



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

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Шевцов
« 29 »



Программа кандидатского экзамена

2.3.7. «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 2.3.7. Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования.

Экзаменуемый должен показать:

- высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки;
- знания методологии компьютерного моделирования и автоматизированного проектирования в технике и технологиях, научных основ создания архитектуры систем автоматизированного проектирования (САПР) и автоматизации технологической подготовки производства (АСТПП), комплекса средств САПР, методов и средств взаимодействия проектировщик – система, научных, компетентностно-ориентированных основ обучения автоматизированному проектированию технических объектов в составе проектных инжиниринговых команд, компьютерных моделей, алгоритмов, программных комплексов оптимального проектирования технических изделий и процессов, методов и компьютерных моделей обработки и формирования проектных решений, графической визуализации сложных технических объектов проектирования, научных основ реализации жизненного цикла проектирование – производство – эксплуатация – утилизация, построения интегрированных средств управления проектными работами и унификации прикладных протоколов информационной поддержки.

- 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 «Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования».

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. Методология автоматизированного проектирования в технике и технологиях. Постановка, формализация и типизация проектных и технологических процедур, алгоритмов и процессов проектирования

2.1.1. Методология автоматизированного проектирования сложных технических объектов

Системный подход к проектированию. Понятие инженерного проектирования. Постановка, формализация и типизация проектных и технологических процедур. Уровни описания и параметры проектируемых технических объектов. Стадии проектирования. Классификация моделей и параметров, используемых при автоматизированном проектировании. Типовые проектные процедуры.

Определение «цифровой информационной модели». Технологии автоматизированного проектирования: жизненный цикл цифровых информационных моделей при создании новых и реконструкции существующих технических объектов, постановка задачи автоматизированного проектирования, алгоритмы проектирования. Управление построением цифровых информационных моделей.

Современные среды проектирования (Компас, Intergraph, NanoCAD, SolidWorks и другие). Основные средства визуализации виртуальных моделей. Особенности проектирования сложных перенастраиваемых производственных систем. Проектирование 3D моделей с использованием виртуальной (VR) и дополненной реальности для синтеза анализа и графической визуализации сложных технических объектов проектирования.

2.1.2. Технологии информационной поддержки этапов жизненного цикла промышленной продукции (изделий)

Постановка комплексной задачи управления жизненным циклом промышленной продукции (изделий). Характеристика автоматизированных систем на этапах жизненного цикла промышленной продукции. Определения CAD/CAM/CAE/PDM/PLM систем. Назначение, функции и состав системной среды САПР. Современные тенденции развития САПР. Ведущие производители САПР, основные характеристики программных продуктов. Управление проектными данными, документооборотом, проектированием. Интеграция автоматизированных систем. Современные форматы и алгоритмы интегрирования в САПР, анализ существующих форматов. Понятие о мета-САПР.

Интегрированные средства управления проектными работами и унификации прикладных протоколов информационной поддержки. Понятие о технологиях информационной поддержки жизненного цикла изделий (CALS-технологиях). Системы международных CALS-стандартов. Стандарты STEP, Parts Library (PLIB), Parametrics, Mandate, PIDEAS.

Структура стандартов STEP (STandard for Exchange of Product model data), стандартов ISO 10303, используемых в САПР. Методы описания. Методы реализации. Организация в STEP информационных обменов. Интегрированные ресурсы и компоненты в STEP. Прикладные протоколы STEP.

Язык моделирования Express. Структура моделей на языке Express. Схема. Сущности и атрибуты. Структура обменного файла в стандарте STEP. Расширения языка Express.

Комплекс средств САПР, структура. Виды обеспечения комплекса средств САПР:

информационное, математическое, лингвистическое, методическое, техническое, программное обеспечение непрерывной информационной поддержки жизненного цикла проектируемых объектов. Требования к компонентам видов обеспечения. Структура и принципы построения комплекса средств САПР. Комплекс стандартов на автоматизированные системы.

2.1.3. Научные основы создания архитектуры САПР и АСТПП

Архитектура САПР. Состав и структура САПР. Подсистемы САПР. Характеристика связей в САПР. Функции системы. Системные характеристики САПР. Классификация САПР. Проектирующие и обслуживающие подсистемы. Свойства САПР, как сложной системы. Разновидности САПР.

Архитектура АСТПП. Основные задачи технологической подготовки производства. Особенности принятия проектных решений в процессе технологической подготовки производства. Принципы построения АСТПП. Обзор языков описания технологической информации.

Роль САПР и АСТПП в производственном цикле. Интеграция средств САПР и АСТПП в единый процесс. Интегрированные системы проектирования и управления. Типовая архитектура интегрированной автоматизированной системы. Функции уровней управления интегрированной системы. Место САПР и АСТПП в интегрированных системах проектирования, управления и производства.

2.1.4. Методы и средства взаимодействия проектировщик – система

Информационное обеспечение САПР. Трудно формализуемые задачи предметной области (сложных объектов проектирования) и методы их решения. Функциональный и предметный принцип проектирования информационной структуры. Диаграммы потоков данных. Многоуровневая архитектура баз данных. Внешняя, концептуальная и внутренняя модели данных. СУБД. Инфологическое и даталогическое проектирование. Разработка баз данных технических объектов, включающих информацию о свойствах, сырье, продукции, оборудовании.

