

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Российский химико-технологический университет имени  
Д.И. Менделеева»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке

РХТУ им. Д.И. Менделеева



А.А. Щербина

13) декабря 20 22 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**2.3.3 АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ  
ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ**

Москва 2022 г

Программа составлена д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов А.Ф. Егоровым, д.т.н., профессором кафедры кибернетики химико-технологических процессов Т.В. Савицкой, к.т.н., доцентом кафедры кибернетики химико-технологических процессов П.Г. Михайловой.

## СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### 1. Основы теории управления

#### 1.1. Основные понятия и определения в области управления химико-технологическими процессами.

**Основные термины и определения.** Химико-технологический процесс (ХТП). Регулируемая переменная. Управляющие и возмущающие воздействия. Система автоматического регулирования (САР). Блок-схема САР.

**Иерархическая структура систем управления химическими предприятиями.** Иерархическая структура химических предприятий. Структура интегрированных автоматизированных систем управления химическими предприятиями. Основные понятия о системах автоматического регулирования ХТП. Блок-схема систем управления (СУ) ХТП.

**Классификация систем управления ХТП.** По виду математического описания: линейные и нелинейные СУ ХТП. По принципу регулирования: разомкнутые, замкнутые, комбинированные и адаптивные. По функциональному назначению: стабилизирующие, следящие и программные. По числу контуров управления: одноконтурные и многоконтурные. По числу управляемых переменных и управляющих воздействий: односвязные и многосвязные.

**Качество, быстродействие и устойчивость систем автоматического регулирования (САР).** Основные показатели устойчивости, быстродействия и качества СУ ХТП.

**Этапы анализа и синтеза САР.** Последовательности этапов синтеза СУ ХТП: анализ ХТП как объекта управления (выявление управляемых переменных, управляющих и возмущающих воздействий), синтез структуры СУ ХТП и выбор закона регулирования. Расчет оптимальных параметров настроек регуляторов и проведение имитационного моделирования САР. Выбор технических средств реализации САР и ее внедрение.

#### 1.2. Линейные системы автоматического регулирования. Основы математического описания.

**Статические и динамические характеристики элементов САР.** Линейные и нелинейные статические характеристики ХТП. Методы линеаризации: аналитические и численные. Динамические характеристики элементов САР. Переходные процессы в линейных системах. Системы, описываемые дифференциальными уравнениями первого, второго и более высоких порядков.

**Типовые звенья САР.** Временные характеристики элементарных звеньев САР. Временные характеристики усилительного, интегрирующего, идеального дифференцирующего, инерционного звеньев первого и второго порядков и колебательного звена.

**Преобразование Лапласа. Передаточные функции элементарных звеньев САР.** Применение операционного исчисления для решения дифференциальных уравнений. Преобразование Лапласа. Основные свойства оригинала. Расчет передаточных функций элементарных звеньев САР: усилительное звено, интегрирующее звено, идеальное дифференцирующее звено, инерционное звено первого порядка.

**Частотные характеристики элементарных звеньев САР.** Метод частотных характеристик. Амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики линейных систем. Вещественные и мнимые частотные характеристики. Расчет частотных характеристик элементарных звеньев: усилительного интегрирующего, дифференцирующего, инерционного звеньев первого и второго порядков и звена чистого запаздывания.

**Типовые законы регулирования.** Временные и частотные характеристики законов регулирования. Временные и частотные характеристики П, И, ПИ, ПД и ПИД-законов регулирования.

### **1.3. Анализ работы одноконтурной САР.**

**Устойчивость САР.** Критерии устойчивости. Передаточные функции разомкнутой и замкнутой одноконтурной САР. Преобразование структурных блок-схем. Сигнальные графы. Алгебраические и частотные критерии устойчивости линейных САР.

**Расчет параметров настроек САР.** Прямые и косвенные методы расчета параметров настроек САР. Расчет оптимальных параметров настроек ПИ-регулятора с помощью частотных характеристик.

### **1.4. Методы повышения качества регулирования химико-технологических процессов.**

**Каскадные системы автоматического регулирования.** Структурная схема каскадных САР. Расчет передаточных функций эквивалентных объектов регулирования для основного и вспомогательных регуляторов.

