и расчетов. Современные архитектуры для высокопроизводительных вычислений. Примеры задач математического моделирования для суперЭВМ. Вычислительные функции среды MATLAB. Вычислительные функции среды Mathematica. Библиотека подпрограмм Группы по численным алгоритмам (NAG). Программы для общих математических, статистических и физических расчетов (STATISTICA, MathCad, MathLab, MATHEMATICA). Сущность и методы программной инженерии. Процесс разработки программного обеспечения. Инвариантные проблемы разработки ПО. Вариативные проблемы разработки ПО. Модели процесса разработки программного обеспечения. Жизненный цикл программного обеспечения. Классические модели процессов создания программного обеспечения. Визуальное моделирование систем. Цели и значение моделирования. Принципы моделирования. Графические нотации моделирования. Технология разработки программного обеспечения и средства автоматизации.

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Сформулируйте основные понятия и определения курса дифференциальных уравнений в частных производных.
2. Охарактеризуйте основные уравнения математической физики.
3. Приведите классификацию линейных дифференциальных уравнения в частных производных 2-ого порядка. Основные характеристики. Приведение к каноническому виду.
4. Вывод уравнения колебаний струны. Сформулируйте постановку основных начально–краевых задач. Охарактеризуйте решение 1-ой начально–краевой задачи методом разделения переменных.
5. Вывод уравнения теплопроводности. Сформулируйте постановку основных начально–краевых задач.
6. Сформулируйте понятие о корректности постановки краевых задач для уравнений математической физики. Приведите примеры некорректных краевых задач.
7. Сформулируйте понятие о гармонических функциях и опишите их свойства. Охарактеризуйте формулу Пуассона.
8. Сформулируйте задачу Коши для уравнения струны. Охарактеризуйте формулу Даламбера.
9. Сформулируйте задачу Коши для уравнения теплопроводности. Докажите единственность решения. Приведите решение задачи Коши методом преобразования Фурье.
10. Сформулируйте основные понятия математического моделирования. В чем заключается универсальность математических моделей. Приведите примеры математических моделей в механике, гидродинамике, электродинамике.

11. Охарактеризуйте методы построения математических моделей. Опишите построение математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Приведите примеры.

12. Охарактеризуйте методы построения математических моделей. Опишите вариационные принципы построения математических моделей. В чем заключается вариационный принцип Ферма. Охарактеризуйте вариационный принцип Гамильтона. Приведите примеры.

13. Охарактеризуйте методы построения математических моделей. Опишите иерархический подход и метод аналогий в построении математических моделей. Приведите примеры.

14. Охарактеризуйте методы исследования математических моделей. Опишите применение методов подобия. Сформулируйте принцип максимума и теоремы сравнения. Опишите метод осреднения. Охарактеризуйте метод перехода к дискретным моделям.

15. Охарактеризуйте модели динамических систем. Раскройте смысл понятий: особые точки, бифуркации, динамический хаос.

16. Охарактеризуйте этапы построения математических моделей. Как осуществить проверку адекватности математических моделей. Приведите примеры математические модели в научных исследованиях.

17. Сформулируйте понятие модели, метода моделирования. Опишите общую схему метода моделирования сложных систем.

18. Охарактеризуйте дифференциальные модели. Какой общий вид модели, описываемой системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Что называется фундаментальной системой решений.

20. Сформулируйте понятие положение равновесия автономной системы. Приведите классификацию положений равновесия системы линейных автономных дифференциальных уравнений на плоскости. Опишите случай различных действительных собственных чисел. Опишите случай кратного собственного числа. Рассмотрите случай комплексно-сопряженных чисел.

21. Приведите классификацию численных методов решения систем линейных уравнений. Каковы основные трудности решения систем линейных уравнений. Охарактеризуйте метод исключения Гаусса. Охарактеризуйте метод прогонки для решения систем линейных уравнений с трехдиагональной матрицей.

22. Охарактеризуйте численные методы решения нелинейных уравнений: метод половинного деления, метод простой итерации, метод Ньютона и некоторые его модификации. Метод секущих, метод парабол.

23. Охарактеризуйте методы нахождения решения систем нелинейных уравнений. Ускорение сходимости по Эйткену.

24. Охарактеризуйте численные методы оптимизации, численные методы отыскания безусловного экстремума функции одной и многих переменных, численные методы отыскания условного экстремума.

25. Сформулируйте постановку задачи об аппроксимации функции. Интерполяция. Интерполяционный многочлен в форме Лагранжа.

Интерполяционный многочлен в форме Ньютона. Погрешность и сходимость интерполяции. Интерполяция сплайнами.