Интеллект-карты для систематизации информации о сложных технических объектах проектирования. Основные принципы построения онтологий предметной области. Концепты, отношения, классификация отношений. Таблицы решений и базы правил проектирования технических объектов. Модели представления правил проектирования. Интеллектуальные средства поддержки принятия решений. Определение цели построения систем, основанных на знаниях для решения задач проектирования и управления сложными техническими объектами. Типовая структура. Характеристика базы данных, базы правил, информационно-поисковых тезаурусов на псевдо естественном языке, интерпретатора, модуля объяснения, модуля сбора знаний (правил) проектирования. Пользователи интеллектуальной системы проектирования.

Лингвистическое и программное обеспечение САПР: характеристика языков проектирования и программирования в САПР. CASE-инструменты, классификация. Программное обеспечение CASE-систем для концептуального проектирования.

Методология IDEF – методологии семейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing) для решения задач моделирования сложных систем. Функциональное и поведенческое моделирование сложных систем. Методики IDEF0 и IDEF3. Организация процесса функционального моделирования и управление проектом. Информационные модели. Методика IDEF1X.

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

Структура и характеристики программного обеспечения САПР. Функции сетевого

программного обеспечения. Назначение системных сред автоматизированных систем. Интеграция программного обеспечения в САПР.

Методическое обеспечение САПР: виды проектной и программной документации, стандартов автоматизированного проектирования.

Техническое обеспечение САПР. Требования к техническому обеспечению САПР.

Аппаратура рабочих мест в автоматизированных системах проектирования и управления.

Архитектуры серверов и суперкомпьютеров. Характеристика вычислительных сетей в САПР и средств телекоммуникации. Стеки протоколов и типы сетей в автоматизированных системах.

Периферийные устройства ЭВМ: Современные средства интерактивного доступа. Интерфейсы периферийных устройств: разнообразие проводных и беспроводных средств и их использование на практике. Мультимедийные средства.

Распознавание текстовой, графической информации с использованием современных средств технического обеспечения.

3D-сканеры, методы сканирования. Облако точек лазерного 3D-сканирования. Работа с облаками точек и координационными моделями. Выполнение стандартных операций редактирования облаков точек. Использование геопозиционирования и изображений карты.

3D-принтеры. Способы 3D-печати. Форматы файлов. Преобразование 3D-модели объекта в формат для 3D-печати.

Современные направления развития аддитивных технологий в автоматизированном проектировании. Области применения аддитивных технологий. Основные технологии аддитивного производства. Реализация междисциплинарного взаимодействия на всех этапах жизненного цикла синтеза сложных изделий (исследование свойств композиционных материалов, проектирование прототипов и реализация математических моделей для оценки качества напечатанных изделий). Постановка задачи выбора рационального режима 3D-печати изделий различной конфигурации. Пример функциональной структуры интегрированной компьютерной системы проектирования и управления качеством изделий на базе аддитивных технологий.

2.2. Методология компьютерного моделирования. Методы построения и исследования компьютерных моделей обработки и формирования проектных решений. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования для оценки и тестирования технических, экономических, экологических характеристик технических объектов проектирования

2.2.1. Методология компьютерного моделирования

Основные понятия теории компьютерного математического моделирования. Компоненты математического обеспечения.

Классификация математических моделей в САПР (по характеру отображаемых свойств объекта, принадлежности к иерархическому уровню, степени детализации описания в пределах одного уровня, способу представления свойств объекта, способу получения).

Требования к математическим моделям и численным методам в САПР: универсальность; точность; адекватность; экономичность. Место процедур формирования моделей в маршрутах проектирования.

Характеристика структурных и функциональных моделей. Иерархия математических моделей в САПР. Виды структурных моделей в САПР. Виды функциональных математических моделей (по характеру изменения параметров во времени, типу взаимодействия параметров в модели, способности прогнозирования результатов).

Этапы компьютерного моделирования для проектирования технических изделий и процессов (определение цели проектирования, разработка концептуальной модели, формализация модели, разработка алгоритма решения модели, программная реализация модели, анализ и интерпретация результатов моделирования).

Формализованное (информационное) описание объекта предметной области как объекта проектирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели. Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.

Математическое обеспечение подсистем машинной графики и геометрического моделирования. Компоненты математического обеспечения. Геометрические модели. Методы и алгоритмы машинной графики (подготовки к визуализации).

2.2.2. Методы построения и исследования компьютерных моделей обработки и формирования проектных решений

Обобщенная модель объекта проектирования. Декомпозиция и иерархичность процесса проектирования технических объектов. Среда проектирования. Пространство варьируемых параметров. Критериальные показатели.

Математическое обеспечение анализа проектных решений. Математические модели в процедурах анализа на системном, макро- и микроуровнях.

Математическое обеспечение синтеза проектных решений. Место процедур синтеза в проектировании.

Задачи структурного синтеза сложных систем. Определение цели, множества возможных решений и ограничивающих условий.

Формирование критериев эффективности в САПР и ресурсных ограничений. Требования к критериям эффективности.

Способы представления множества проектных решений. Задача принятия решений. Представление множества альтернатив. Морфологические таблицы. Альтернативные графы. Исчисления.

Методы структурного синтеза в САПР.

Биоинспирированные методы оптимизации технических объектов и систем. Постановка задачи поиска оптимальных решений с помощью генетических алгоритмов.

Постановка задачи параметрического синтеза.