**Комбинированные системы автоматического регулирования.** Условие абсолютной инвариантности регулируемой переменной относительно возмущающего воздействия. Расчет передаточной функции устройства ввода по возмущающему воздействию.

**Адаптивные системы автоматического регулирования.** Классификация адаптивных СУ ХТП. Поисковые и беспойсковые самонастраивающиеся системы. Использование эталонных моделей в адаптивных СУ ХТП.

### **1.5. Системы автоматического регулирования типовых химико-технологических процессов.**

**САР теплообменных процессов.** Структуры и блок-схемы одноконтурных, комбинированных, каскадных и многосвязных САР теплообменных процессов.

**САР массообменных процессов.** Структуры и блок-схемы одноконтурных, комбинированных, каскадных и многосвязных САР

массообменных процессов.

**САР реакторных процессов.** Структуры и блок-схемы одноконтурных, комбинированных, каскадных и многосвязных САР реакторных процессов.

## **2. Интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ)**

### **2.1. Интегрированные автоматизированные системы управления: принципы создания и функциональные возможности.**

**Принципы построения ИАСУ.** Основные понятия и использование принципов системности, иерархичности, управляемости, адаптивности, симбиозности, оперативности, открытости и совместимости программно-аппаратных средств, единства технологической, экономической и экологической информации при разработке ИАСУ.

**Основные направления интеграции и декомпозиции используемые при создании ИАСУ.** Функциональная интеграция: обеспечение непротиворечивости целей и согласование критериев. Математическая интеграция: иерархия математических моделей, методов и алгоритмов решения локальных и глобальных многокритериальных задач управления химическими производствами. Техническая интеграция: иерархическая структура технических (аппаратных) средств и методы их интеграции. Информационная интеграция: основные подходы к сбору, хранению и обновлению информации с использованием баз данных реального времени и сетевых распределенных баз данных.

**Функциональные возможности ИАСУ.** Перечень функций решаемых на каждом из уровней управления и горизонте планирования. Процессы взаимодействия между системами управления ИАСУ.

### **2.2. Основные функциональные возможности, методы и модели проектирования АСУ ТП (SCADA-системы), АСУ ПП (MES-системы), АСУП (ERP-системы).**

Автоматизированные системы управления предприятиями – ERP-системы. Функциональные возможности и основные подсистемы ERP-систем. Современные отечественные и зарубежные информационные ERP-системы: «Галактика», R/3 фирмы SAP.

Системы управления производством (производственными процессами) – MES-системы. Функциональные возможности и основные подсистемы MES-систем.

АСУ ТП и системы диспетчерского управления и сбора данных – SCADA-системы. Функциональные возможности и решаемые задачи SCADA-системами.

PI-системы – информационная система предприятия. PI-система – инструмент построения информационной системы производства реального времени для промышленного предприятия.

### **2.3. Адаптивные и интеллектуальные системы автоматизации и управления.**

**Адаптивные системы управления технологическими процессами: классификация и основные методы синтеза.** Самонастраивающиеся системы. Понятие и принципы построения. Поисковые и беспойсковые

самонастраивающиеся системы.

**Нейросетевые модели и алгоритмы управления.** Основные свойства и преимущества использования искусственных нейронных сетей (ИНС) в системах управления. Функциональные структуры нейросетевых систем управления. Общая процедура проектирования систем автоматического управления с использованием ИНС. Примеры использования ИНС в системах управления химико-технологическими процессами.

**Системы управления, основанные на знаниях: экспертные и нечеткие алгоритмы управления.** Система управления с экспертными оценками: решаемые задачи, функциональная структура, этапы алгоритма управления. Нечёткие алгоритмы. Принятие решений на основе нечётких алгоритмов. Общие принципы построения нечётких систем управления. Блок-схема нечёткого регулятора. Этапы формирования управляющих воздействий. Процедура синтеза нечёткого регулятора. Алгоритмы расчёта управляющего воздействия в нечётком регуляторе. Примеры синтеза и использования нечётких регуляторов в системах управления химико-технологическими процессами.

