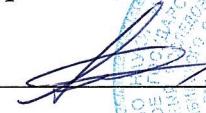


**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»
(КНЦ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН)**

**УТВЕРЖДАЮ:
Директор ФИЦ КНЦ СО РАН**


A.A. Шпедт
«25» августа 2022г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ»**

Научная специальность:

**1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы
программ»**

Отрасль наук:
физико-математические , технические науки

Красноярск 2022

1 Общие положения

Программа кандидатского экзамена разработана на кафедре фундаментальных дисциплин и методологии науки факультета подготовки кадров ФИЦ КНЦ СО РАН в соответствии со следующими документами:

- Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. №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)»;
- Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней»;
- Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФИЦ КНЦ СО РАН;
- Порядком сдачи кандидатских экзаменов и прикрепления лиц к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов;
- Паспортом научной специальности.

Цель проведения экзамена: оценить уровень знаний, умений и навыков в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ.

Экзамен по специальной дисциплине должен выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки экзаменуемого, знание общих концепций и методологических вопросов данной науки, истории ее формирования и развития, фактического материала, основных теоретических и практических проблем данной отрасли знаний.

К кандидатскому экзамену допускаются лица, прикрепленные к ФИЦ КНЦ СО РАН для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, и аспиранты, обучающиеся в ФИЦ КНЦ СО РАН по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – экзаменуемые).

Кандидатский экзамен по дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» проводится по билетам. Экзаменационный билет включает в себя три теоретических вопроса по данной научной специальности и отрасли науки, по которой готовится или подготовлена диссертация.

2 Содержание программы кандидатского экзамена

Общие сведения. Модель, моделирование

Основные понятия. Предметные, аналоговые и математические модели. Общая схема метода моделирования сложных систем. Метод математического моделирования. Классификация моделей. Модель “черного ящика”. Стационарные и динамические модели

Построение стационарной модели по дискретному набору данных

Связь задачи идентификации параметров стационарной модели типа “черный ящик” с задачей интерполяции и задачей наилучшего приближения функции. Системы Чебышева. Линейная интерполяция

Идентификация параметров нестационарной модели

Общая схема математического моделирования процесса с учетом эффектов памяти на основе дифференциальных и интегральных уравнений. Модель Больцмана–Вольтера

Интегральные преобразования

Ортонормированная система тригонометрических функций. Ряды Фурье. Преобразование Фурье и обратное преобразование. Понятие оконного преобразования. Вейвлет – преобразование. Примеры.

Обобщенные функции

Обобщенные производные. Преобразование Фурье обобщенных функций медленного роста. Вычисление прямого и обратного преобразований дельта–функции Дирака и ее производной. Преобразование Фурье тригонометрических функций. Преобразование Лапласа. Формула Меллина.

Дискретное преобразование Фурье

Алгоритм быстрого преобразования Фурье. Связь с непрерывным преобразованием. Теорема Котельникова–Шеннона. Условие Найквиста. Примеры

Дифференциальные модели

Общий вид модели, описываемой системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Применение преобразования Лапласа.

Классификация особых точек системы автономных уравнений на плоскости. Связь особых точек со стационарными решениями

Математические модели небесной механики

Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения Ньютона. Модель Солнечной системы. Невозмущенное и возмущенное движение космического аппарата

Математические модели жидких и газообразных сплошных сред

Сплошная vs. несплошная (а какая?) среда. Вязкость vs. идеальность. Элеровы vs. Лагранжевы координаты. Ламинарное vs. турбулентное течение. Интегральный vs. локальный параметр сплошной среды. Закон сохранения vs. балансовое соотношение параметра сплошной среды. Модель идеальной vs. вязкой сплошной среды. Осреднение по пространству vs. по времени. Влияние границы. Добавляем теплопроводность

Математические модели деформируемых сред

Тензоры напряжений и деформаций. Уравнения движения. Закон Гука. Система уравнений Ламе.

Вариационные принципы Лагранжа и Кастильяно. Волны. Основные уравнения теории пластичности

Основы вычислительных методов для моделей сплошной среды

Метод конечных разностей. Метод конечных объемов. Метод конечных элементов.