Классификация методов математического программирования. Методы одномерной оптимизации. Методы безусловной оптимизации. Необходимые условия экстремума. Методы поиска условных экстремумов.

Многокритериальная оптимизация. Методы решения задач оптимизации, реализованные в современных программных продуктах. Частные критерии. Аддитивные критерии. Минимаксные, максиминные критерии. Методы оценки частных критериев эффективности.

Алгоритмы. Типы, способы реализации. Алгоритмы и примеры решения задач проектного и поверочного расчетов автоматизированного проектирования для технических объектов. Методы и алгоритмы обработки и формирования проектных решений.

Характеристика программных комплексов оптимального проектирования технических изделий и процессов: структура; аппаратные требования и функциональные возможности; пользовательский интерфейс; средства общения; заполнение необходимых форм для моделирования; старт программы и решение задачи; получение результатов моделирования; построение графиков и таблиц результатов.

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

2.2.3 Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования для оценки и тестирования технических, экономических, экологических характеристик технических объектов проектирования

Основные стадии жизненного цикла технических объектов проектирования. Структура процесса проектирования. Характеристики технических объектов проектирования (технические, экономические, экологические). Постановка задачи оценки и тестирования характеристик технических объектов проектирования

Имитационное моделирование. Общие характеристики. Применение имитационных моделей для решения задач автоматизированного проектирования. 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.

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.

Примеры программной реализации компьютерных моделей и алгоритмов для оценки и тестирования технических, экономических, экологических характеристик технических объектов проектирования.

2.3. Цифровые двойники

2.3.1 Промышленный инжиниринг энергоресурсосберегающих химико-технологических систем

Определение промышленного инжиниринга. Введение в инжиниринг энергоресурсосберегающих химико-технологических систем. Характеристика инструментов компьютеризированного инжиниринга технических систем и бизнес-процессов.

2.3.2 Технологии цифровых двойников

Цифровизация промышленности, цифровые двойники в условиях четвертой промышленной революции. Определение термина «цифровой двойник», структура, применение на стадиях жизненного цикла высокотехнологичных изделий промышленности: от разработки цифровых моделей с учетом целевых показателей и

ресурсных ограничений, компьютерного моделирования технологических процессов изготовления изделий до их эксплуатации.

Цифровой двойник. Мировой рынок цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности. Примеры объектов моделирования. Технологии цифровых двойников в нефтегазовой промышленности.

2.4. Научные, компетентностно-ориентированные основы обучения автоматизированному проектированию технических объектов в составе проектных инжиниринговых команд

2.4.1 Автоматизированные обучающие системы как инструмент подготовки инжиниринговых команд для решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности

Укрупненная схема управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий (проектирование – производство – эксплуатация – утилизация) с учетом специалистов инжиниринговой команды. Профессиональные стандарты. Компетенции в области проектирования.

Задача комплексного компетентностно-ориентированного обучения проектных инжиниринговых команд для решения задач цифровизации и промышленного инжиниринга современных предприятий.

Основные типы обучающих систем (автоматизированные обучающие системы, интеллектуальные тренажеры, интеллектуальные системы автоматизированного обучения, интегрированные тренажерные системы).

Методология формирования траектории обучения инжиниринговой команды для решения задач проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий.

2.4.2 Структура обучающих систем

Особенности объекта изучения (признаки и структура описания). Информационная структура и компоненты обучающего комплекса для подготовки инжиниринговых команд в области решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности. Методология формирования функциональной структуры обучающего комплекса.

2.4.3 Методология формирования информационной модели объекта изучения – жизненного цикла высокотехнологичных изделий

Структура информационного описания. Разработка структуры базы данных информационного описания параметров объекта изучения. Обоснование выбора системы управления базами данных.

2.4.4 Методы автоматизированного синтеза математических моделей объектов изучения

Требования к тренажерной математической модели. Компоненты тренажерных математических моделей. Библиотека базовых модулей тренажерной модели. Модели представления знаний объекта изучения. Требования к моделям представления знаний объекта изучения. Анализ и выбор инструментальных средств построения экспертных систем. Автоматизированные интеллектуально-обучающие системы представления знаний. Режимы функционирования систем обучения и тренажа.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

*Методология автоматизированного проектирования в технике и технологиях.
Постановка, формализация и типизация проектных и технологических процедур,
алгоритмов и процессов проектирования*

