



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

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Шев
«15» *сентября* 2022 г.



ПРОГРАММА
вступительных испытаний для приема на обучение по программе
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

По дисциплине

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

Научная специальность

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАЗРАБОТЧИКИ

Должность, ученое звание	Подпись	Фамилия, инициалы
Заведующий кафедрой автоматизации процессов химической промышленности, профессор		Русинов Л.А.
Доцент кафедры автоматизации процессов химической промышленности, доцент		Рудакова И.В.

Программа вступительного экзамена обсуждена на заседании кафедры автоматизации процессов химической промышленности (АПХП)
протокол от «29» декабря 2021г. № 3
Заведующий кафедрой АПХП

Л.А. Русинов

СОГЛАСОВАНО

Ответственный за подготовку программы – заведующий кафедрой автоматизации процессов химической промышленности, д-р. техн. наук, профессор		Русинов Л.А.
Проректор по научной работе		Гарабаджиу А.В.
Начальник отдела аспирантуры и докторантуры		Еронец О.Н.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Рекомендуемая структура экзамена	4
2. Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена	4
2.1 Основы теории автоматического регулирования и управления	4
2.2 Моделирование и оптимизация систем управления технологическими процессами.....	5
2.3 Автоматизация технологических процессов и производств	6
2.4 Информационные технологии в управлении.	7
3. Вопросы к вступительному экзамену	8
4 Рекомендуемая литература	10
4. Методические указания по подготовке к вступительному экзамену	11

1. Рекомендуемая структура экзамена

- 1.1. Письменный ответ на три вопроса из списка экзаменационных вопросов.
- 1.2. Беседа с членами приемной комиссии по этим вопросам и вопросам, связанным со специальностью и будущим научным исследованием.

2. Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена

2.1 Основы теории автоматического регулирования и управления

Основные функциональные элементы регулятора и алгоритм его функционирования. Аналоговые и цифровые регуляторы. Фундаментальные принципы управления.

Передаточные функции и передаточные матрицы для описания автоматических систем управления. Типовые звенья и их временные и частотные характеристики. Виды соединений звеньев. Определение передаточной функции системы по передаточным функциям отдельных звеньев. Передаточная функция замкнутой системы.

Уравнения состояния для описания одномерных и многомерных систем. Получение этих уравнений по передаточной функции и обратные процедуры. Построение наблюдателей. Управляемость и наблюдаемость систем.

Прохождение случайного сигнала через линейную систему. Случайный сигнал в замкнутой линейной системе. Уравнение Винера — Хопфа, методы его решения.

Устойчивость линейных систем. Условия устойчивости линейных систем. Алгебраические и частотные критерии устойчивости (Рауса-Гурвица, Михайлова, Найквиста). Запасы устойчивости. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Выделение областей устойчивости. Понятие о D-разбиении и расширенных частотных характеристиках.

Системы с запаздыванием. Частотные критерии устойчивости для систем с запаздыванием. Понятие об интервальной устойчивости. Теорема Харитоновой.

Качество переходных процессов. Оценка качества автоматической системы регулирования (АСР) по переходной характеристике. Оценка качества АСР при гармонических воздействиях. Корневые методы оценки качества АСР. Интегральные критерии качества. Взаимосвязь различных критериев качества.

Повышение точности АСР. Инвариантность и комбинированное управление. Метод динамической компенсации.

Типовые законы регулирования. Параметрическая оптимизация системы.

Преобразование Лапласа для импульсных сигналов. Определение Z-преобразования. Связь Z-преобразования с преобразованием Лапласа. Свойства Z-преобразования. Обратное Z-преобразование. Передаточная функция импульсной системы. Передаточная функция последовательного соединения звеньев системы.

Устойчивость импульсной системы. Уравнение состояния для дискретной системы. Использование ПИД закона регулирования в дискретных системах. Цифровые автоматические системы управления. Системы с широтно-импульсной модуляцией. Системы с частотно-импульсной модуляцией.

