



МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

М. В. Садовникова

А. П. Шевчик

« 29

09

2022 г.



Программа кандидатского экзамена

1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Экзаменуемый должен показать:

- высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки;
- знания методов и алгоритмов построения и исследования математических моделей, имитационного и компьютерного моделирования технических объектов и систем, планирования и анализа результатов натуральных экспериментов, моделирования и оптимизации химико-технологических процессов, численных методов и алгоритмов анализа математических моделей, методов и технологий разработки проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительных экспериментов по исследованию технических объектов и систем;
- глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала;
- умения применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедре систем автоматизированного проектирования и управления Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

1. Порядок проведения кандидатского экзамена

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен, как в устной форме, так и в письменной форме.

На экзамене аспирант отвечает на три вопроса из настоящей программы кандидатского экзамена по специальности и на один вопрос из дополнительной программы кандидатского экзамена, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы аспиранта (соискателя) и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзамена члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания основных экзаменационных вопросов.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведется протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

2. Основное содержание программы кандидатского экзамена

2.1. Методы построения и исследования математических моделей. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования. Планирование и анализ результатов экспериментов. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов

2.1.1. Методы построения и исследования математических моделей

Методология математического моделирования. Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования (информационной достаточности, осуществимости, множественности, агрегирования, параметризации).

Классификация математических моделей (по характеру отображаемых свойств объекта, принадлежности к иерархическому уровню, степени детализации описания в пределах одного уровня, способу представления свойств объекта, способу получения). Виды функциональных математических моделей (по характеру изменения параметров во времени, типу взаимодействия параметров в модели, способности прогнозирования результатов).

Требования, предъявляемые к математическим моделям: универсальность; точность; адекватность; экономичность.

Этапы математического моделирования (определение цели моделирования, разработка концептуальной модели, формализация модели, разработка алгоритма решения модели, программная реализация модели, планирование модельных вычислительных экспериментов, реализация плана вычислительного эксперимента, анализ и интерпретация результатов моделирования).

Формализованное (информационное) описание объекта предметной области как объекта моделирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели. Построение математических моделей на основе фундаментальных законов природы.

Качественные и аналитические методы исследования математических моделей. Аналитические методы исследования моделей статики и динамики объектов с сосредоточенными и распределенными параметрами. Метод разделения переменных как способ построения аналитических моделей объектов с распределенными параметрами.

Преобразования моделей и их численный анализ. Выбор параметров математической модели, предварительные преобразования. Линейно-параметризованные модели, преобразование статических и динамических моделей. Анализ моделей (численные методы анализа статики и динамики математических моделей).

Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.

2.1.2. Моделирование динамических систем и случайных процессов

Модели состояния динамических систем. Детерминированные и стохастические модели. Хаотические модели. Принципы выбора модели.

Элементы теории случайных процессов. Методы моделирования случайных процессов. Дискретные модели линейных стационарных систем и стационарных случайных процессов. Моделирование стационарных процессов с типовыми корреляционными функциями. Дискретные модели линейных нестационарных систем.

2.1.3. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования

Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей. Автоматические и диалоговые имитационные модели. Описание поведения системы, моделирование случайных факторов, управление модельным временем.

Объектно-классификационное моделирование. Содержание понятия «объект», моделирование атрибутов объектов, классификация и пространство идентификаторов объектов. Состояние, пространство состояний объекта.

Моделирование отношений между объектами и классами объектов. Классификационный подход к определению отношений. Моделирование состояний объекта, отношений между параметрами объектов и отношений между различными объектами. Теоретико-множественная модель класса объектов.

Моделирование параллельных процессов. Виды параллельных процессов в сложных системах, методы их описания, применение сетевых моделей для описания параллельных процессов.

Стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Обработка и анализ результатов моделирования. Оценка качества имитационной модели. Подбор параметров распределений, оценка влияния и взаимосвязи факторов.

Моделирующие программные комплексы как средство анализа и синтеза динамических систем. Виды технических средств моделирования. Уровни и структуры программных средств моделирования.

Унифицированный язык моделирования (UML). Основные компоненты UML, описание семантики UML, графическая нотация, описание дополнительных понятий. Диаграммы классов, вариантов использования, взаимодействия, последовательности, кооперативные диаграммы, диаграммы состояний, деятельности и размещения. Объект, составной объект, активный объект. Ассоциации, роли.

Программные системы имитационного моделирования: классификация, сравнительное описание возможностей и характеристик пакетов. Управление временем, выбор шага моделирования, управление окончанием моделирования, управление потоками событий, использование подсистем, входы, выходы и переходы, создание собственной библиотеки блоков, обработка и анализ результатов моделирования, взаимодействие с другими инструментальными приложениями.

Универсальные математические пакеты как средства компьютерного моделирования технических объектов и систем. Характеристика (решаемые задачи, функциональные возможности) и примеры универсальных математических пакетов.

Соотношение классических и нечетких множеств. Степень принадлежности как субъективная мера оценки вероятности и возможности. Функции принадлежности: их виды, способы представления и методы их получения. Нечеткие числа, нечеткие переменные и операции над ними.

Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей. Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция. Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.

Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.

Биологический нейрон, свойства естественных нейронных сетей. Три базовые функции искусственного нейрона. Три основные свойства искусственной нейронной сети. Топология искусственной нейронной сети. Топология и способность сети к классификации.

Обучение искусственной нейронной сети. Обучение с наблюдателем и без наблюдателя. Многослойный перцептрон и обучение методом обратного распространения ошибки. Самоорганизующиеся карты Кохонена как пример обучения сети без наблюдателя. Алгоритм обучения.

Сравнительные характеристики моделей на базе нечеткой логики и на основе искусственных нейронных сетей. Гибридные нейро-фаззи-модели.

2.1.4. Методы моделирования при принятии решений

Роль математического моделирования в процессе принятия решений. Общая схема процесса принятия решений (управляющие решения, стратегия, ресурсы операции, исход операции, показатель эффективности). Байесовский и минимаксный подходы. Классификация задач принятия решений (принятие решений в условиях определенности и

неопределенности, измерение, шкала измерений, шкала наименований, ранговая шкала, метрические шкалы, виды показателей эффективности).

2.1.5. *Планирование и анализ результатов экспериментов*

Классификация и основные принципы планирования натуральных экспериментов. Требования, предъявляемые к факторам и откликам при планировании экспериментов. Методы планирования натуральных экспериментов. Структура планов экспериментов различных типов.

Случайные величины. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез. Элементы многомерного статистического анализа.

Постановка задачи обработки экспериментальных данных при структурно-параметрическом синтезе эмпирических моделей. Виды эмпирических моделей (линейные однофакторная и многофакторная модели, полиномиальная, мультипликативная, обратная и экспоненциальная многофакторные модели). Этапы обработки экспериментальных данных при синтезе и анализе эмпирических моделей. Алгоритмы структурно-параметрического синтеза эмпирических моделей на основе метода наименьших квадратов и метода Брандона. Проверка адекватности эмпирических моделей при наличии и отсутствии параллельных опытов.

2.1.6. *Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов*

Использование детерминированных и эмпирических моделей химико-технологических процессов. Дескриптивные и оптимизационные модели, их назначение. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами.

Две основные части математической модели: математическое описание исследуемого объекта; вычислительный алгоритм, дающий возможность проверки гипотезы адекватности и исследования математической модели.

Уровни математического описания: анализ процесса переноса субстанции на атомно-молекулярном уровне; анализ элементарного акта процесса переноса субстанции; совместный анализ процесса и аппарата, в котором реализуется моделируемая система; уровень химико-технологической системы в целом.

Характеристика детерминированных моделей: линейные и нелинейные градиентные законы переноса физических субстанций (массы, импульса, энергии). Задание краевых условий.

Линейные градиентные законы переноса. Диффузионный перенос массы, импульса, энергии. Дифференциальные математические модели переноса массы, импульса, энергии.

Построение математических моделей в случае нелинейных градиентных законов переноса. Нелинейные эффекты при массо-, энергопереносе и переносе импульса.

Краевые условия к детерминированным математическим моделям. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.

Виды математических моделей для описания структур веществ и материалов и их связи со свойствами веществ и материалов.

Методы и алгоритмы расчета параметров свойств композиционных материалов.

Реологические модели ньютоновских и аномально-вязких сред. Модели аномалии вязкости (уравнения Оствальда–де'Вилье, Эллиса, Берда–Керри, Шведова–Бингама, Кросса). Модели зависимости вязкости от температуры (уравнения Френкеля–Эйринга–Аррениуса, Рейнольдса, Вильямса–Лэндела–Ферри). Модели зависимости вязкости от давления и молекулярной массы. Модели для расчета вязкости смесей.

Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии: модель идеального смешения; модель идеального вытеснения; ячеечная модель; ячеечная модель с рециклами; однопараметрическая и двухпараметрическая

диффузионные модели; комбинированные модели.

Математические модели смесителей, делителей потоков без химического превращения, теплообменников, процессов и аппаратов гетерогенного разделения (ректификация, экстракция, абсорбция, адсорбция), химических реакторов, насосов, трубопроводов, компрессоров.

Моделирование кинетики химических реакций.

Методы и алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов в химии и химической технологии. Решение обратной задачи химической кинетики. Использование современных компьютерных технологий для построения эмпирических моделей химико-технологических объектов.

Расчет динамических режимов химико-технологических систем. Общая характеристика динамических режимов: режимы пуска и останова, переходные режимы. Нестационарные модели элементов химико-технологических систем.

Компьютерное исследование химико-технологических систем с учетом надежности. Понятие о надежности химико-технологической системы. Вероятностные и эксплуатационные количественные характеристики надежности. Вычисление надежности химико-технологических систем для различных структур. Резервирование для повышения надежности.

Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Выбор свободных параметров оптимизации. Критерии оптимизации. Многокритериальная оптимизация. Методы решения задач оптимизации, реализованные в современных программных продуктах. Характеристика безградиентных и градиентных методов нелинейного программирования. Методы глобальной оптимизации. Оптимизация с учетом чувствительности и неопределенности исходной информации.