26. Изложите суть интерполяции и аппроксимации функциональных зависимостей. Охарактеризуйте приближение методом наименьших квадратов.

27. Сформулируйте постановку задачи численного дифференцирования. Охарактеризуйте дифференцирование интерполяционного многочлена Ньютона. Безразностные формулы численного дифференцирования для равноотстоящих узлов. Опишите применение ряда Тейлора для численного дифференцирования.

28. Сформулируйте постановку задач численного интегрирования. Охарактеризуйте формулы численного интегрирования. Опишите метод Рунге – Ромберга – Рундсона повышения порядков точности.

29. Охарактеризуйте численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Сформулируйте понятие о методе конечных разностей. Порядок точности разностной схемы.

30. Охарактеризуйте численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Эйлера. Метод Эйлера с пересчетом.

31. Охарактеризуйте численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Рунге–Кутты.

32. Охарактеризуйте численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод Адамса.

33. Опишите неявные схемы. Сформулируйте понятия о жестких системах.

34. Сформулируйте постановку краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения. Опишите метод стрельбы. Охарактеризуйте конечно–разностный метод решения краевых задач.

35. Охарактеризуйте численные методы решения интегральных уравнений. Опишите метод замены интеграла квадратурной суммой. Метод последовательных приближений. Опишите метод Галёркина.

36. Охарактеризуйте численные методы решения уравнений в частных производных. Сформулируйте основные понятия метода сеток. Сформулируйте задачу Дирихле для уравнения Лапласа.

37. Охарактеризуйте явные и неявные разностные схемы. Охарактеризуйте понятия аппроксимация, устойчивость, сходимость разностных схем. Приведите примеры неустойчивых разностных схем.

38. Сформулируйте практические правила исследования устойчивости разностных схем. Охарактеризуйте спектральный признак устойчивости. Сформулируйте принцип максимума.

39. Охарактеризуйте метод гармоник Фурье исследования устойчивости разностных схем. Опишите применение метода гармоник Фурье для исследования устойчивости разностных схем в условиях переноса. Опишите применение метода гармоник Фурье для исследования устойчивости разностных схем для уравнения теплопроводности.

40. Охарактеризуйте численные методы решения задач математической физики. Опишите основные методы построения и анализа разностных схем. Сформулируйте критерий фон Неймана для анализа устойчивости разностных схем.

41. Сформулируйте понятие алгоритма. Перечислите способы представления алгоритмов.

42. Охарактеризуйте алгоритмы сортировки и поиска в линейных массивах.

43. Охарактеризуйте структуры данных: массивы, стеки, очереди, деревья. Сформулируйте основные понятия теории графов.

44. Охарактеризуйте технологии разработки комплексов прикладных программ. Что представляет собой структурное программирование.

45. Изложите основы построения языков программирования высокого уровня: синтаксис, семантика, данные, операции, передача параметров в процедурах и функциях.

46. Охарактеризуйте программное обеспечение для научных исследований и расчетов.

47. Охарактеризуйте понятия: модель, алгоритм, программа. Сформулируйте понятие вычислительного эксперимента. Перечислите принципы проведения вычислительного эксперимента.

48. Сформулируйте представление об алгоритмических языках программирования.

49. Сформулируйте представление о языках программирования высокого уровня.

50. Охарактеризуйте пакеты прикладных программ для научных исследований и расчетов.

51. Охарактеризуйте современные архитектуры для высокопроизводительных вычислений. Приведите примеры задач математического моделирования для суперЭВМ.

52. Опишите вычислительные функции среды MATLAB.

53. Опишите вычислительные функции среды Mathematica.

54. Охарактеризуйте библиотеку подпрограмм Группы по численным алгоритмам (NAG).

55. Охарактеризуйте программы для общих математических, статистических и физических расчетов (STATISTICA, MathCad, MathLab, MATHEMATICA).

56. Опишите сущность и методы программной инженерии.

57. Охарактеризуйте процесс разработки программного обеспечения. Изложите инвариантные проблемы разработки ПО, вариативные проблемы разработки ПО.

58. Опишите модели процесса разработки программного обеспечения. Что такое жизненный цикл программного обеспечения? Охарактеризуйте классические модели процессов создания программного обеспечения.

59. Охарактеризуйте визуальное моделирование систем. Сформулируйте цели и значение моделирования, принципы моделирования, графические нотации моделирования.