**2.4. Информационное обеспечение и программно-аппаратные комплексы АСУ на базе современных технологий автоматизации**

**Программно-аппаратные комплексы ERP-, MES- и SCADA-систем.** Отечественные и зарубежные ERP-, MES- и SCADA-системы.

**Информационное обеспечение и средства интеграции ERP-, MES- и SCADA-систем.** Информационное обеспечение АСУ ТП: понятие и предъявляемые требования. Уровни интеграции информационных систем предприятия.

**3. Системы управления качеством продукции, окружающей среды и безопасностью химических производств.** Интегрированные автоматизированные системы управления качеством готовой продукции: структура и функциональные возможности. Автоматизированные системы контроля и управления качеством атмосферного воздуха: структура и функциональные возможности. Интегрированные автоматизированные системы управления безопасностью химических производств: структура, функциональные возможности и решаемые задач.

**4. Методологические основы, методы и инструментальные средства анализа и проектирования сложных систем и бизнес-процессов организаций.** Моделирование бизнес-процессов. Методология структурного анализа и проектирования сложных систем (бизнес - процессов организации) SADT-Structured Analysis and Design Technique». Методология IDEF (Integrated DEFinition) – методология семейства ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) для решения задач моделирования сложных систем. Методология ARIS (Architecture of Integrated Information System) – проектирование интегрированных информационных систем. Программные средства для анализа и моделирования бизнес-процессов.

**5. Методологические основы кибернетической организации, стратегия и задачи оптимального функционирования (гибкого управления) химических производств и общая формулировка задач**

**оптимального функционирования химических производств.** Особенности многоассортиментных химических производств как объектов кибернетической организации. Классификация задач кибернетической организации многоассортиментных химических производств. Стратегия и задачи гибкого управления многоассортиментными химическими производствами.

**6. Постановка и методы решения задач технико-экономического, оптимального и оперативно-календарного планирования.** Постановка задач технико-экономического планирования (ТЭП). Формулировка и решение задач линейного программирования (ЗЛП) графическим методом. Формулировка и решение задачи ТЭП как ЗЛП средствами MS Excel. Формулировка и решение задач планирования и оперативного управления.

**7. Модели составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств.** Основные понятия теории расписаний. Определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования. Составление расписаний работы многопродуктового технологического аппарата. Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами. Составление расписаний работы многопродуктовых периодических производств с параллельными аппаратами. Составление расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продуктов. Классификация методов решения задач теории расписаний. Общая постановка задач комбинаторной оптимизации и методы их решения.

**8. Основы цифровизации химических предприятий.** Индустрия 4.0 – четвертая промышленная революция. Цифровые двойники и цифровые фабрики. Цифровизация промышленных предприятий в РФ.

### **Вопросы для кандидатского экзамена по научной специальности**

#### **2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами**

1. Классификация САР.
2. Статические и динамические характеристики, кривые разгона, основные динамические свойства элементов САР.
3. Линейные системы: дифференциальные уравнения, уравнение статической характеристики, характеристическое уравнение.
4. Преобразование Лапласа и его свойства. Передаточные функции.
5. Блок-схемы САР. Соединение элементов САР: последовательное, параллельное, с обратной связью.
6. Декомпозиция передаточных функций. Пропорциональное элементарное звено: уравнение, передаточная функция, динамическая и частотная характеристики, пример.
7. Инерционное элементарное звено: уравнение, передаточная функция, динамическая и частотная характеристики, пример.
8. Интегрирующее элементарное звено: уравнение, передаточная

функция, динамическая и частотная характеристики, пример.

9. Дифференцирующее элементарное звено: уравнение, передаточная функция, динамическая и частотная характеристики, пример.

10. Амплитудно-фазовые характеристики элементарных звеньев САР.

11. Амплитудно-фазовые характеристик ПИ- и ПИД-законов регулирования.

12. Устойчивость САР. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.

13. Устойчивость САР. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерий устойчивости Михайлова.

14. Устойчивость САР. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерий устойчивости Найквиста-Михайлова.

15. Адаптивные системы автоматического регулирования.

16. Каскадные САР и методы их расчета.

17. Комбинированные САР и их расчет.

18. Связанные САР.

19. Структуры, блок-схемы и описание работы одноконтурных, комбинированных и каскадных САР теплообменных процессов.

20. Структуры, блок-схемы и описание работы одноконтурных, комбинированных и каскадных САР массообменных процессов.