Биоинспирированные методы оптимизации технических объектов и систем. Генетические алгоритмы.

Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов: структура; аппаратные требования и функциональные возможности; пользовательский интерфейс; средства общения; заполнение необходимых форм для моделирования статических режимов; старт программы и решение задачи; получение результатов моделирования; построение графиков и таблиц результатов.

Особенности использования информационно-моделирующих программных комплексов для расчета статических и динамических режимов химико-технологических систем.

Особенности решения задач оптимизации химико-технологических систем с помощью информационно-моделирующих программных комплексов.

2.2. Численные методы и алгоритмы анализа математических моделей и принципы их программной реализации

2.2.1. Теория приближения таблично заданных функций

Постановка задачи приближения функций. Соотношение между интерполяцией и аппроксимацией функциональных зависимостей. Интерполяционный многочлен Лагранжа и его единственность. Особенности, присущие интерполяционным формулам Ньютона, Бесселя, Стирлинга, Гаусса. Интерполирование сплайнами.

Численное дифференцирование и интегрирование.

Использование метода наименьших квадратов и метода Чебышева для решения задач аппроксимации.

2.2.2. Численное решение систем алгебраических уравнений

Системы линейных алгебраических уравнений. Метод прогонки и его отличие от метода последовательного исключения неизвестных (метода Гаусса). Использование прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений.

Итерационные методы простой итерации (Якоби), Гаусса–Зейделя и Ньютона–Рафсона; их применение к решению нелинейных уравнений и их систем. Использование метода обратного интерполирования для решения нелинейных уравнений. Численные методы решения трансцендентных уравнений.

Основные характеристики компьютерной реализации итерационных методов.

2.2.3. Численные методы решения дифференциальных уравнений

Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений (метод Эйлера, уточненный метод Эйлера, уточненный метод Эйлера с итерациями, методы Рунге–Кутты). Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы автоматического поиска устойчивого шага интегрирования: алгоритм «трех зон»; алгоритм плавного изменения шага.

Методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений (метод конечных разностей, итерационный метод).

Алгоритмы решения «жестких» дифференциальных задач.

Метод конечных разностей: основные понятия теории разностных схем, этапы метода. Построение дискретных аналогов сплошных сред – пространственно-временных разностных сеток. Методы построения разностных схем: непосредственная формальная аппроксимация; метод Тихонова–Самарского. Характеристики разностных схем. Библиотеки явных и неявных разностных схем для уравнений различных типов (схемы Эйлера, с разностями против потока, с разностями вперед/назад по времени и центральными по пространству, Лакса–Вендроффа, Алена–Чена, с центральными разностями по времени и пространству, Дюфорга–Франкела, Лаасонена, Кранка–Николсона, Рунге). Методы аппроксимации граничных условий второго рода (Неймана) и третьего рода (Робина). Априорные показатели качества разностных схем: согласованность, устойчивость, сходимости, точность. Методы анализа устойчивости: метод Фурье–Неймана; сеточный принцип максимума. Условия устойчивости явных разностных схем для уравнений параболического и гиперболического типов. Теорема Лакса о сходимости. Методы линеаризации разностных уравнений: метод запаздывающих коэффициентов; метод экстраполяции коэффициентов. Прямые и итерационные методы решения разностных уравнений. Устойчивость и эффективность вычислительных алгоритмов. Автоматический поиск устойчивых шагов расчета. Прием Рунге.

Вариационные методы численного интегрирования систем дифференциальных уравнений: метод конечных элементов, метод граничных элементов (их идеология и области применения). Основные этапы реализации метода конечных элементов Галеркина: построение сетки конечных элементов; построение системы функций формы в пределах каждого конечного элемента; формирование структуры приближенного решения; получение и решение системы уравнений для значений искомой функции в вершинах конечных элементов. Особенности применения метода конечных элементов для различных типов объектов с распределенными параметрами.

2.3. Методы и технологии разработки проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительных экспериментов по исследованию технических объектов и систем

2.3.1. Жизненный цикл программных комплексов

Понятие и этапы жизненного цикла программных комплексов. Национальные и международные стандарты, регламентирующие этапы и процессы жизненного цикла программных комплексов. Цели и критерии качества этапов жизненного цикла программных комплексов. Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств». Модели жизненного цикла программных комплексов.

Методология функционального (структурного) проектирования сложных программных комплексов SADT (IDEF0). Концепция IDEF0. Элементы графического языка IDEF0 (блоки, стрелки). Компоненты функциональной модели: графические диаграммы (А-0, родительские, дочерние); текст; глоссарий. Характеристики графических диаграмм. Декомпозиция блоков. Правила построения диаграмм. Методика разработки функциональных моделей сложных программных комплексов.

2.3.2. Структура проблемно-ориентированного программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов. Методы организации данных

Принципы проведения вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программный комплекс.

Проектирование структуры программного комплекса: основные этапы; структурный анализ; структурное проектирование.