- 1 Понятие инженерного проектирования.
- 2 Уровни описания и параметры проектируемых технических объектов.
- 3 Стадии проектирования технических объектов и систем.
- 4 Классификация моделей и параметров, используемых при автоматизированном проектировании.
- 5 Типовые проектные процедуры.
- 6 Определение «цифровой информационной модели».
- 7 Жизненный цикл цифровых информационных моделей при создании новых и реконструкции существующих технических объектов.
- 8 Постановка задачи автоматизированного проектирования.
- 9 Современные среды проектирования.
- 10 Основные средства визуализации виртуальных моделей.
- 11 Особенности проектирования сложных перенастраиваемых производственных систем.
- 12 Проектирование 3D моделей с использованием виртуальной реальности для синтеза анализа и графической визуализации сложных технических объектов проектирования.
- 13 Проектирование 3D моделей с использованием дополненной реальности.
- 14 Постановка комплексной задачи управления жизненным циклом промышленной продукции (изделий).
- 15 Характеристика автоматизированных систем на этапах жизненного цикла промышленной продукции.
- 16 Определения CAD/CAM/CAE/PDM/PLM систем.
- 17 Назначение, функции и состав системной среды САПР.
- 18 Современные тенденции развития САПР. Ведущие производители САПР, основные характеристики программных продуктов.
- 19 Современные форматы и алгоритмы интегрирования в САПР, анализ существующих форматов.
- 20 Понятие о мета-САПР.
- 21 Понятие о технологиях информационной поддержки жизненного цикла изделий (CALS-технологиях).
- 22 Системы международных CALS-стандартов.
- 23 Структура стандартов STEP (STandard for Exchange of Product model data), стандартов ISO 10303, используемых в САПР. Методы описания.
- 24 Структура стандартов STEP. Методы реализации.
- 25 Организация в STEP информационных обменов.
- 26 Интегрированные ресурсы и компоненты в STEP.
- 27 Прикладные протоколы STEP.
- 28 Язык моделирования Express. Структура моделей на языке Express. Схема. Сущности и атрибуты.
- 29 Структура обменного файла в стандарте STEP.
- 30 Расширения языка Express.
- 31 Комплекс средств САПР, структура.
- 32 Виды обеспечения комплекса средств САПР.
- 33 Требования к компонентам видов обеспечения.

- 34 Структура и принципы построения комплекса средств САПР.
- 35 Комплекс стандартов на автоматизированные системы.
- 36 Архитектура САПР.
- 37 Состав и структура САПР.
- 38 Подсистемы САПР.
- 39 Характеристика связей в САПР.
- 40 Системные характеристики САПР.
- 41 Классификация САПР.
- 42 Проектирующие и обслуживающие подсистемы САПР.
- 43 Свойства САПР, как сложной системы.
- 44 Разновидности САПР.
- 45 Архитектура АСТПП. Основные задачи технологической подготовки производства.
- 46 Особенности принятия проектных решений в процессе технологической подготовки производства.
- 47 Принципы построения АСТПП.
- 48 Обзор языков описания технологической информации.
- 49 Роль САПР и АСТПП в производственном цикле.
- 50 Интеграция средств САПР и АСТПП в единый процесс.
- 51 Интегрированные системы проектирования и управления. Типовая архитектура интегрированной автоматизированной системы.
- 52 Функции уровней управления интегрированной системы.
- 53 Место САПР и АСТПП в интегрированных системах проектирования, управления и производства.
- 54 Информационное обеспечение САПР, определение.
- 55 Трудно формализуемые задачи предметной области (сложных объектов проектирования) и методы их решения.
- 56 Функциональный и предметный принцип проектирования информационной структуры.
- 57 Диаграммы потоков данных.
- 58 Многоуровневая архитектура баз данных.
- 59 Внешняя, концептуальная и внутренняя модели данных.
- 60 СУБД, определение, основные функции, состав, классификация, примеры.
- 61 Инфологическое проектирование.
- 62 Даталогическое проектирование.
- 63 Основные принципы построения онтологий предметной области. Концепты, отношения, классификация отношений.
- 64 Таблицы решений и базы правил проектирования технических объектов.
- 65 Модели представления правил проектирования.
- 66 Интеллектуальные средства поддержки принятия решений.
- 67 Определение цели построения систем, основанных на знаниях для решения задач проектирования и управления сложными техническими объектами.
- 68 Типовая структура интеллектуальной САПР. Характеристика базы данных, базы правил, информационно-поисковых тезаурусов на псевдо естественном языке, интерпретатора, модуля объяснения, модуля сбора знаний (правил) проектирования.
- 69 Характеристика языков проектирования и программирования в САПР.
- 70 CASE-инструменты, классификация.
- 71 Программное обеспечение CASE-систем для концептуального проектирования.
- 72 Методология IDEF для решения задач моделирования сложных систем.
- 73 Функциональное и поведенческое моделирование сложных систем.
- 74 Методика IDEF0.
- 75 Методика IDEF3.

- 76 Информационные модели. Методика IDEF1X.
- 77 Унифицированный язык моделирования (UML). Описание семантики UML, графическая нотация, описание дополнительных понятий.
- 78 UML. Диаграммы классов, взаимодействия, последовательности, кооперативные диаграммы, диаграммы состояний, деятельности и размещения. Объект, составной объект, активный объект.
- 79 Структура и характеристики программного обеспечения САПР.
- 80 Функции сетевого программного обеспечения.
- 81 Назначение системных сред автоматизированных систем.
- 82 Интеграция программного обеспечения в САПР.
- 83 Методическое обеспечение САПР.
- 84 Требования к техническому обеспечению САПР.
- 85 Аппаратура рабочих мест в автоматизированных системах проектирования и управления.
- 86 Архитектуры серверов и суперкомпьютеров.
- 87 Характеристика вычислительных сетей в САПР и средств телекоммуникации.
- 88 Стеки протоколов и типы сетей в автоматизированных системах.
- 89 Периферийные устройства ЭВМ: современные средства интерактивного доступа.
- 90 Интерфейсы периферийных устройств: разнообразие проводных и беспроводных средств и их использование на практике.
- 91 Мультимедийные средства.
- 92 Распознавание текстовой, графической информации с использованием современных средств технического обеспечения.
- 93 3D-сканеры, методы сканирования.
- 94 Облако точек лазерного 3D-сканирования. Работа с облаками точек и координационными моделями. Выполнение стандартных операций редактирования облаков точек. Использование геопозиционирования и изображений карты.
- 95 3D-принтеры. Способы 3D-печати. Форматы файлов. Преобразование 3D-модели объекта в формат для 3D-печати.
- 96 Современные направления развития аддитивных технологий в автоматизированном проектировании. Области применения аддитивных технологий.
- 97 Основные технологии аддитивного производства.
- 98 Постановка задачи выбора рационального режима 3D-печати изделий различной конфигурации.

