

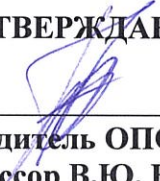
**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

  
Руководитель ОПОП ВО  
Профессор В.Ю. Бажин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И  
ПРОИЗВОДСТВАМИ В МЕТАЛЛУРГИИ**

**Уровень высшего образования** – подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура)

**Направление подготовки:** 09.06.01 Информатика и вычислительная техника

**Направленность (профиль):** Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия)

**Квалификация выпускника:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** очная

**Нормативный срок обучения:** 4 года

**Составители:** профессор Шариков Ю.В., профессор Бажин В.Ю.

Санкт-Петербург

## **ВВЕДЕНИЕ**

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в металлургии» и предназначены для самостоятельного изучения обучающимися.

Цели дисциплины – формирование углубленных профессиональных знаний о важнейших этапах и ведущих тенденциях развития науки об управлении сложными техническими объектами в металлургии от основания промышленности до наших дней.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- сформировать представление об управляемых динамических системах, закономерностях их функционирования как основе создания систем управления сложными производственными комплексами;
- сформировать представление о ведущих тенденциях в развитии теории управления и создании новых технических средств контроля и управления сложными многоуровневыми и многосвязными объектами с использованием вычислительной техники и программных средств нового поколения;
- сформировать представление об основных научных проблемах и дискуссионных вопросах в развитии теории управления сложными динамическими системами с учетом особенностей участия человека в контуре управления;
- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при осуществлении конкретных работ по созданию систем управления технологическими объектами в металлургии.

# **СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в металлургии»**

## **1. Металлургическое производство как объект управления**

Основные свойства цветных металлов и входные характеристики сырья. Общая постановка задачи управления металлургическим производством. Первый этап декомпозиции задачи. 1.2. Вариационный смысл задач АСУ ТП. Частотная декомпозиция задачи управления технологическими процессами металлургического производства. Метод возмущений. Частотная декомпозиция на основе иерархического управления режимом технологических процессов.

### ***Рекомендуемая литература:***

основная: [5-6];

дополнительная: [3, 22].

## **2. Математическое обеспечение систем управления металлургическим объектом**

Выбор класса математической модели для описания металлургического объекта, режим которого стабилизируется комбинированным регулятором. Применение метода спектральных расчетов системы стабилизации, использующей косвенное измерение и оценивание с помощью фильтра Калмана-Бьюси. Имитационное моделирование системы стабилизации.

Алгоритмы синтеза многомерной системы управления с дискретным запаздывающим контролем методом спектральных плотностей. Структурное преобразование комбинированной системы управления. Спектральная плотность недокомпенсации колебаний показателя состава шихты. Практическая реализация комбинированной стабилизирующей системы.

### ***Рекомендуемая литература:***

основная: [1, 5];

дополнительная: [1, 4-5, 8-12, 16, 19-20].

## **3. Общие принципы и этапы построения математических моделей систем**

Структурный анализ и структурный синтез сложных технологических систем.

Модель идеального перемешивания. Модель идеального вытеснения. Ячеечная модель аппарата. Диффузионная модель. Гидродинамические модели многофазных потоков.

Кинетические модели для описания химических превращений. Основные закономерности химической кинетики. Методы определения параметров кинетических моделей. Кинетика гетерогенных процессов.

Методы определения лимитирующей стадии гетерогенного процесса. Определение кинетических констант сложных реакций методами нелинейного программирования

Синтез моделей технологических объектов на базе их гидродинамических моделей и уравнений химической кинетики.

Методы численной реализации математических моделей. Моделирование процесса нейтрализации сточных вод в каскаде реакторов идеального смешения. Разработка модели процесса нейтрализации сточных вод в каскаде реакторов идеального смешения. Моделирование процесса нейтрализации сточных вод в каскаде реакторов идеального смешения.

***Рекомендуемая литература:***

основная: [5];

дополнительная: [23-25].

#### **4. Настройка регуляторов**

Определение динамических характеристик объекта управления по кривой разгона. Типовая структурная схема регулятора. Классификация регуляторов. Выбор типа регулятора. Основные показатели качества регулирования. Типовые процессы регулирования. Коэффициенты передачи элементов и блоков САР. Формульный метод определения настроек регулятора. Экспериментальные методы настройки регулятора.

Цифровые регуляторы и их настройка. Упрощенная методика расчета настроек цифрового ПИД-регулятора. Расчет настроек цифрового регулятора по формулам.

Оптимальные регуляторы для объектов с запаздыванием. Предсказывающие системы управления. Алгоритм управления по прогнозирующей модели

***Рекомендуемая литература:***

основная: [1-3];

дополнительная: [5-6, 8, 21].