Определение основных компонентов комплекса. Методы разработки данных. Методы разработки средств управления. Проектная документация.

Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных. Документирование данных.

2.3.3. Алгоритмы и методы их построения

Алгоритмы. Типы, способы реализации. Методы построения алгоритмов: метод «разделяй и властвуй»; методы последовательного приближения, наискорейшего спуска, обратного прохода, динамического программирования; метод поиска с возвратом. Метод выделения подцелей, метод моделирования.

2.3.4. Алгоритмические языки и технологии программирования

Назначение и структура языков программирования высокого уровня, основные операторы. Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование.

2.3.5. Проектирование проблемно-ориентированных программных комплексов

Метод нисходящего проектирования. Метод расширения ядра. Метод восходящего проектирования. Анализ внутренних потоков данных.

Программные модули. Структурированные алгоритмы. Схемы передачи управления. Управляющие таблицы.

2.3.6. Программная реализация проблемно-ориентированных программных комплексов

Технология разработки компьютерных моделей для исследования химико-технологических объектов в инструментальных объектно-ориентированных средах. Структура интерфейса исследователя. Компьютерный синтез и визуализация трехмерных графических моделей для исследования распределений параметров состояния объектов по пространственным координатам и времени с использованием библиотек графических компонентов.

2.3.7. Верификация, защита и оптимизация проблемно-ориентированных программных комплексов

Проверка правильности программных комплексов. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Формальные методы доказательства правильности программ.

Средства защиты программных комплексов.

Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ. Средства оптимизации.

2.3.8. Регистрация проблемно-ориентированных программных комплексов

Методика подготовки документов для подачи заявок на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

Методы построения и исследования математических моделей. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования. Планирование и анализ результатов экспериментов. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов

1 Методология математического моделирования. Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования.

2 Этапы математического моделирования. Классификация математических моделей. Виды функциональных математических моделей.

3 Этапы математического моделирования. Требования, предъявляемые к математическим моделям.

4 Этапы математического моделирования. Формализованное (информационное) описание объекта предметной области как объекта моделирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели.

5 Этапы математического моделирования. Построение математических моделей на основе фундаментальных законов природы.

6 Качественные и аналитические методы исследования математических моделей. Аналитические методы исследования моделей статики и динамики объектов с сосредоточенными и распределенными параметрами.

7 Метод разделения переменных как способ построения аналитических моделей объектов с распределенными параметрами.

8 Преобразования моделей и их численный анализ. Выбор параметров математической модели, предварительные преобразования. Линейно-параметризованные модели, преобразование статических и динамических моделей. Анализ моделей.

9 Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.

10 Модели состояния динамических систем. Детерминированные и стохастические модели. Хаотические модели. Принципы выбора модели.

11 Элементы теории случайных процессов. Методы моделирования случайных процессов. Дискретные модели линейных стационарных систем и стационарных случайных процессов.

12 Моделирование стационарных случайных процессов с типовыми корреляционными функциями. Дискретные модели линейных нестационарных систем.

13 Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей. Автоматические и диалоговые модели. Описание поведения системы, моделирование случайных факторов, управление модельным временем.

14 Объектно-классификационное моделирование. Содержание понятия «объект», моделирование атрибутов объектов, классификация и пространство идентификаторов объектов. Состояние, пространство состояний объекта.

15 Моделирование отношений между объектами и классами объектов. Классификационный подход к определению отношений. Моделирование состояний объекта, отношений между параметрами объектов и между различными объектами.

16 Моделирование параллельных процессов. Виды параллельных процессов в сложных системах, методы их описания, применение сетевых моделей для описания параллельных процессов.

17 Стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Обработка и анализ результатов моделирования. Оценка качества имитационной модели. Подбор параметров распределений, оценка влияния и взаимосвязи факторов.

18 Моделирующие программные комплексы как средство анализа и синтеза динамических систем. Виды технических средств моделирования. Уровни и структуры программных средств моделирования.