3 Перечень вопросов к кандидатскому экзамену по дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

- 1 Понятие модели, моделирования. Предметные, аналоговые и математические модели. Общая схема метода моделирования сложных систем.
- 2 Метод математического моделирования. Классификация моделей. Современные архитектуры для высокопроизводительных вычислений. Примеры задач математического моделирования для суперЭВМ.
- 3 Построение стационарной модели по дискретному набору данных. Связь задачи идентификации параметров стационарной модели типа “черный ящик” с задачей интерполяции и задачей наилучшего приближения функций.
- 4 Системы Чебышева. Определение системы Чебышева. Основные вопросы теории интерполирования. Примеры.
- 5 Линейная интерполяция. Практический способ интерполяции. Прямое построение интерполяционного многочлена Лагранжа и тригонометрического интерполяционного многочлена.
- 6 Разделенные разности. Интерполяционный многочлен в форме Ньютона. Интерполяция с кратными узлами. Многочлены Эрмита. Задачи на построение эрмитовых сплайнов.
- 7 Метод наименьших квадратов. Идея метода. Общая постановка задачи наилучшего приближения в гильбертовом пространстве. Неравенство Коши–Буняковского. Матрица Грама. Процесс ортогонализации Шмидта.

- 8 Интерполяционный и сглаживающий сплайны. Прямое построение кубического сплайна Эйлера. Граничные условия. Принцип минимума потенциальной энергии.
- 9 Равномерное приближение. Постановка задачи равномерного приближения. Существование решения. Единственность (теорема Хаара). Теорема Чебышева об альтернансе. Восстановление элемента наилучшего равномерного приближения по заданному альтернансу. Алгоритм построения альтернанса.
- 10 Идентификация параметров нестационарной модели. Общая схема математического моделирования процесса с учетом эффектов памяти на основе дифференциальных и интегральных уравнений. Модель Больцмана–Вольтера. Примеры моделей.
- 11 Интегральные преобразования. Ортонормированная система тригонометрических функций. Вычисление коэффициентов ряда Фурье. Преобразование Фурье и обратное преобразование. Понятие оконного преобразования. Вейвлет–преобразование. Примеры.
- 12 Обобщенные функции медленного роста. Обобщенные производные. Преобразование Фурье обобщенных функций. Вычисление прямого и обратного преобразований для дельта-функции Дирака и ее производной. Преобразование Фурье тригонометрических функций.
- 13 Преобразование Лапласа. Определение и общие свойства преобразования Лапласа. Обратное преобразование (формула Меллина). Способы вычисления обратного преобразования. Понятие свертки двух функций. Преобразование Лапласа от свертки.
- 14 Дискретное преобразование Фурье. Алгоритм быстрого преобразования Фурье. Связь с непрерывным преобразованием. Теорема Котельникова–Шеннона. Условие Найквиста. Примеры.
- 15 Модели типа Вольтера. Интегральная зависимость выходного сигнала от входного сигнала. Условие периодичности модели. Разностное ядро. Передаточная функция. Коэффициент усиления и фаза. Идентификация параметров модели по результатам испытаний. Случай многоканального входа и выхода.
- 16 Дифференциальные модели. Общий вид модели, описываемой системой линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Применение преобразования Лапласа. Собственные и присоединенные векторы. Фундаментальная система решений. Метод вариации постоянного вектора. Примеры моделей.
- 17 Понятие положения равновесия автономной системы. Классификация положений равновесия системы линейных автономных дифференциальных уравнений на плоскости. Случай различных действительных собственных чисел: устойчивый и неустойчивый узлы, седло. Случай кратного собственного числа: неустойчивые и устойчивые дикритический и вырожденный узлы. Случай комплексно-сопряженных собственных чисел: неустойчивый и устойчивый фокусы, центр.