Нелинейные системы - основные понятия, особенности. Типовые нелинейности, их статические и временные характеристики. Определение статических характеристик последовательного и параллельного соединения нелинейностей.

Устойчивость нелинейной системы. Методы Ляпунова. Абсолютная устойчивость.

Частотный метод определения устойчивости В.М.Попова. Геометрическая интерпретация метода.

Статистическая линеаризация нелинейностей. Нелинейное преобразование случайных сигналов. Расчет нелинейных систем методом статистической линеаризации. Качество переходного процесса и его исследование с помощью ЭВМ. Корректирующие звенья в нелинейных АСР.

Идентификация статических и динамических систем. Виды оценок параметров. Применение метода наименьших квадратов для идентификации динамических систем.

2.2 Моделирование и оптимизация систем управления технологическими процессами.

Постановка задачи оптимального управления. Градиентные методы поиска экстремума.

Условная оптимизация. Безусловная оптимизация. Основные свойства задач линейного программирования.

Симплекс-метод решения задач линейного программирования. Нелинейное программирование. Сведение к задаче линейного программирования нелинейных задач.

Принцип максимума Л.С.Понтрягина.

Численные методы оптимизации. Использование функций Ляпунова для синтеза субоптимальных систем. Решение задач оптимизации в условиях неопределенности. Адаптивное управление.

Оптимизация дискретных динамических систем. Принцип оптимальности Р.Беллмана. Использование динамического программирования для оптимизации систем.

Основные направления и методы моделирования. Основные положения теории подобия. Формы представления математических моделей.

Методы построения статических моделей технологических процессов (ТП). Фундаментальные модели, концептуальные модели, экспериментально-статистические (регрессионные) модели, комбинированные модели. Оценивание параметров регрессионных моделей в условиях активного эксперимента.

Математическое моделирование химико-технологических процессов. Блочный принцип представления элементов математических моделей. Математические модели типовых химико-технологических процессов.

Моделирование систем. Реализация вычисления переменных модели. Точность и устойчивость решения. Идентификация и оценка адекватности модели. Методы идентификации и проверки адекватности. Верификация модели. Проблемный анализ.

Имитационное моделирование. Свойства имитационных моделей. Проблемно-ориентированные имитационные системы. Методы имитации, сценарии, тренажеры, имитационные игры.

Типовая структура системы многоуровневой оптимизации в АСУТП. Системы верхнего уровня (подсистемы идентификации, адаптации, статической оптимизации режима ТП). Системы нижнего уровня (подсистемы автоматизированного контроля и стабилизации режима ТП). Взаимодействие подсистем в ходе функционирования технологического объекта.

Требования, предъявляемые к характеристикам ТП. Требования, предъявляемые к переменным, определяющим состояние ТП, и к управляющим воздействиям: поддержание на заданном уровне, выдерживание в заданных пропорциях, минимизация, максимизация, соблюдение технологических допусков. Общая формализованная постановка задачи оптимизации ТП.

Формирование единой целевой функции в многокритериальных задачах оптимизации ТП. Оптимальность по Парето. Аддитивная свертка критериев оптимизации. Методы решения задач статической оптимизации ТП.

Динамическая оптимизация ТП. Постановка и методы решения задач динамической оптимизации. Решение задач динамической оптимизации в рамках комплексной системы оптимизации и стабилизации режима ТП.

2.3 Автоматизация технологических процессов и производств

Понятие об автоматизированных и автоматических системах управления.

Управление предприятием по 2-х и 3-х уровневой иерархии: структурные схемы; задачи и технические решения на отдельных уровнях иерархии.

Интегрированные АСУ крупными промышленными предприятиями.

Основные функции MES-систем. Примеры MES-систем.

Системы планирования ресурсов предприятия (ERP-системы). Основные функции и подсистемы ERP-систем. Примеры ERP-систем

Основные функции и типовая функциональная структура АСУ ТП.

Основные виды обеспечения АСУТП. Техническое и алгоритмическое обеспечение АСУТП. Виды и компоненты программного обеспечения. Операционные системы. Информационное обеспечение АСУ.

Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ. Разработка методов обеспечения совместности и интеграции АСУ, АСУТП, АСУП, АСТПП и других систем и средств управления.

Методы определения свойств и характеристик объектов. Аналитические методы определения характеристик объектов.

Методики вывода передаточных функций объекта. Экспериментальные методы определения свойств объектов.

Синтез одноконтурных промышленных систем регулирования: постановка задачи; основные качественные характеристики;

методы синтеза АСР по прямым и косвенным показателям качества. Основные методы расчета оптимальных настроечных параметров промышленных регуляторов для одноконтурных АСР.

Синтез и расчет комбинированных АСР. Системы с подключением динамического компенсатора.

Синтез и расчет каскадных АСР. Основные структуры, принципы расчета каскадных АСР.

Регулирование объектов с запаздыванием. Особенности применения одно-контурных АСР с типовыми законами регулирования на объектах с запаздыванием. Свойства АСР с регуляторами Смита и Ресвика.

Регулирование многосвязных объектов. Синтез и расчет систем несвязанного регулирования многосвязных объектов.

Синтез и расчет систем связанного регулирования многосвязных объектов. Основные типы структур и принципы расчета. Методики расчета компенсаторов.

Системный анализ ТП как объекта управления и автоматизации. Выбор каналов управления, параметров контроля, сигнализации и защиты.

Автоматизация типовых ТП: гидромеханических, тепловых, массообменных, реакторных и др. видов технологических процессов. Типовое решение автоматизации. Типовая схема автоматизации. Автоматизация непрерывных производственных процессов на основе идеологии АСУТП.

Специфика периодических и дискретных процессов как объектов управления. Автоматизация периодических производств.

Структура и функциональные характеристики АСУТП гибких автоматизированных ХТС.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) и промышленные персональные компьютеры (ППК) в системах управления. Классификация и методы выбора ПЛК.

Современные тенденции развития распределенных АСУТП: интеграция АСУ ТП и АСУП; открытость систем (соответствие всех компонентов системы стандартам МЭК; интеллектуализация полевой автоматики (первичных преобразователей и исполнительных механизмов); резервирование контроллеров; повышение быстродействия систем управления, развитие встраиваемых систем и др.

Постановка задач принятия решений. Классификация задач принятия решений. Этапы решения задач. Экспертные процедуры. Задачи оценивания. Алгоритм экспертизы. Методы получения экспертной информации. Шкалы измерений, методы экспертных измерений. Методы опроса экспертов, характеристики экспертов. Методы обработки экспертной информации, оценка компетентности экспертов, оценка согласованности мнений экспертов. Принятие решений в условиях неопределенности.

2.4 Информационные технологии в управлении.

Модели данных. Реляционная модель данных. Сетевая модель данных. Иерархическая модель данных. Взаимосвязи между объектами и атрибутами.

Системы управления базами данных. Особенности управления распределенными базами данных и системы управления распределенными базами данных. Стандарты на обмен данными между подсистемами АСУ. Проектирование баз данных.

Системы, основанные на знаниях. Модели представления знаний. Сравнение способов представления знаний.

Искусственный интеллект (ИИ) в системах управления. Неполные, ненадежные, противоречивые знания. Приобретение и формализация знаний. Сбор знаний от экспертов.

Экспертные системы (ЭС). Архитектура. База знаний ЭС. Машина вывода ЭС. ЭС реального времени.

Особенности реализации на ПЭВМ. Свойства и ограничения ЭС. Области применения ЭС. ЭС в системах управления, ЭС в системах диагностики. Построе-

ние регуляторов на базе ЭС.

Представление и использование нечетких знаний. Нечеткие множества и нечеткие выводы. Операции над нечеткими множествами. Лингвистические переменные, нечеткие динамические системы, нечеткие отношения как модели динамических систем.

Нечеткие регуляторы. Структуры и подходы к построению нечетких регуляторов. Фаззификация. Алгоритмы вывода. Методы дефаззификации.

Анализ и синтез нечетких регуляторов.