- 19 Унифицированный язык моделирования (UML). Основные компоненты UML, описание семантики UML, графическая нотация, описание дополнительных понятий.
- 20 Язык UML. Диаграммы классов, вариантов использования, взаимодействия, последовательности, кооперативные диаграммы, диаграммы состояний, деятельности и размещения. Объект, составной объект, активный объект. Ассоциации, роли.
- 21 Программные системы имитационного моделирования: классификация, сравнительное описание возможностей и характеристик пакетов.
- 22 Системы имитационного моделирования. Управление временем, выбор шага моделирования, управление окончанием моделирования.
- 23 Системы имитационного моделирования. Управление потоками событий, использование подсистем, входы, выходы и переходы, создание собственной библиотеки блоков, обработка и анализ результатов моделирования.
- 24 Универсальные математические пакеты как средства компьютерного моделирования технических объектов и систем. Характеристика (решаемые задачи, функциональные возможности) и примеры универсальных математических пакетов.
- 25 Соотношение классических и нечетких множеств. Степень принадлежности как субъективная мера оценки вероятности и возможности. Функции принадлежности. Нечеткие числа, нечеткие переменные и операции над ними.
- 26 Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей.
- 27 Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция. Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.
- 28 Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.
- 29 Биологический нейрон, свойства естественных нейронных сетей. Три базовые функции искусственного нейрона. Три основные свойства искусственной нейронной сети.
- 30 Топология искусственной нейронной сети. Топология и способность сети к классификации.
- 31 Обучение искусственной нейронной сети. Обучение с наблюдателем и без наблюдателя. Многослойный перцептрон и обучение методом обратного распространения ошибки.
- 32 Самоорганизующиеся карты Кохонена как пример обучения искусственной нейронной сети без наблюдателя. Алгоритм обучения.
- 33 Сравнительные характеристики моделей на базе нечеткой логики и на основе искусственных нейронных сетей. Гибридные нейро-фаззи-модели.
- 34 Роль математического моделирования в процессе принятия решений. Общая схема процесса принятия решений. Байесовский и минимаксный подходы.
- 35 Классификация задач принятия решений (принятие решений в условиях определенности и неопределенности, измерение, шкалы, виды показателей эффективности).
- 36 Классификация и основные принципы планирования натуральных экспериментов. Требования к факторам и откликам при планировании экспериментов. Методы планирования экспериментов. Структура планов экспериментов различных типов.
- 37 Случайные величины. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез. Элементы многомерного статистического анализа.
- 38 Постановка задачи обработки экспериментальных данных при структурно-параметрическом синтезе эмпирических моделей. Виды эмпирических моделей (линейные и нелинейные одно- и многофакторные модели).
- 39 Этапы обработки экспериментальных данных при синтезе и анализе эмпирических моделей. Алгоритмы структурно-параметрического синтеза эмпирических моделей на основе метода наименьших квадратов и метода Брандона.

- 40 Проверка адекватности эмпирических моделей при наличии и отсутствии параллельных опытов.
- 41 Использование детерминированных и эмпирических моделей химико-технологических процессов. Deskриптивные и оптимизационные модели. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами.
- 42 Две основные части математической модели. Уровни математического описания.
- 43 Характеристика детерминированных моделей: линейные и нелинейные градиентные законы переноса физических субстанций. Задание краевых условий. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.
- 44 Линейные градиентные законы переноса. Диффузионный перенос массы, импульса, энергии. Дифференциальные математические модели переноса массы, импульса, энергии.
- 45 Построение математических моделей в случае нелинейных градиентных законов переноса. Нелинейные эффекты при массо-, энергопереносе и переносе импульса.
- 46 Виды математических моделей для описания структур веществ и материалов и их связи со свойствами веществ и материалов.
- 47 Методы и алгоритмы расчета параметров свойств композиционных материалов.
- 48 Реологические модели ньютоновских и аномально-вязких сред. Модели аномалии вязкости. Модели зависимости вязкости от температуры, давления, молекулярной массы. Модели для расчета вязкости смесей.
- 49 Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии.
- 50 Математические модели смесителей, делителей потоков без химического превращения, теплообменников, процессов и аппаратов гетерогенного разделения, химических реакторов, насосов, трубопроводов, компрессоров.
- 51 Моделирование кинетики химических реакций.
- 52 Методы и алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов в химии и химической технологии. Решение обратной задачи химической кинетики.
- 53 Использование современных компьютерных технологий для построения эмпирических моделей химико-технологических объектов.
- 54 Расчет динамических режимов химико-технологических систем. Общая характеристика динамических режимов. Нестационарные модели элементов химико-технологических систем.
- 55 Компьютерное исследование химико-технологических систем с учетом надежности. Понятие о надежности химико-технологической системы. Вероятностные и эксплуатационные количественные характеристики надежности.
- 56 Вычисление надежности химико-технологических систем для различных структур. Резервирование для повышения надежности.
- 57 Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Выбор свободных параметров оптимизации. Критерии оптимизации. Многокритериальная оптимизация.
- 58 Методы решения задач оптимизации, реализованные в современных программных продуктах. Характеристика безградиентных и градиентных методов нелинейного программирования.
- 59 Методы глобальной оптимизации.
- 60 Оптимизация с учетом чувствительности и неопределенности исходной информации.
- 61 Биоинспирированные методы оптимизации технических объектов и систем. Генетические алгоритмы.
- 62 Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов.

Особенности использования информационно-моделирующих программных комплексов для расчета статических и динамических режимов химико-технологических систем.

63 Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов. Особенности решения задач оптимизации химико-технологических систем с помощью информационно-моделирующих программных комплексов.

Численные методы и алгоритмы анализа математических моделей и принципы их программной реализации

64 Постановка задачи приближения функций. Соотношение между интерполяцией и аппроксимацией функциональных зависимостей. Интерполяционный многочлен Лагранжа и его единственность.

65 Постановка задачи приближения функций. Особенности, присущие интерполяционным формулам Ньютона, Бесселя, Стирлинга, Гаусса. Интерполирование сплайнами.

66 Численное дифференцирование и интегрирование.