Методология компьютерного моделирования. Методы построения и исследования компьютерных моделей обработки и формирования проектных решений. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования для оценки и тестирования технических, экономических, экологических характеристик технических объектов проектирования

- 99 Компоненты математического обеспечения САПР.
- 100 Классификация математических моделей в САПР (по характеру отображаемых свойств объекта, принадлежности к иерархическому уровню, степени детализации описания в пределах одного уровня, способу представления свойств объекта, способу получения).
- 101 Требования к математическим моделям и численным методам в САПР: универсальность; точность; адекватность; экономичность.
- 102 Место процедур формирования моделей в маршрутах проектирования.
- 103 Характеристика структурных и функциональных моделей.
- 104 Иерархия математических моделей в САПР.

- 105 Виды структурных моделей в САПР.
- 106 Виды функциональных математических моделей (по характеру изменения параметров во времени, типу взаимодействия параметров в модели, способности прогнозирования результатов).
- 107 Этапы компьютерного моделирования для проектирования технических изделий и процессов (определение цели проектирования, разработка концептуальной модели, формализация модели, разработка алгоритма решения модели, программная реализация модели, анализ и интерпретация результатов моделирования).
- 108 Формализованное (информационное) описание объекта предметной области как объекта проектирования. Концептуальная модель.
- 109 Выбор структуры математической модели.
- 110 Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.
- 111 Математическое обеспечение подсистем машинной графики и геометрического моделирования.
- 112 Методы и алгоритмы машинной графики (подготовки к визуализации).
- 113 Обобщенная модель объекта проектирования.
- 114 Декомпозиция и иерархичность процесса проектирования технических объектов.
- 115 Среда проектирования. Пространство варьируемых параметров.
- 116 Критериальные показатели.
- 117 Математическое обеспечение анализа проектных решений.
- 118 Математические модели в процедурах анализа на системном уровне.
- 119 Математические модели в процедурах анализа на макроуровне.
- 120 Математические модели в процедурах анализа на микроуровне.
- 121 Математическое обеспечение синтеза проектных решений. Место процедур синтеза в проектировании.
- 122 Задачи структурного синтеза сложных систем. Определение цели, множества возможных решений и ограничивающих условий.
- 123 Формирование критериев эффективности в САПР и ресурсных ограничений. Требования к критериям эффективности.
- 124 Способы представления множества проектных решений. Задача принятия решений. Представление множества альтернатив.
- 125 Методы структурного синтеза в САПР.
- 126 Биоинспирированные методы оптимизации технических объектов и систем. Постановка задачи поиска оптимальных решений с помощью генетических алгоритмов.
- 127 Постановка задачи параметрического синтеза.
- 128 Классификация методов математического программирования.
- 129 Методы одномерной оптимизации.
- 130 Методы безусловной оптимизации.
- 131 Необходимые условия экстремума. Методы поиска условных экстремумов.
- 132 Многокритериальная оптимизация. Методы решения задач оптимизации, реализованные в современных программных продуктах.
- 133 Частные критерии. Аддитивные критерии. Минимаксные, максиминные критерии.
- 134 Методы оценки частных критериев эффективности.
- 135 Алгоритмы. Типы, способы реализации.
- 136 Алгоритмы решения задач проектного и поверочного расчетов автоматизированного проектирования для технических объектов.
- 137 Характеристика программных комплексов оптимального проектирования технических изделий и процессов: структура; аппаратные требования и функциональные возможности; пользовательский интерфейс; средства общения; заполнение необходимых форм для моделирования; старт программы и решение задачи; получение результатов

моделирования; построение графиков и таблиц результатов.

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

139 Основные стадии жизненного цикла технических объектов проектирования.

140 Характеристики технических объектов проектирования (технические, экономические, экологические).

141 Постановка задачи оценки и тестирования характеристик технических объектов проектирования

142 Имитационное моделирование. Общие характеристики. Применение имитационных моделей для решения задач автоматизированного проектирования.

143 Автоматические и диалоговые имитационные модели. Описание поведения системы, моделирование случайных факторов, управление модельным временем.

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

145 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.

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

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

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

149 Программные системы имитационного моделирования: классификация, сравнительное описание возможностей и характеристик пакетов.

150 Системы имитационного моделирования. Управление временем, выбор шага моделирования, управление окончанием моделирования.

151 Системы имитационного моделирования. Управление потоками событий, использование подсистем, входы, выходы и переходы, создание собственной библиотеки блоков, обработка и анализ результатов моделирования.

Цифровые двойники

152 Определение промышленного инжиниринга.

153 Характеристика инструментов компьютеризированного инжиниринга технических систем и бизнес-процессов.

154 Определение термина «цифровой двойник», структура, применение на стадиях жизненного цикла высокотехнологичных изделий промышленности: от разработки цифровых моделей с учетом целевых показателей и ресурсных ограничений, компьютерного моделирования технологических процессов изготовления изделий до их эксплуатации.