Построение функций принадлежности Нечеткие системы ситуационного управления. Отношения на нечетких ситуациях. Подходы к построению ситуационных систем управления.

Обучаемые интеллектуальные управляющие системы. Понятие о нейронных сетях. Возможности их использования в системах управления.

Ограничения. Гибридные системы на базе нечетких систем и нейронных сетей.

3. Вопросы к вступительному экзамену

1. Понятие АСР, основные виды и задачи регулирования, классы систем автоматического управления.
2. Вычисление вынужденной и свободной составляющих движения линейной системы через преобразование Лапласа.
3. Характеристики типовых динамических звеньев.
4. Устойчивость линейной АСР. Виды границ устойчивости.
5. Исследование устойчивости АСР: алгебраические методы, критерий устойчивости Михайлова, критерий устойчивости Найквиста, критерий Гурвица.
6. Прямое и обратное Z-преобразование. Свойства Z-преобразования.
7. Дискретные регуляторы. ПИД-закон регулирования в дискретной системе.
8. Уравнения вход-выход-состояние для систем с запаздыванием и без запаздывания.
9. Статические и астатические системы. Порядок астатизма системы.
10. Метод динамической компенсации для различных видов объектов.
11. Идентификация динамических объектов по реакциям на типовые воздействия и с применением имитационного моделирования и настраиваемых моделей
12. Общая схема постановки и решения задач статической идентификации. Расчет параметров модели по методу наименьших квадратов.
13. Настройка параметров типовых законов регулирования с использованием динамической модели объекта управления
14. Оценка качества регрессионной модели технологического объекта. Влияние входных воздействий на качество регрессионных моделей
15. Необходимые и достаточные условия существования экстремума функции многих переменных. Методы поиска экстремума.
16. Принцип максимума Л. С. Понтрягина.
17. Симплекс метод решения задач линейного программирования.
18. Сведение задачи нелинейного программирования к задаче линейного программирования.

19. Решение линейно-квадратичной дискретной задачи оптимального управления методом динамического программирования.
20. Иерархический принцип управления химическими предприятиями по 3-х уровневой иерархии. Интегрированные автоматизированные системы управления предприятиями.
21. Структура современных распределенных АСУ ТП, их архитектура, состав, функции, основные характеристики.
22. ERP-, CRM- и MES-системы. Назначение, структура и функции.
23. Виды и принципы построения АСУТП, основные виды обеспечения АСУТП.
24. Программируемые логические контроллеры (ПЛК). Классификация, отличительные особенности, методика выбора контроллеров. Компоненты ПЛК. Технические характеристики.
25. Способы определения свойств объекта: аналитический и экспериментальный.
26. Аналитические методы синтеза одноконтурной АСР по прямым показателям с объектами разных свойств.
27. Комбинированные АСР с различными схемами подключения динамического компенсатора.
28. Структура каскадной АСР, итерационный алгоритм расчета каскадной системы регулирования.
29. Структура многосвязных систем, системы связного и несвязного регулирования, методы расчета компенсаторов.
30. Методика решения задачи управления статическими режимами ТП. Обработка данных промышленного эксперимента для статистического моделирования.
31. Особенности автоматизации периодических процессов.
32. Функциональное назначение систем усовершенствованного управления (АРС-системы). Местоположение таких систем в структуре АСУ.
33. Архитектура экспертных систем реального времени и обзор инструментальных средств для их разработки.
34. Способы построения базы знаний для когнитивной системы. Этапы, методика.
35. Этапы экспертного опроса. Оценка компетентности экспертов и методы обработки коллективных оценок.
36. Методы представления знаний в системах искусственного интеллекта: продукционные, сетевые и фреймовые модели.
37. Структура нечеткого регулятора, его отличительные особенности и методы реализации операций фаззификации, нечеткого вывода и дефаззификации.
38. Топологии нейросетевых моделей: сети прямого распространения, радиально-базисные сети. Процедуры их обучения.
39. Нейронные сети с процедурой обучения без учителя. Варианты топологий и сферы применения.
40. Организация работы механизма вывода в экспертных системах в зависимости от метода представления знаний.