#### **5. Математическое обеспечение низкочастотных подсистем управления металлургическим объектом управления**

Формализация цели управления, основные виды критериальных функций оптимизации. Математические методы решения оптимальных задач. Экстремумы функций одной переменной. Экстремумы функций многих переменных. Примеры решения задач оптимизации теплообменников с использованием методов классического анализа функций. Определение минимального реакционного объема в каскаде реакторов идеального

перемешивания. Классические вариационные задачи и методы их решения. Динамическое программирование. Принцип максимума Понтрягина.

Методы поиска экстремума функций. Методы поиска экстремума функции одной переменной. Методы поиска экстремума функции многих переменных. Оптимальное управление большими сложными системами. Основные характерные черты больших и сложных систем. Декомпозиция систем и иерархическая структура системы управления. Особенности системы «человек–машина. Режимы работы системы «человек–машина». Разработка алгоритмов управления большими системами с использованием различных методов.

Нечеткие системы управления на базе теории нечетких множеств. Подходы, применяемые в фаззи-технологии для синтеза систем управления. Элементы теории нечетких множеств. Основные понятия нечеткой логики. Применение теории нечетких множеств и фаззи-логики в задачах управления.

***Рекомендуемая литература:***

основная: [2, 6,];

дополнительная: [8-11, 13-16, 18-19, 21].

**6. Автоматизация технологических процессов на базе локальных средств**

Локальные системы автоматического регулирования. Датчики. Измерительные преобразователи.

Исполнительные механизмы и регулирующие органы. Управляемые исполнительные электродвигатели постоянного тока. Электродвигатели переменного тока. Синхронные шаговые электродвигатели. Электромагниты. Гидравлические серводвигатели. Пневматические серводвигатели.

Управляющие устройства. Микроконтроллеры. Промышленные контроллеры. Стандарты МЭК на системы программирования промышленных контроллеров. Программирование, отладка и управление ПИД-регулятором. Регулятор PI\_V. Регулятор PIDFF. Адаптация и автоматическая настройка ПИД-регулятора. Интеллектуальные реле. . Компактные регуляторы фирмы JUMO.

Технические средства отображения информации Графические сенсорные терминалы Magelis и их программирование с помощью ПО ViJeo Designer.

Промышленные сети. Сетевые устройства: повторители, концентраторы, трансиверы коммутаторы, мосты, маршрутизаторы. Шлюзы. Основные типы сетей, представленные на рынке.

***Рекомендуемая литература:***

основная: [4, 6-7];

дополнительная: [2-4, 7].

## **7. Регулирование основных технологических параметров и простых типовых процессов в цветной металлургии**

Регулирование основных технологических параметров. Регулирование уровня. Регулирование давления. Регулирование температуры. Регулирование рН. Регулирование параметров состава и качества.

Автоматизация гидромеханических процессов. Автоматизация тепловых процессов. Регулирование теплообменников смешения. Регулирование поверхностных теплообменников. Автоматизация трубчатых печей. Автоматизация массообменных процессов. Автоматизация процесса выпаривания. Автоматизация процесса сушки. Процесс сушки в барабанной сушилке. Автоматизация сушилок с кипящим слоем.

Разработка функциональной схемы автоматизации объекта. Регулирование расхода, соотношения расходов. Автоматизация поточно-транспортных линий. Автоматизация шихтоподготовки. Автоматизация измельчения твердых материалов. Стабилизация расходов жидкостей и газов. Смешение жидкостей и расплавов.

### ***Рекомендуемая литература:***

основная: [4];

дополнительная: [2-4, 18].

## **8. Управление процессами и аппаратами цветной металлургии**

Процессы и агрегаты цветной металлургии как объекты автоматизации. Схемы автоматического регулирования процессов и агрегатов цветной металлургии.

Процесс фильтрования. Математическое описание процесса фильтрования. Фильтрование с постоянным перепадом давления. Математическое описание диафрагменного прессования осадка. Идентификация параметров модели. Описание пилотного фильтр-пресса. Проведение экспериментов. Синтез системы управления на основе использования ИИС. Цели и задачи управления процессом фильтрования. Построение АСУ на основе использования иммунного алгоритма. Теоретические сведения о естественной иммунной системе. Синтез системы управления. Настройки иммунного регулятора. Результаты работы системы управления.

Управление процессом сгущения. Система управления сгустителем. Цели и задачи управления процессом сгущения. Синтез регулятора с прогнозирующей моделью в Matlab. Интеграция регулятора в систему управления

Управление электролизными ваннами для производства алюминия. Влияние эффективности процесса питания глиноземом на технико-экономические показатели мощных электролизеров. Основные принципы поддержания заданной концентрации оксида алюминия в электролите.