67 Использование метода наименьших квадратов и метода Чебышева для решения задач аппроксимации.

68 Системы линейных алгебраических уравнений. Метод прогонки и его отличие от метода последовательного исключения неизвестных (метода Гаусса). Использование прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений.

69 Итерационные методы простой итерации (Якоби), Гаусса–Зейделя и Ньютона–Рафсона; их применение к решению нелинейных уравнений и их систем. Основные характеристики компьютерной реализации итерационных методов.

70 Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений (методы Эйлера, методы Рунге–Кутты). Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.

71 Алгоритмы автоматического поиска устойчивого шага интегрирования при численном решении обыкновенных дифференциальных уравнений: алгоритм «трех зон»; алгоритм плавного изменения шага.

72 Методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений (метод конечных разностей, итерационный метод).

73 Алгоритмы решения «жестких» дифференциальных задач.

74 Метод конечных разностей: основные понятия теории разностных схем, этапы метода. Построение дискретных аналогов сплошных сред – пространственно-временных разностных сеток.

75 Этапы метода конечных разностей. Методы построения разностных схем: непосредственная формальная аппроксимация; метод Тихонова–Самарского. Характеристики разностных схем.

76 Этапы метода конечных разностей. Явные и неявные разностные схемы для решения уравнений в частных производных гиперболического типа.

77 Этапы метода конечных разностей. Явные и неявные разностные схемы для решения уравнений в частных производных параболического типа.

78 Этапы метода конечных разностей. Разностные схемы для решения уравнений в частных производных эллиптического типа.

79 Этапы метода конечных разностей. Методы аппроксимации граничных условий второго рода (Неймана) и третьего рода (Робина).

80 Этапы метода конечных разностей. Априорные показатели качества разностных схем. Условия устойчивости явных разностных схем для уравнений параболического и гиперболического типов. Теорема Лакса о сходимости.

81 Прямые и итерационные методы решения разностных уравнений. Устойчивость и эффективность вычислительных алгоритмов. Автоматический поиск

устойчивых шагов расчета. Прием Рунге.

82 Вариационные методы численного интегрирования систем дифференциальных уравнений. Характеристика методов конечных и граничных элементов.

83 Основные этапы реализации метода конечных элементов Галеркина. Особенности применения метода конечных элементов для различных типов объектов с распределенными параметрами.

Методы и технологии разработки проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительных экспериментов по исследованию технических объектов и систем

84 Понятие и этапы жизненного цикла программных комплексов. Национальные и международные стандарты, регламентирующие этапы и процессы жизненного цикла программных комплексов. Цели и критерии качества этапов жизненного цикла.

85 Модели жизненного цикла программных комплексов.

86 Концепция IDEF0 для функционального (структурного) проектирования сложных программных комплексов. Элементы графического языка IDEF0.

87 Компоненты функциональной модели IDEF0. Характеристики графических диаграмм. Декомпозиция блоков. Правила построения диаграмм.

88 Методика разработки функциональных моделей сложных программных комплексов.

89 Принципы проведения вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программный комплекс.

90 Проектирование структуры проблемно-ориентированного программного комплекса: основные этапы; структурный анализ; структурное проектирование.

91 Определение основных компонентов проблемно-ориентированного программного комплекса. Методы разработки данных. Методы разработки средств управления. Проектная документация.

92 Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных. Документирование данных.

93 Алгоритмы. Типы, способы реализации. Методы построения алгоритмов: метод «разделяй и властвуй»; методы последовательного приближения, наискорейшего спуска, обратного прохода, динамического программирования; метод поиска с возвратом.

94 Алгоритмы. Типы, способы реализации. Метод выделения подцелей, метод моделирования.

95 Назначение и структура языков программирования высокого уровня, основные операторы. Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование.

96 Метод нисходящего проектирования проблемно-ориентированного программного комплекса. Метод расширения ядра. Метод восходящего проектирования. Анализ внутренних потоков данных.

97 Программные модули проблемно-ориентированного программного комплекса. Структурированные алгоритмы. Схемы передачи управления. Управляющие таблицы.

98 Технология разработки компьютерных моделей для исследования химико-технологических объектов в инструментальных объектно-ориентированных средах.

99 Структура интерфейса исследователя для компьютерной модели химико-технологического объекта. Построение трехмерных моделей для исследований полей параметров состояния с использованием библиотек графических компонентов.

100 Проверка правильности проблемно-ориентированных программных комплексов. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Формальные методы доказательства правильности программ.

- 101 Средства защиты проблемно-ориентированных программных комплексов.
- 102 Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ. Средства оптимизации.
- 103 Методика подготовки документов для подачи заявок на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.