- 18 Небесная механика. Законы Кеплера. Закон всемирного тяготения Ньютона. Уравнения движения планет Солнечной системы.
- 19 Ограниченнaя задача двух тел: невозмущенное движение искусственного спутника Земли. Первые интегралы. Уравнение Кеплера. Возмущенное движение искусственного спутника Земли.
- 20 Сплошная vs. несплошная (а какая?) среда. Вязкость vs. идеальность. Элеровы vs. Лагранжевы координаты. Ламинарное vs. турбулентное течение.
- 21 Интегральный vs. локальный параметр сплошной среды. Закон сохранения vs. балансовое соотношение параметра сплошной среды. Замкнутые модель идеальной vs. вязкой сплошной среды.
- 22 Осреднение полной модели сплошной среды по пространству vs. по времени. Влияние границы. Модели теплопроводной сплошной среды.
- 23 Теория упругости. Тензоры напряжений и деформаций. Инварианты тензоров. Уравнения движения. Закон Гука. Система уравнений Ламе.
- 24 Упругие волны. Продольные и поперечные волны. Поверхностные волны Рэлея. Волны Лява.
- 25 Особенности применения метода конечных разностей для моделирования движения сплошной среды.
- 26 Метод конечных объемов и численное моделирование сплошной среды. Пакеты прикладных программ, моделирования сложных движений сплошной среды.
- 27 Метод конечных элементов и его применение к задачам теории упругости. Лагранжевы vs. эрмитовы конечные элементы. Понятие меры и интеграла Лебега. Метрические и нормированные пространства. Пространства интегрируемых функций. Пространства Соболева.
- 28 Линейные непрерывные функционалы. Теорема Хана–Банаха. Линейные операторы. Элементы спектральной теории. Дифференциальные и интегральные операторы.
- 29 Экстремальные задачи. Выпуклый анализ. Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Выпуклые задачи на минимум. Математическое программирование, линейное программирование, выпуклое программирование. Задачи на минимакс.
- 30 Основы вариационного исчисления. Задачи оптимального управления. Принцип максимума. Принцип динамического программирования.
- 31 Теория вероятностей. Математическая статистика. Аксиоматика теории вероятностей. Вероятность, условная вероятность. Независимость. Случайные величины и векторы. Элементы корреляционной теории случайных векторов.
- 32 Элементы теории случайных процессов. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения.
- 33 Элементы теории проверки статистических гипотез. Основные понятия теории статистических решений. Основы теории информации.

- 34 Принятие решений. Общая проблема решения. Функция потерь. Байесовский и минимаксный подходы. Метод последовательного принятия решения.
- 35 Исследование операций и задачи искусственного интеллекта. Экспертизы и неформальные процедуры. Автоматизация проектирования. Искусственный интеллект. Распознавание образов
- 36 Численные методы. Интерполяция и аппроксимация функциональных зависимостей. Численное дифференцирование и интегрирование. Численные методы поиска экстремума.
- 37 Вычислительные методы линейной алгебры. Численные методы решения систем дифференциальных уравнений. Сплайн-аппроксимация, интерполяция, метод конечных элементов.
- 38 Преобразования Фурье, Лапласа, Хаара и др. Численные методы вейвлет-анализа.
- 39 Вычислительный эксперимент. Принципы проведения вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программа.
- 40 Алгоритмические языки. Представление о языках программирования высокого уровня. Пакеты прикладных программ.
- 41 Основные принципы математического моделирования. Элементарные математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике. Универсальность математических моделей. Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения математических моделей
- 42 Методы исследования математических моделей. Устойчивость. Проверка адекватности математических моделей.
- 43 Математические модели в научных исследованиях. Математические модели в статистической механике, экономике, биологии. Методы математического моделирования измерительно-вычислительных систем.
- 44 Модели динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Эргодичность и перемешивание. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением.

4 Критерии оценивания ответа

Отлично	Полно раскрыто содержание вопросов; материал изложен грамотно, в определенной логической последовательности, правильно используется терминология; показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации; продемонстрировано усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, ответ прозвучал самостоятельно, без наводящих вопросов.
Хорошо	Ответ удовлетворяет в основном требованиям на оценку «отлично», но при этом может иметь

	следующие недостатки: в изложении допущены небольшие пробелы, не искажившие содержание ответа допущены один -два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию; допущены ошибки или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию
Удовлетворительно	Неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса. Имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии, исправленные после нескольких наводящих вопросов.
Неудовлетворительно	Имели место существенные упущения при ответах на все вопросы билета или полное несоответствие по более чем 50% материала вопросов билета

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение

5.1 Основная литература

- 1 А.А. Самарский, А.П. Михайлов. Математическое моделирование. М.: Физматлит, 2004.
- 2 Ю.Ю. Тарасевич. Математическое и компьютерное моделирование. Изд-во Либроком, 2012.
- 3 Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 112 с.
- 4 Дж. Мейз. Теория и задачи механики сплошных сред. М.: Либроком, 2010.