60. Охарактеризуйте технологии разработки программного обеспечения и средства автоматизации.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ОТВЕТА НА ЭКЗАМЕНЕ

Оценка	Показатели
Отлично	Самостоятельно и в полном объеме раскрыты теоретические и практические вопросы в соответствии с содержанием учебного материала. Демонстрируется владение понятийным аппаратом, способность к применению знаний и умений при решении исследовательских и практических задач.
Хорошо	Раскрыто основное содержание материала билета. Приводится верная трактовка сущности понятий, демонстрируется владение терминологией. Допускаются в изложении незначительные нарушения последовательности, неточности при использовании терминологии, при формулировании выводов и обобщений. Незначительные ошибки допускаются в обосновании решения исследовательских и практических задач.
Удовлетворительно	Усвоено основное содержание учебного материала на репродуктивном уровне, его изложение осуществляется фрагментарно и не всегда последовательно. Недостаточно используются во время ответа знания и умения, возникают затруднения при формулировке выводов и обобщений. Допущены многочисленные ошибки и неточности при использовании научной терминологии.
Неудовлетворительно	Не раскрыто основное содержание учебного материала. Допущены многочисленные ошибки фактического характера, как в определении понятий, так и при решении практических задач.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Черткова, Е. А. Программная инженерия. Визуальное моделирование программных систем : учебник для высшего профессионального образования / Е. А. Черткова. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 146 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978–5–534–18094–7. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 1 – URL: <https://urait.ru/bcode/539955/p.1>.

2. Зализняк, В. Е. Численные методы. Основы научных вычислений : учебник и практикум для вузов / В. Е. Зализняк. – 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 356 с. – (Высшее образование). — ISBN 978–5–534–02714–3. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 13 – URL: <https://urait.ru/bcode/535676/p.13> (дата обращения: 26.04.2024).

3. Численные методы : учебник и практикум для вузов / У. Г. Пирумов [и др.] ; под редакцией У. Г. Пирумова. – 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. – 421 с. – (Высшее образование). – ISBN 978–5–534–03141–6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. с. 1 – URL: <https://urait.ru/bcode/510769/p.1> (дата обращения: 26.04.2024).

4. Бордовский, Г. А. Физические основы математического моделирования : учебник и практикум для вузов / Г. А. Бордовский, А. С. Кондратьев, А. Чоудери. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 319 с. – (Высшее образование). – ISBN 978–5–534–05365–4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/452264>

5. Введение в математическое моделирование : учебное пособие / ред. П. В. Трусов. – Москва : Логос, 2004. – 439 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84691>. – ISBN 5–94010–272–7. – Текст : электронный.

6. Самарский, А. А. Математическое моделирование: идеи, методы, примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – Москва : Физматлит, 2005. – 320 с. : ил. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68976>. – ISBN 978–5–9221–0120–2. – Текст : электронный.

7. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Москва : Высшая школа, 2001. – 343 с. – ISBN 5–06–003860–2. – Текст : непосредственный.

Дополнительная литература

1. Вычислительные методы, алгоритмы и аппаратно–программный инструментальный параллельного моделирования природных процессов [Электронный ресурс] : научная монография / М. Г. Курносов, В. Г. Хорошевский, С. Н. Мамоиленко и др. ; под ред. В. Г. Хорошевский. –

Новосибирск : Сибирское отделение Российской академии наук, 2012. – 355 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru>.

2. Данилов, Н. Н. Математическое моделирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. Н. Данилов. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. – 98 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru>.

3. Численные методы математической физики [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. М. Вержбицкий. – М. : Директ–Медиа, 2013. – 212 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru>.

4. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования технологических процессов: учебное пособие для вузов / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – 2-е изд., стер. – М. : Флинта, 2011. – 229 с.

5. Адамар Ж. Задача Коши для линейных уравнений с частными производными гиперболического типа. М.: Наука, 1978 3. Балдин, К.В. Математическое программирование : учебник / К.В. Балдин, А.В. Рукосуев, Н.А. Брызгалов ; под ред. К.В. Балдин. – М. : Дашков и Ко, 2012. – 219 с.

6. Бахвалов Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) / Н. С. Бахвалов. – М.: Наука, 1975

7. Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – 7-е изд. (эл.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 636 с.

8. Берс Л., Джон Ф., Шехтер М. Уравнения с частными производными. М.: Мир, 1966

9. Вайнберг, А. М. Математическое моделирование процессов переноса. Решение нелинейных краевых задач / А. М. Вайнберг. – М.: Иерусалим, 2009.