21. Структуры, блок-схемы и описание работы одноконтурных, комбинированных и каскадных САР реакторных процессов.

22. Интегрированные автоматизированные системы управления: структура и функциональные возможности.

23. Основные направления интеграции, используемые при создании интегрированных автоматизированных систем управления.

24. Основные направления декомпозиции, используемые при создании интегрированных автоматизированных систем управления.

25. Основные принципы создания интегрированных автоматизированных систем управления.

26. Автоматизированные системы управления предприятиями (ERP-системы): функциональные возможности и основные подсистемы. Отечественные и зарубежные ERP-системы.

27. Структура и функциональные возможности корпоративных информационных систем «Галактика» и R/3 фирмы SAP.

28. Автоматизированные системы управления производственными процессами (MES-системы): функциональные возможности и основные подсистемы. Отечественные и зарубежные MES-системы. Привести примеры решаемых ими задач.

29. Понятие АСУ ТП. Основные функции. Технические требования к распределенным АСУ ТП.

30. Иерархическая структура распределенной АСУ ТП. Технические средства и задачи, решаемые на разных уровнях.

31. Основные этапы проектирования АСУ ТП с использованием SCADA-систем. Основные понятия, требования и функциональные возможности. Технические и эксплуатационные характеристики для оценки

функциональности SCADA-систем. Основные отечественные и зарубежные SCADA-системы.

32. SCADA-система Trace Mode. Назначение, основные функции, этапы разработки проекта АСУ ТП.
33. PI-система: понятие, основные функциональные возможности.
34. Основные свойства и преимущества использования искусственных нейронных сетей (ИНС) в системах управления. Функциональные структуры нейросетевых систем управления.
35. Общая процедура проектирования систем автоматического управления с использованием ИНС. Примеры использования ИНС в системах управления химико-технологическими процессами.
36. Система управления с экспертными оценками: решаемые задачи, функциональная структура, этапы алгоритма управления.
37. Нечёткие алгоритмы. Принятие решений на основе нечётких алгоритмов.
38. Блок-схема нечёткого регулятора. Этапы формирования управляющих воздействий. Примеры и назначение систем управления с традиционными и нечёткими регуляторами.
39. Структура и функциональные возможности информационных систем управления качеством продукции.
40. Структура и функциональные возможности автоматизированных систем контроля и управления качеством атмосферного воздуха.
41. Структура интегрированных систем управления безопасностью химических производств.
42. Методология и модели структурного анализа сложных систем.
43. Бизнес-процессы: основные понятия и определения.
44. Основные этапы стратегии и постановка задач гибкого управления многоассортиментными химическими производствами.
45. Классификация задач кибернетической организации многоассортиментных химических производствах.
46. Иерархия задач планирования и управления химическими предприятиями.
47. Основные этапы и шаги формулирования задач технико-экономического планирования.
48. Общая математическая формулировка задач технико-экономического планирования. Привести примеры.
49. Графический метод решения задач технико-экономического планирования. Привести примеры.
50. Постановка и решение задач оптимального календарного планирования. Привести примеры.
51. Постановка и решение задач оперативно-календарного планирования. Привести примеры.
52. Постановка и решение задач оперативного управления. Привести примеры.
53. Постановка задачи и определение оптимальной стратегии переналадки технологического оборудования. Привести примеры.
54. Составление расписаний работы многопродуктового



технологического аппарата.

55. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами с учетом различия моментов поступления исходных материалов в производство и затрат на переналадку аппарата с выпуска одного продукта на другой продукт.

56. Постановка и решение задач составления расписаний работы серийных многопродуктовых периодических химических производств с последовательными аппаратами.

57. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с идентичными параллельными аппаратами.

58. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с неидентичными параллельными аппаратами и учетом затрат на переналадку с выпуска одного продукта на другой продукт и серийность выпуска продукции.

59. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств с различными маршрутами выпуска продукции.

60. Постановка и методы решения задач комбинаторной оптимизации с перестановочными расписаниями.

61. Численные методы решения задач теории расписаний: классификация и общая постановка.

62. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств методом ветвей и границ. Привести примеры.

63. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств методом локального поиска. Привести примеры.

64. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств статистическим методом локального поиска. Привести примеры.

65. Постановка и решение задач составления расписаний работы многопродуктовых периодических химических производств статистическим методом глобального поиска. Привести примеры.

### **Рекомендуемая основная литература**

1. Интегрированные автоматизированные системы управления химическими производствами и предприятиями : учебное пособие для вузов / А. Ф. Егоров. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 248 с.

2. Интегрированные системы управления химическими производствами: учебное пособие / А. Ф. Егоров. — М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2020. — 200 с.

3. Введение в информационные системы предприятий химической промышленности: учеб. пособие/ Т.Н. Гартман, Е.Н. Павличева, А.В.

Матасов, А.С. Павлов, В.В. Васильев. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 104 с.

4. Дубровский, И. И. Проектирование автоматизированных систем управления химико-технологическими процессами и системами [Текст] : учебное пособие / И. И. Дубровский, В. Л. Лукьянов. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – 211 с.

5. Современные информационные системы хранения, обработки и анализа данных для предприятий химической и смежных отраслей: учеб. пособие/ Н.В. Меньшутина, А.В. Матасов – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 308 с.

6. Дударов, С. П. Теоретические основы и практическое применение искусственных нейронных сетей [Текст] : учебное пособие / С. П. Дударов, П. Л. Папаев. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева , 2014. – 103 с.

### Дополнительная литература

1. Проектирование систем управления. Автоматизированный лабораторный комплекс [Текст] : учебное пособие / А. Ф. Егоров [и др.] ; ред. А. Ф. Егоров. – М. : РХТУ. Издат. центр, 2008. – 115 с.

2. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами. – М. : Академкнига, 2007. – 696 с.

3. Михайлова П. Г., Егоров А. Ф. Проектирование систем управления с использованием интегрированной среды разработки приложений TRACE MODE [Текст] : лабораторный практикум : учеб. пособие. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009. – 70 с.

4. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии.- М.:Химия,1985. – 448 с.

5. Кафаров В.В., Мешалкин В.П., Перов В.Л. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств, М.: Химия, 1979. – 320 с.

6. Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУТП: учеб. пособие – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 328 с.

7. Реинжиниринг бизнес-процессов [Текст] : учебник / Н. М. Абдикеев [и др.] ; ред. Н. М. Абдикеев, Т. П. Данько ; РЭА им. Г.В. Плеханова, Высш. Шк. МВА . – 2-е изд., испр. – М. : ЭКСМО, 2007. – 592 с.

8. Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой [Текст] / А. Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С. Я. Коровин. – М. : Наука, 1990. – 272 с.

9. Негойцэ К. В. Применение теории систем к проблемам управления [Текст] : пер. с англ. / К. В. Негойцэ. – М. : Мир, 1981. – 180 с.

10. Элти Дж. Экспертные системы: концепции и примеры [Текст] : пер. с англ. / Дж. Элти, М. Кумбс. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 191 с.

11. Мешалкин, В. П. Экспертные системы в химической технологии. Основы теории, опыт разработки и применения [Текст] / В. П. Мешалкин. – М. : Химия, 1995. – 368 с.

12. Кравцов, А. В. Интеллектуальные системы в химической технологии и инженерном образовании. Нефтехимические процессы на Pt-катализаторах [Текст] / А. В. Кравцов, Э. Д. Иванчина. – Новосибирск : Наука. Сиб. изд. фирма, 1996. – 200 с.

13. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использование информации о состоянии природной среды [Текст] / В.А. Геловани, А.А. Башлыков, В.Б. Бритков, Е.Д. Вязилов ; Ин-т системного анализа РАН. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 304 с.

14. Методологические основы построения экспертных систем в химической технологии [Текст] : учебное пособие / И.В. Хлебалкин, И.Н. Дорохов, Л.С. Гордеев, С.В. Николаев. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 48 с.

15. Черноруцкий, И. Г. Методы принятия решений [Текст] : учебное пособие / И. Г. Черноруцкий. – СПб. : "БХВ-Петербург", 2005. – 408 с.

16. Гаврилова, Т. А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем [Текст] / Т. А. Гаврилова, К. Р. Червинская. – М. : Радио и связь, 1992. – 200 с.