155 Мировой рынок цифровых двойников в высокотехнологичной промышленности. Примеры объектов моделирования. Технологии цифровых двойников в нефтегазовой промышленности.

Научные, компетентностно-ориентированные основы обучения автоматизированному проектированию технических объектов в составе проектных инженеринговых команд

156 Автоматизированные обучающие системы как инструмент подготовки инженеринговых команд для решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности

157 Укрупненная схема управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий (проектирование – производство – эксплуатация – утилизация) с учетом специалистов инженеринговой команды.

158 Профессиональные стандарты. Компетенции в области проектирования.

159 Задача комплексного компетентностно-ориентированного обучения проектных инженеринговых команд для решения задач цифровизации и промышленного инженеринга современных предприятий.

160 Основные типы обучающих систем (автоматизированные обучающие системы, интеллектуальные тренажеры, интеллектуальные системы автоматизированного обучения, интегрированные тренажерные системы).

161 Методология формирования траектории обучения инженеринговой команды для решения задач проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий.

162 Особенности объекта изучения (признаки и структура описания).

163 Информационная структура и компоненты обучающего комплекса для подготовки инженеринговых команд в области решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности.

164 Методология формирования функциональной структуры обучающего комплекса для подготовки инженеринговых команд в области решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности.

165 Методология формирования информационной модели объекта изучения – жизненного цикла высокотехнологичных изделий

166 Структура информационного описания. Разработка структуры базы данных информационного описания параметров объекта изучения. Обоснование выбора системы управления базами данных.

167 Требования к тренажерной математической модели.

168 Компоненты тренажерных математических моделей. Библиотека базовых модулей тренажерной модели.

169 Модели представления знаний объекта изучения. Требования к моделям представления знаний объекта изучения.

170 Анализ и выбор инструментальных средств построения экспертных систем.

171 Автоматизированные интеллектуально-обучающие системы представления знаний.

172 Режимы функционирования систем обучения и тренажа в области решения задач цифрового проектирования и ресурсосберегающего управления жизненным циклом высокотехнологичных изделий промышленности.

4. Рекомендуемые учебные издания

а) печатные учебные издания:

- 1 Аддитивные технологии : учебное пособие / М. М. Сычев [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра теоретических основ материаловедения. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2018. – 36 с.
- 2 Балакирев, В. С. Надежность систем автоматизации : Учебное пособие для вузов / В. С. Балакирев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Саратовский государственный технический университет. – 2-е изд., испр. – Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2006. – 148 с. – ISBN 5-7433-1648-1.
- 3 Берлинер, Э. М. САПР в машиностроении : Учебник для вузов / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – Москва : Форум, 2010. – 447 с. – ISBN 978-5-91134-146-6.
- 4 Головин, Ю. А. Информационные сети : Учебник для вузов / Ю. А. Головин, А. А. Суконщиков, С. А. Яковлев. – Москва : Академия, 2011. – 376 с. – ISBN 978-5-7695-6459-8.
- 5 Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : Учебник для вузов / В. С. Зарубин. - 3-е изд. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – 495 с. – ISBN 978-5-7038-3194-6 (Вып. XXI). – ISBN 978-5-7038-3022-2.
- 6 Злобин, В. К. Нейросети и нейрокомпьютеры : Учебное пособие / В. К. Злобин, В. Н. Ручкин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 252 с. – ISBN 978-5-9775-0718-9.
- 7 Коваленко, В. В. Проектирование информационных систем : учебное пособие / В. В. Коваленко. – Москва : Форум, 2012. – 319 с. – ISBN 978-5-91134-549-5.
- 8 Кондаков, А. И. САПР технологических процессов : Учебник для вузов / А. И. Кондаков. – Москва : Академия, 2007. – 268 с. – ISBN 978-5-7695-3338-9.
- 9 Краснобородько, Д. А. Моделирование химических реакторов с помощью информационно-моделирующей программы Aspen Hysys : Учебное пособие / Д. А. Краснобородько, В. А. Холоднов, Е. А. Елагина ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра системного анализа и информационных технологий. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. – 53 с. :
- 10 Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : Учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. – 341 с. – ISBN 978-5-8114-1217-4.
- 11 Моделирование систем : учебник для вузов / С. И. Дворецкий [и др.]. – Москва : Академия, 2009. – 316 с. – ISBN 978-5-7695-4737-9.
- 12 Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : Учебное пособие / И. П. Норенков. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с. – ISBN 978-5-7038-3446-6.
- 13 Орлов, С. А. Теория и практика языков программирования : учебник / С. А. Орлов. - Москва ; Санкт-Петербург ; Нижний Новгород : Питер, 2014. – 688 с. – ISBN 978-5-496-00032-1.
- 14 Плонский, В. Ю. Проектирование баз данных в СУБД MySQL : Практикум / В. Ю. Плонский, Г. В. Кузнецова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. – 54 с.
- 15 Проектирование систем автоматизации процессов нефтепереработки : учебно-методическое пособие / А. Д. Ермоленко [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Харазова. – Санкт-Петербург : Профессия, 2017. – 272 с. – ISBN 978-5-9909837-3-1.
- 16 Расчеты химико-технологических процессов : Учебное пособие для химико-

технологических спец. вузов / А. Ф. Туболкин [и др.] ; Под ред. И. П. Мухленова. - 2-е изд., перераб. и доп. – Москва. : Альянс, 2015. – 248 с. – ISBN 978-5-91872-079-0.