Описание алгоритмов питания АП. Моделирование подсистемы питания электролизера в пакете Matlab. Роботизированная система автоматического питания глиноземом и дискретного управления процессом электролиза. Синтез системы управления на основе нечеткой логики.

**Рекомендуемая литература:**

основная: [4];

дополнительная: [2-4, 18].

## ЛИТЕРАТУРА КО ВСЕМ ТЕМАМ

**Основная:**

1. Ким, Д.П. Теория автоматического управления: учебное пособие / Д.П. Ким. - Москва: Физматлит, 2007. - Т. 1. Линейные системы.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=69278](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=69278)
2. Ким, Д.П. Теория автоматического управления: учебное пособие / Д.П. Ким. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Физматлит, 2007. - Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы.  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=69280](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=69280)
3. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления : учебное пособие / Б.И. Коновалов, Ю.М. Лебедев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). Кафедра промышленной электроники (ПРЭ). - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=208587](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=208587)
4. Распределенные компьютерные информационно–управляющие системы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / П. А. Петров. – СПб. : Горн. ун–т, 2015. – 56 с.  
Электронная ссылка:  
[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%2D772078<](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D772078<)
5. Моделирование процессов и объектов в металлургии: Учебник / И.О. Леушин. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2013  
Электронная ссылка: <http://znanium.com/bookread2.php?book=401597>
6. Горенский, Б. М. Информационные технологии в цветной металлургии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б. М. Горенский, О. В. Кирякова, С. В. Ченцов. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012  
Электронная ссылка: <http://znanium.com/bookread2.php?book=442092>
7. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учеб. пос. / В.П. Ившин, М.Ю. Перухин - М.: НИЦ Инфра-М, 2013  
Электронная ссылка: <http://znanium.com/bookread2.php?book=363591>

### Дополнительная:

1. Цветкова, О.Л. Теория автоматического управления: учебник / О.Л. Цветкова. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=443415](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=443415)  
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277906> (03.10.2018).
2. Медведев, А.Е. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Медведев, А.В. Чупин. — Электрон. дан. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2009.  
<https://e.lanbook.com/book/6606>
3. Автоматизация пирометаллургических процессов и производств на основе интеллектуальных систем [Электронный ресурс/ Электронный ресурс] : монография / Э. Д. Кадыров. – СПб. : СПГГИ, 2011. – 105 с.  
Электронная ссылка:  
[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%D0%90%2088022%2F%D0%9A%2013%2D308626<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%D0%90%2088022%2F%D0%9A%2013%2D308626<.>)
4. Харазов В. Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами, Издательство: Профессия, 2009 г., - 592 с.
5. Афонина Н.А. Теория автоматического управления (Линейные системы) Методические указания по выполнению контрольно-курсовой работы. - Тула: ТулГУ, 2007. - 51с
6. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов Теория систем автоматического управления. 2003, 163 с.
7. Елизаров И.А. Технические средства автоматизации. Учебное пособие, И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, С.В. Фролов, 2004. 285 с.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 3 т. / Под ред. Н.Д. Егупова. М.: МГТУ; Машиностроение, 2000.
9. Теория автоматического управления. Ч. 1, 2 / Под ред. А.А. Воронова. М.: Высш. школа, 1986.
10. Методы анализа, синтеза и оптимизации нестационарных систем автоматического управления / Под общ. ред. К.А. Пупкова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
11. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи. Управление при неопределённости. М.: Наука; Физматлит, 1997.
12. Советов Б.Я., Яковлев Г.А. Моделирование систем. М.: Высш. школа, 1998.
13. Моделирование и оптимизация управляемых динамических систем. Сб.тр./Ин-т пробл. управления; (Отв. ред. В.Ф. Кротов, А.Г. Бутковский). М.: ИПУ, 1989.
14. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высш. школа, 1989.



15. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, С.С. Ковалевский, С.А. Косяченко. М.: Физматлит, 2002.
16. Основы теории оптимального управления / Под ред. В.Ф. Кротова. М.: Высш. школа, 1990.
17. Салихов З.Г. Терминология основных понятий автоматики: Учебно-справочное пособие. М.: МИСиС, 2002.
18. Управление и оптимизация производственно-технологическими процессами / Н.М. Вихров, Д.В. Гаскаров, А.А. Грищенко, А.А. Шнуренко; Под ред. Д.В. Гаскарова. СПб.: Энергоатомиздат. С.-Петербургское отд., 1995.
19. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования / А.Н. Борисов и др. Рига: Знание, 1990.
20. Мамиконов А.Г. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высш. школа, 1994.
21. Деменков Н.П. Программные средства оптимизации и настройки систем управления. М.:Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. -242с.
22. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Челябинск: Metallurgia, Челябинское отделение, 1988. 432 с.
23. Вольдман Г.М. Теория гидрометаллургических процессов. / Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. М.: Интермет Инжиниринг. 2003. 464 с.
24. Вассерман И.М. Химическое осаждение из растворов. М.: Химия, 1980. 205 с.
25. Вольдман Г.М. Основы экстракционных и ионообменных процессов гидрометаллургия. М.: Metallurgia, 1982. 376 с.