4 Рекомендуемая литература

а) печатные издания:

1. Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами: учебное пособие для вузов / В.Г. Харазов. – Санкт-Петербург: Профессия, 2013. - 592 с.- ISBN 978-5-904757-56-4.
2. Шишмарёв, В.Ю. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. - Москва: Академия, 2012. - 351 с. - ISBN 978-5-7695-9139-6.
3. Советов, Б.Я. Моделирование систем: учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 5-е изд. - Москва: Высшая школа, 2007. - 343 с. - ISBN 978-5-06-003860-6
4. Советов, Б.Я. Интеллектуальные системы и технологии: учебник для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – Москва: Академия, 2013. - 318 с. - ISBN 978-5-7695-9572-1
5. Схиртладзе, А.Г. Интегрированные системы проектирования и управления: учебное пособие для вузов / А.Г. Схиртладзе, Т.Я. Лазарева, Ю.Ф. Мартемьянов. – Москва: Академия, 2010. – 347 с. - ISBN 9785-769564574.
6. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А. С. Ключев [и др.]. - Москва: Альянс, 2015. - 464 с. ISBN 978-5-903034-44-4
7. Теория автоматического управления: учебник для ВУЗов/ С. Е. Душин, Н. С. Зотов, Д. Х. Имаев [и др.]; – Москва: Высшая школа, 2009. – 567 с. – ISBN 978-5-06-006126.

б) электронные учебные издания:

1. Пенькова, Т. Г. Модели и методы искусственного интеллекта: учебное пособие / Т. Г. Пенькова, Ю. В. Вайнштейн. — Красноярск: СФУ, 2019. — 116 с. — ISBN 978-5-7638-4043-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/157579> (дата обращения: 05.06.2021). — Режим доступа: по подписке.
2. Садыков, Х. А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / Х. А. Садыков, З. Л. Хакимов, М. Р. Исаева. – Грозный: Министерство образования и науки Российской Федерации, Грозненский государственный нефтяной технический университет, 2017. – 138 с. – Текст электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/156895> (дата обращения: 06.06.2021). – Режим доступа: по подписке.
3. Ленский, М. С. Автоматизация технологических процессов: учебное пособие / М. С. Ленский. – Москва: МИРЭА-Российский технологический университет, 2019. – 99 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/171503> (дата обращения: 06.06.2021). – Режим доступа: по подписке.

4. Петров, А. В. Моделирование процессов и систем: учебное пособие / А. В. Петров. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1886-2. — Текст электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212213> (дата обращения: 01.07.2021). — Режим доступа: по подписке.
5. 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/book/175505> (дата обращения: 01.07.2021). — Режим доступа: по подписке.
6. Бобиков, А. И. Анализ и проектирование нелинейных систем управления: учебное пособие / А. И. Бобиков. — Рязань: Министерство образования и науки Российской Федерации Рязанский государственный радиотехнический университет, 2013. — 220 с. — Текст электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167991> (дата обращения: 05.06.2021). — Режим доступа: по подписке.

4. Методические указания по подготовке к вступительному экзамену

При подготовке к вступительному экзамену поступающим в аспирантуру лучше всего ориентироваться на лекции, прочитанные преподавателями кафедры по дисциплинам «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» и «Теория автоматического управления». Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дополнять сведениями из литературных источников, представленных в «Рабочей программе». По каждой из тем, приведенных в рабочей программе дисциплины «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами», следует сначала прочитать рекомендованную литературу и, при необходимости, составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как www.rambler.ru, www.yandex.ru, www.google.ru, www.yahoo.ru и использовать материалы сайтов и обучающих программ, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Например, рекомендуется использование следующих сайтов:

- Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
- Российская государственная библиотека - www.rsl.ru
- Российская национальная библиотека - www.nlr.ru
- Библиотека Академии наук - www.rasl.ru

- Библиотека по естественным наукам РАН - www.benran.ru
- Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - www.viniti.ru
- Государственная публичная научно-техническая библиотека - www.gpntb.ru
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - elibrary.ru