17 Системный анализ и принятия решений. Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad : Учебное пособие / В. А. Холоднов [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра системного анализа. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2013. – 151 с.

18 Скворцов, А. В. Автоматизация управления жизненным циклом продукции : учебник для вузов / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе, Д. А. Чмырь. – Москва : Академия, 2013. – 319 с. – ISBN 978-5-7695-6848-0.

19 Смоленцев, В. П. Управление системами и процессами : Учебник для вузов / В. П. Смоленцев, В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. П. Мельникова. – Москва : Академия, 2010. – 333 с. – ISBN 978-5-7695-5732-3.

20 Советов, Б. Я. Представление знаний в информационных системах : Учебник для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – Москва : Академия, 2011. – 143 с. – ISBN 978-5-7685-6886-2.

21 Схиртладзе, А. Г. Интегрированные системы проектирования и управления : Учебник для вузов. – Москва : Академия, 2010. – 347 с. – ISBN 978-5-7695-6457-4.

22 Харазов, В. Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами : Учебное пособие для вузов / В. Г. Харазов. - 3-е изд., перераб. и доп. - СПб. : Профессия, 2013. – 655 с. – ISBN 978-5-904757-56-4.

23 Химико-технологические системы: оптимизация и ресурсосбережение : учебное пособие для вузов / Н. В. Лисицын [и др.]. – Санкт-Петербург : Менделеев, 2013. – 392 с. – ISBN 978-5-94922-034-4.

24 Чистякова, Т. Б. Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством : научное издание / Т. Б. Чистякова, О. Г. Бойкова, Н. А. Чистяков ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 187 с. – ISBN 978-5-91884-013-9.

25 Электронный учебный курс для повышения квалификации специалистов металлургических предприятий в области технологий производства и эксплуатации наноструктурных огнеупорных материалов металлургического назначения : учебно-методическое пособие / Т. Б. Чистякова [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2015. – 51 с.

б) электронные учебные издания:

26 Автоматизированные системы обработки информации и управления качеством нанопродукции : учеб. пособие / Т. Б. Чистякова [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2013. – 87 с. – Текст : электронный // Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

27 Андрианова, А. А. Алгоритмизация и программирование. Практикум : учебное пособие / А. А. Андрианова, Л. Н. Исмагилов, Т. М. Мухтарова. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-3336-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

- 28 Вейцман, В. М. Проектирование информационных систем : учебное пособие / В. М. Вейцман. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 316 с. – ISBN 978-5-8114-3713-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 29 Волкова, В. Н. Системный анализ информационных комплексов : учебное пособие / В. Н. Волкова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 336 с. – ISBN 978-5-8114-5601-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 30 Гаврилов, А. Н. Средства и системы управления технологическими процессами : Учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. - 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 376 с. – ISBN 978-5-8114-4584-4 : // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 31 Гаврилова, Т. А. Инженерия знаний. Модели и методы : учебник для вузов / Т. А. Гаврилова, Д. В. Кудрявцев, Д. И. Муромцев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 324 с. – ISBN 978-5-8114-8793-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 32 Гартман, Т. Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 404 с. – ISBN 978-5-8114-3900-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 33 Гвоздева, Т. В. Проектирование информационных систем: технология автоматизированного проектирования. Лабораторный практикум : учебное пособие / Т. В. Гвоздева, Б. А. Баллод. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 156 с. – ISBN 978-5-8114-5147-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 34 Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие / Н. В. Голубева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1424-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 35 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: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 36 Жук, Ю. А. Информационные технологии: мультимедиа : учебное пособие для вузов / Ю. А. Жук. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-6683-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 37 Журавлев, А. Е. Инфокоммуникационные системы. Аппаратное обеспечение : учебник для вузов / А. Е. Журавлев, А. В. Макшанов, А. В. Иванищев. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 392 с. – ISBN 978-5-8114-5342-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 38 Затонский, А. В. Моделирование объектов управления в MatLab : учебное пособие / А. В. Затонский, Л. Г. Тугашова. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 144 с. – ISBN 978-5-8114-3270-7. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 39 Земсков, Ю. П. Основы проектной деятельности : учебное пособие / Ю. П. Земсков, Е. В. Асмолова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 184 с. – ISBN