4. Рекомендуемые учебные издания

а) печатные учебные издания:

1. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации : учебник для вузов. В 2 частях. Часть 1. Конечномерные задачи оптимизации. Принцип максимума. Динамическое программирование / Ф. П. Васильев. – Изд. новое, перераб. и доп. – Москва : МЦНМО, 2011. – 619 с. – ISBN 978-5-94057-706-5.
2. Волков, Е. А. Численные методы : учебное пособие / Е. А. Волков. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008. – 248 с. – ISBN 978-5-8114-0538-1.
3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учебник для вузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с. – ISBN 978-5-7038-3022-2.
4. Комаров, П. И. Математические методы в САПР. Аналитические методы решения краевых задач математической физики : учебное пособие / П. И. Комаров ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2009. – 99 с.
5. Компьютерные технологии построения математических моделей химико-технологических процессов на основе полного факторного эксперимента : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. М. Крылов, В. П. Андреева [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2010. – 53 с.
6. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие для вузов / Г. И. Марчук. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. – 608 с. – ISBN 978-5-8114-0892-4.
7. Морозов, В. К. Моделирование информационных и динамических систем : учебное пособие для вузов / В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев. – Москва : Академия, 2011. – 377 с. – ISBN 978-5-7695-4221-3.
8. Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учебное пособие для вузов / И. П. Норенков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с. – ISBN 978-5-7038-3446-6.
9. Расчеты химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. Ф. Туболкин, Е. С. Тумаркина, Э. Я. Тарат [и др.] ; под редакцией И. П. Мухленова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Альянс, 2015. – 248 с. – ISBN 978-5-91872-079-0.
10. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва : Юрайт, 2013. – 343 с. – ISBN 978-5-9916-2698-9.
11. Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учебное пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 240 с. – ISBN 978-5-91884-015-3.
12. Чистякова, Т. Б. Применение универсальных моделирующих программ для

синтеза и анализа технологических процессов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, Л. В. Гольцева, А. В. Козлов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2011. – 65 с.

б) электронные учебные издания:

13. Андрианова, А. А. Алгоритмизация и программирование. Практикум : учебное пособие / А. А. Андрианова, Л. Н. Исмагилов, Т. М. Мухтарова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-3336-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

14. Агаянц, И. М. Азы статистики в мире химии: Обработка экспериментальных данных / И. М. Агаянц. – Санкт-Петербург : НОТ, 2015. – 618 с. – ISBN 978-5-91703-044-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

15. Гартман, Т. Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 404 с. – ISBN 978-5-8114-3900-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

16. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие для вузов / Н. В. Голубева. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-8721-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

17. Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. М. Гумеров. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1533-5 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

18. Затонский, А. В. Моделирование объектов управления в MatLab : учебное пособие / А. В. Затонский, Л. Г. Тугашова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 144 с. – ISBN 978-5-8114-3270-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

19. Компьютерные технологии моделирования процессов получения высокотемпературных наноструктурированных материалов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, И. В. Новожилова, Л. В. Гольцева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 223 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

20. Котлинский, С. В. Разработка моделей предметной области автоматизации : учебник для вузов / С. В. Котлинский. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 412 с. – ISBN 978-5-8114-8035-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

21. Марков, Ю. Г. Математические модели химических реакций : учебник / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2013. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1483-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

22. Палей, А. Г. Имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей

средствами iWebsim и AnyLogic : учебное пособие / А. Г. Палей, Г. А. Поллак. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-3844-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

23. Флегонтов, А. В. Моделирование информационных систем. Unified Modeling Language : учебное пособие / А. В. Флегонтов, И. Ю. Матюшичев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 112 с. – ISBN 978-5-8114-2907-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

в) вспомогательные печатные и электронные источники:

24. Барботько, А. И. Основы теории математического моделирования : учебное пособие для вузов / А. И. Барботько, А. О. Гладышкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 209 с. – ISBN 978-5-94178-148-5.

25. Барков, И. А. Объектно-ориентированное программирование : учебник / И. А. Барков. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 700 с. – ISBN 978-5-8114-3586-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке

26. Власова, Е. А. Приближенные методы математической физики : учебник для вузов / Е. А. Власова, В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин ; под редакцией В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 699 с. – ISBN 5-7038-1768-4.

27. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Москва : Академкнига, 2006. – 416 с. – ISBN 5-94628-268-9.

28. Гиляров, В. Н. Нечеткие интеллектуальные химико-технологические системы : методические указания / В. Н. Гиляров ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2005. – 46 с.

29. Гусятников, В. Н. Стандартизация и разработка программных систем : учебное пособие для вузов / В. Н. Гусятников, А. И. Безруков. – Москва : Финансы и статистика : ИНФРА-М, 2010. – 288 с. – ISBN 978-5-279-03450-5.

30. Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 376 с. – ISBN 978-5-8114-1032-3.

31. Интеллектуальные системы технологического проектирования, управления и обучения в многоассортиментном производстве гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц / Т. Б. Чистякова, Ю. И. Шляго, И. В. Новожилова, Н. В. Мальцева. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. – 324 с. – ISBN 978-5-905240-47-8.

32. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие / А. П. Карпенко. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 с. – ISBN 978-5-7038-4634-6.

33. Компьютерные программы для решения задач многоцелевой оптимизации в химической технологии : учебное пособие для вузов / В. А. Холоднов, Д. А. Краснобородько, Р. Ю. Кулишенко, М. Ю. Лебедева. – Москва : Юрайт, 2022. – 196 с. – ISBN 978-5-534-14875-6.

34. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре. – 4-е изд. – Москва [и др.] : Питер, 2015. – 928 с. – ISBN 978-5-496-00353-7.

35. Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В. В. Лесин, Ю.

- П. Лисовец. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2011. – 341 с. – ISBN 978-5-8114-1217-4.
36. Липаев, В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ : учебник / В. В. Липаев. – Москва : СИНТЕГ, 2010. – 400 с. – ISBN 978-5-89638-115-0.
37. Математическое моделирование технологических процессов : учебное пособие для вузов / В. С. Балакирев, С. И. Дворецкий, Н. Н. Аниськина, В. Н. Акишин. – Ярославль : Издательский дом Н. П. Пастухова, 2018. – 351 с. – ISBN 978-5-904937-09-6.
38. Моделирование систем : учебник для вузов / С. И. Дворецкий, Ю. Л. Муромцев, В. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе. – Москва : Академия, 2009. – 316 с. – ISBN 978-5-7695-4737-9.
39. Незнанов, А. А. Программирование и алгоритмизация : учебник для вузов / А. А. Незнанов. – Москва : Академия, 2010. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-6767-4 // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
40. Нечеткое моделирование и управление в технических системах : учебное пособие / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пашенко, И. Ю. Кудинов, А. Ф. Пашенко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-9031-8 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
41. Никифоров, А. Ф. Лекции по уравнениям и методам математической физики / А. Ф. Никифоров. – Долгопрудный : Интеллект, 2009. – 133 с. – ISBN 978-5-91559-031-0.
42. Островский, Г. М. Оптимизация в химической технологии / Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов. – Казань : Фэн, 2005. – 394 с. – ISBN 5-9690-0045-0.
43. Плохотников, К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент : методология и практика / К. Э. Плохотников. – Москва : Эдиториал УРСС, 2003. – 280 с. – ISBN 5-354-00521-3.
44. Сабитов, К. Б. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов / К. Б. Сабитов. – Москва : Высшая школа, 2003. – 255 с. – ISBN 5-06-004676-1.
45. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2005. – 316 с. – ISBN 5-9221-0120-X.
46. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 1 / Г. А. Свиридюк, В. Е. Федоров ; Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. – 158 с. – ISBN 5-230-20012-X.
47. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 2 / Г. А. Свиридюк, Г. А. Кузнецов ; Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. – 177 с.
48. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 3 / Г. А. Свиридюк, А. В. Келлер ; Министерство образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 2000. – 158 с.
49. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 4 / Г. А. Свиридюк, А. А. Замышляева ; Министерство образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 2001. – 183 с.
50. Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учебное пособие для вузов / В. А. Срочко. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 202 с. – ISBN 978-5-8114-1014-9.
51. Строгалев, В. П. Имитационное моделирование : учебное пособие для вузов / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 295 с. – ISBN 978-5-7038-4751-0.

52. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Москва : ИНФРА-М ; Минск : Новое знание, 2016. – 591 с. – ISBN 978-5-16-011996-0.

53. Тенишев, Д. Ш. Лингвистическое и программное обеспечение автоматизированных систем : учебное пособие для вузов / Д. Ш. Тенишев ; под редакцией Т. Б. Чистяковой. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 403 с. – ISBN 978-5-91884-017-7.

54. Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. П. Дьяконов, В. В. Фонарь [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра системного анализа. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 154 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

55. Флегонтов, А. В. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных / А. В. Флегонтов, В. Б. Вилков, А. К. Черных. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. – 332 с. – ISBN 978-5-8114-4402-1 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

56. Чистякова, Т. Б. Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством / Т. Б. Чистякова, О. Г. Бойкова, Н. А. Чистяков. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 187 с. – ISBN 978-5-91884-013-9.

г) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета (URL: <http://bibl.lti-gti.ru>).

Российская государственная библиотека (URL: <https://www.rsl.ru>).

Российская национальная библиотека (URL: <http://nlr.ru>).

Библиотека Академии Наук (URL: <http://www.rasl.ru>).

Государственная публичная научно-техническая библиотека России (URL: <https://www.gpntb.ru>).

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (URL: <http://www.viniti.ru>).

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (URL: <https://elibrary.ru>).

Электронно-библиотечные системы:

– «Электронный читальный зал – БиблиоТех» (URL: <http://bibl.lti-gti.ru/service1.html>);

– «Лань» (URL: <http://e.lanbook.com/books>).

Международные мультидисциплинарные аналитические реферативные базы данных научных публикаций:

– Web of Science (URL: <http://apps.webofknowledge.com>);

– Scopus (URL: <http://www.scopus.com>).

Информационно-поисковая система Интернет-портала Федерального института промышленной собственности (URL: <https://new.fips.ru/iiss>).

Образовательный математический сайт (URL: <https://exponenta.ru>).

Федеральный портал «Российское образование» (URL: <https://edu.ru>).

Российский портал открытого образования (URL: <https://openedu.ru>).