5.2 Дополнительная литература

- 1 М.П. Галанин, Е.Б. Савенкова. Методы численного анализа математических моделей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
- 2 В.И. Арнольд. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Изд-во МЦНМО, 2012.
- 3 O. Sadovskaya, V. Sadovskii. Mathematical Modeling in Mechanics of Granular Materials / Ser.: Advanced Structured Materials, V. 21. Heidelberg – New York – Dordrecht – London: Springer, 2012.

5.3 Интернет ресурсы

1. Scopus, база данных рефератов и цитирования, <http://www.scopus.com>.
2. ScienceDirect (Elsevier), база данных научного цитирования, естественные науки, техника, медицина и общественные науки, <http://www.sciencedirect.com>.
3. :Web of Science Core Collection – международная междисциплинарная база данных научного цитирования, <http://www.webofknowledge.com>.
4. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ», <http://e.lanbook.com>.
5. Университетская библиотека ONLINE, электронно-библиотечная система, <http://biblioclub.ru/>.
6. Образовательная платформа - электронно-библиотечная система издательства «Юрайт», <https://urait.ru/>.
7. Электронно-библиотечная система Znaniум.com, <http://www.znanium.com>.
8. Центральная Научная Библиотека имени Н.И. Железнова, <http://www.library.timacad.ru>.
9. United Nations Environment Program: www.unep.org.
- 10.eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, <http://elibrary.ru/>.
- 11.Национальная электронная библиотека, <https://rusneb.ru/>.
- 12.Электронная библиотека IOP Science дома научного контента от IOP Publishing, <http://iopscience.iop.org/>.
- 13.Электронная библиотека SPIE. Digital library, <http://spiedigitallibrary.org/>.
- 14.Архив научных журналов Министерства образования и науки Российской Федерации, <http://archive.neicon.ru/xmlui/>.
- 15.Библиотека издательства Annual Reviews, библиотека журналов <http://www.annualreviews.org>.
- 16.Библиотека Российского фонда фундаментальных исследований, <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>.
- 17.Центральная научная библиотека ФИЦ КНЦ СО РАН, <http://cnb.krasn.ru>.
- 18.Электронная библиотека Nature, <http://www.nature.com>.
- 19.Электронная библиотека Science, <http://www.sciencemag.org>.
- 20.База данных научного цитирования издательства Taylor&Francis Group, <http://www.tandfonline.com>.
- 21.Онлайн-библиотека Wiley Online Library, <http://onlinelibrary.wiley.com>.
- 22.Электронная библиотека журналов открытого доступа ACS Publications, <http://pubs.acs.org>.
- 23.Электронная библиотека журналов Американского физического общества APS physics, <http://publish.aps.org>.
- 24.Электронно-библиотечная система Scitation, издательство AIP Publishing Books, <http://scitation.aip.org>.
- 25.Цифровой образовательный ресурс – электронная библиотечная система IPR SMART, <http://www.iprbookshop.ru>.
- 26.Библиотека издательства Oxford Academic, <http://www.oxfordjournals.org>.

27. Справочная библиотека издательства Oxford University Press, цифровая платформа Oxford Reference, <http://www.oxfordreference.com>.
28. Электронная система исследовательских журналов мирового уровня открытого доступа SAGE journals, <http://online.sagepub.com/>.

Согласовано:

Заведующий кафедрой фундаментальных
дисциплин и методологии науки



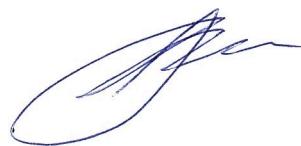
В.В. Минеев

Заведующий аспирантурой



Е.В. Нефедова

Декан факультета подготовки кадров



А.Н. Кокорин