- 978-5-8114-4395-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 40 Информационные технологии. Базовый курс : учебник для вузов / А. В. Костюк, С. А. Бобонец, А. В. Флегонтов, А. К. Черных. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 604 с. – ISBN 978-5-8114-8776-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 41 Копылов, Ю. Р. Компьютерные технологии в машиностроении. Практикум : учебное пособие / Ю. Р. Копылов. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 500 с. – ISBN 978-5-8114-4005-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 42 Копылов, Ю.Р. Основы компьютерных цифровых технологий машиностроения : учебник / Ю.Р. Копылов. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 496 с. – ISBN 978-5-8114-3913-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 43 Кутергин, В. А. Бизнес-инжиниринг. Модельная интерпретация управления изменениями : учебное пособие для вузов / В. А. Кутергин. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 396 с. – ISBN 978-5-8114-8531-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 44 Макшанов, А. В. Технологии интеллектуального анализа данных : учебное пособие / А. В. Макшанов, А. Е. Журавлев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 212 с. – ISBN 978-5-8114-4493-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 45 Маран, М. М. Программная инженерия : учебное пособие для вузов / М. М. Маран. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 196 с. – ISBN 978-5-8114-9323-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 46 Методы и модели исследования сложных систем и обработки больших данных : монография / И. Ю. Парамонов, В. А. Смагин, Н. Е. Косых, А. Д. Хомоненко ; под редакцией В. А. Смагина и А. Д. Хомоненко. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 236 с. – ISBN 978-5-8114-4006-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 47 Модели и способы взаимодействия пользователя с киберфизическим интеллектуальным пространством : монография / И. В. Ватаманюк, Д. К. Левоневский, Д. А. Малов [и др.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-3877-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 48 Нечеткое моделирование и управление в технических системах : учебное пособие для вузов / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пащенко, И. Ю. Кудинов, А. Ф. Пащенко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-9031-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 49 Остроух, А. В. Интеллектуальные информационные системы и технологии : Монография / А. В. Остроух, А. Б. Николаев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 308 с. – ISBN 978-5-8114-8578-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.
- 50 Остроух, А. В. Системы искусственного интеллекта : монография / А. В. Остроух, Н. Е. Суркова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 228 с. – ISBN

978-5-8114-8519-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

51 Павлов, Л. А. Структуры и алгоритмы обработки данных : учебник для вузов / Л. А. Павлов, Н. В. Первова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 256 с. – ISBN 978-5-8114-7259-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

52 Певзнер, Л. Д. Теория систем управления : учебное пособие / Л. Д. Певзнер. – 2-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 424 с. – ISBN 978-5-8114-1566-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

53 Пен, Р. З. Статистические методы математического моделирования, анализа и оптимизации технологических процессов : учебное пособие для вузов / Р. З. Пен, В. Р. Пен. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 308 с. – ISBN 978-5-8114-8369-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

54 Советов, Б. Я. Информационные технологии: теоретические основы : Учебное пособие для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 444 с. – ISBN 978-5-8114-1912-8 : // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

55 Тюкачев, Н. А. C#. Программирование 2D и 3D векторной графики : учебное пособие для спо / Н. А. Тюкачев, В. Г. Хлебостроев. – 2-е, стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 320 с. – ISBN 978-5-8114-8988-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

56 Федотов, А. В. Компьютерное управление в производственных системах : учебное пособие для вузов / А. В. Федотов, В. Г. Хомченко. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 620 с. – ISBN 978-5-8114-8065-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

57 Флегонтов, А. В. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных : монография / А. В. Флегонтов, В. Б. Вилков, А. К. Черных. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 332 с. – ISBN 978-5-8114-4402-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

58 Цветков, В. Я. Основы теории сложных систем : учебное пособие / В. Я. Цветков. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 152 с. – ISBN 978-5-8114-3509-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

59 Цехановский, В. В. Управление данными : учебник для вузов / В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 432 с. – ISBN 978-5-8114-1853-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

60 Чертовской, В. Д. Моделирование процессов адаптивного автоматизированного управления производством : монография / В. Д. Чертовской. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 200 с. – ISBN 978-5-8114-3668-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

в) вспомогательные печатные и электронные источники:

61 Яблокова, М. А. Экологические аспекты строительства : учебное пособие / М. А. Яблокова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерного проектирования. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2019. – 128 с. – Текст : электронный // Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

62 Яблокова, М. А. Инженерная экология гидросферы : Учебное пособие / М. А. Яблокова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерного проектирования. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2021. – 49 с. // Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

63 Проектирование однокорпусной выпарной установки непрерывного действия : учебное пособие / О. М. Флисюк [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра процессов и аппаратов. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2014. – 47 с. // Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 28.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

64 Марцулевич, Н. А. Надежность химико-технологических систем : Учебное пособие / Н. А. Марцулевич, В. З. Борисов ; СПбГТИ(ТУ). – Санкт-Петербург : Изд-во СПб. гос. ун-та экономики и финансов, 2002. – 149 с. – ISBN 5-7310-1610-0.

65 Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза : Учебник для вузов / И. А. Грязнов, Н. Г. Дигуров, В. В. Кафаров, М. Г. Макаров; Отв. ред. Н. Н. Лебедев. – Москва : Химия, 1995. – 256 с. – ISBN 5-7245-0405-7.

66 Кафаров, В. В. Анализ и синтез химико-технологических систем : Учебник для химико-технологических спец. вузов / В. В. Кафаров, В. П. Мешалкин. – Москва : Химия, 1991. – 432 с. – ISBN 5-7245-0366.

67 Кольцова, Э. М. Методы синергетики в химии и химической технологии : учебное пособие для вузов / Э. М. Кольцова, Л. С. Гордеев. – Москва : Химия, 1999. – 253 с. – ISBN 5-7245-1157-6.

68 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.

69 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: 04.02.2022). – Режим доступа: по подписке

70 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.

71 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.

72 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.

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

74 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.

75 Липаев, В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ : учебник / В. В. Липаев. – Москва : СИНТЕГ, 2010. – 400 с. – ISBN 978-5-89638-115-0.

76 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.

77 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: 04.02.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

78 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: 04.02.2022). – Режим доступа: по подписке.

79 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.

80 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.

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>).