10. Ващенко Г.В. Вычислительная математика. Основы алгебраической и тригонометрической интерполяции. Красноярск: СибГТУ, 2008

11. Ващенко, Г. В. Вычислительная математика. Основы конечных методов решения систем линейных алгебраических уравнений / Г. В. Ващенко. – Красноярск: СибГТУ, 2005.

12. Власова Б.А., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Приближенные методы математической физики: Учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.

13. Ворожцов Е.В. Сборник задач по теории разностных схем (учебное пособие). Новосибирск: НГТУ, 2000.

14. Горбузов В.Н. Интегралы дифференциальных систем. Гродно: ГрГУ, 2006.

15. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. М.: Наука, 1967.

16. Демченко, М.С. Основы технологии имитационного моделирования / М.С. Демченко. – М. : Лаборатория книги, 2012. – 171 с.

17. Душин, В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем : учебник / В.К. Душин. – 5-е изд. – М. : Дашков и Ко, 2014. – 348 с.

18. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа (5-е изд.). М.–Л.: Физматлит, 1962 Кукуджанов В.Н. Численные методы в механике сплошных сред. Курс лекций. М.: МАТИ, 2006.
19. Кафтанова Ю. В., Специальные функции математической физики // Ю. Ф. Кафтанова. – М.: Наука, 2009.
20. Качала, В.В. Основы теории систем и системного анализа : учебное пособие для вузов / В.В. Качала. – 2-е изд., испр. – М. : Горячая линия – Телеком, 2012. – 210 с. : ил. – библиогр.: с. 206.
21. Колмогоров, А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – 7-е изд. – М. : Физматлит, 2012. – 573 с.
22. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций / В. Н. Кукуджанов. – М.: МФТИ, 2008.
23. Кукуджанов, В.Н. Численные методы в механике сплошных сред. Курс лекций. / В. Н. Кукуджанов. – М.: МАТИ, 2006.
24. Куликовский А.Г., Погорелов Н.В., Семенов А.Ю. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. М.: Физматлит, 2001.
25. Маликов, Р.Ф. Основы математического моделирования : учебное пособие для вузов / Р.Ф. Маликов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2010. – 366 с.
26. Мешечкин, В.В. Имитационное моделирование : учебное пособие / В.В. Мешечкин, М.В. Косенкова. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – 116 с.
27. Михайлов В.П. Дифференциальные уравнения в частных производных. М.: Наука, 1976.
28. Михлин С.Г. Линейные уравнения в частных производных. М.: Высшая школа, 1977.
29. Нагумо М. Лекции по современной теории уравнений в частных производных. М.: Мир, 1967.
30. Окулов, С.М. Программирование в алгоритмах / С.М. Окулов. – 5-е изд. (эл.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 384 с. 41. Основы численных методов : учебник. – М. : Директ–Медиа, 2013. – 847 с.
31. Петровский И.Г. Лекции об уравнениях с частными производными (3-е изд.). М.: Наука, 1961 46. Пирковский, А.Ю. Спектральная теория и функциональные исчисления для линейных операторов / А.Ю. Пирковский. – М. : МЦНМО, 2010. – 176 с.
32. Программирование и основы алгоритмизации : учебное пособие / В.К. Зольников, П.Р. Машевич, В.И. Анциферова, Н.Н. Литвинов. – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2011. – 341 с. 48.
33. Рутисхаузер Г. Алгоритм частных и разностей. М.: ИЛ, 1960.
34. Рыбина, Г. В. Технология построения динамических интеллектуальных систем / Г.В. Рыбина, С.С. Паронджанов. – М. : МИФИ, 2011. – 239 с.

35. Салмина, Н.Ю. Имитационное моделирование : учебное пособие / Н.Ю. Салмина. – Томск : Эль Контент, 2012. – 90 с.

36. Самарский А. А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры // А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.

37. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М.: Наука, 1971.

38. Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения) : учебное пособие. – М. : Директ–Медиа, 2013. – 400 с.

39. Численные методы. Линейная алгебра и нелинейные уравнения : учебное пособие. – М. : Директ–Медиа, 2013. – 432 с.

Электронно–образовательные ресурсы

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/> («Мир математических уравнений» – учебно–образовательная физико–математическая библиотека).

2. <http://mathnet.ru/> (Общероссийский портал поиска научной информации по математике, физике, информационным технологиям и смежным наукам, в том числе по математическому моделированию).

3. <http://biblio-online.ru> (ЭБС «Юрайт»)

4. <https://biblioclub.ru/> (ЭБС «Университетская библиотека ONLINE»)

5. <https://e.lanbook.com/> (ЭБС «Лань»)

6. <https://elibrary.ru> (Научная электронная библиотека)