## **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ ЭКЗАМЕНА**

1. Информация и принципы управления. Задачи теории управления. Целевые функции оптимального управления.
2. Виды моделирование технологических объектов. Физическое и математическое моделирование. Передаточные функции типовых объектов и их использование для синтеза систем управления.
3. Иерархическая структура АСУТП крупным промышленным предприятием. Технические средства, программное обеспечение и обмен информацией между различными уровнями.
4. Классификация систем управления. Автоматические и автоматизированные системы управления (АСУ) технологическими процессами (ТП) и производствами. Основные подходы к анализу и синтезу автоматических и автоматизированных управляемых систем.
5. Системы управления базами данных. Особенности управления распределенными базами данных и системы управления распределенными базами данных. Стандарты на обмен данными между подсистемами АСУ.

6. Методы автоматизации результатов измерения концентрации суспензии металлосодержащей твердой фазы при использовании спектральных методов контроля содержания металлов в твердой фазе.

7. Методы синтеза обратной связи. Элементы теории стабилизации. Управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость. Дуальность управляемости и наблюдаемости. Стабилизация по состоянию, по выходу. Наблюдатели состояния. Дифференциаторы.

8. Необходимые условия оптимальности в нелинейных задачах математического программирования. Локальный и глобальный экстремум. Необходимые условия безусловного экстремума дифференцируемых функций. Необходимые условия экстремума дифференцируемой функции на выпуклом множестве. Задачи об условном экстремуме и метод множителей Лагранжа.

9. Кинетика процессов растворения компонентов из минерального сырья. Лимитирующие стадии процесса растворения и применяемые управляющие воздействия при различных лимитирующих стадиях.

10. Понятие об устойчивости систем управления. Устойчивость по Ляпунову, асимптотическая, экспоненциальная устойчивость. Устойчивость по первому приближению. Функции Ляпунова. Теоремы об устойчивости и неустойчивости.

11. Классификация методов безусловной оптимизации. Скорости сходимости. Методы первого порядка. Градиентные методы. Методы второго порядка. Метод Ньютона и его модификации. Квазиньютоновские методы.

12. Методы управления процессами в электродуговой печи. Основные возмущения и применяемые компенсирующие воздействия.

13. Основные понятия теории управления: цели и принципы управления, динамические системы. Математическое описание объектов управления: пространство состояний, передаточные функции, структурные схемы. Математические модели реактора идеального перемешивания и идеального вытеснения и их передаточные функции.

14. Постановка и решения задачи синтеза оптимального управления. Формулировка критерия оптимальности функционирования объекта управления. Различные методы оптимизации. Динамическое программирование, вариационное исчисление. Принцип Максимума Понтрягина.

15. Электролизер как объект управления. Переменные состояния и переменные управления для этого объекта. Постановка задачи поиска оптимального управления этим объектом и алгоритм решения.

16. Кибернетическая система. Наблюдаемость и управляемость объектов. Системный подход к анализу и синтезу сложных управляемых динамических систем.

17. Система MATLAB как средство моделирования объектов и их систем управления. Исследование систем управления на базе нечеткой логики в системе MATLAB.

18. Моделирование объектов управления. Виды моделирования. Физическое и математическое моделирование. Блочный метод построения математических моделей с использованием типовых гидродинамических моделей.

19. Общие понятия автоматического управления технологическими объектами. Регулирование по отклонению и возмущению. Фаззи-регулирование.

20. Регулирование основных технологических параметров. Регулирование состава и качества многокомпонентных растворов.

21. Движущая сила процессов разделения суспензий. Агрегаты для разделения суспензий.

22. Математическая модель идеального смешения. Передаточная функция модели. Реакция объекта на импульсное и ступенчатое возмущения.

23. Адаптивные системы с идентификацией параметров объекта управления. Самонастраивающиеся системы. Оптимизация в динамических режимах.

24. Методы контроля свойств оборотной воды. Исполнительные механизмы для подачи оборотной воды.

25. Управление объектами с распределенными параметрами. Учет чистого запаздывания при управлении объектами с запаздыванием.

26. Критерии оптимизации и математические методы оптимального управления для объектов с сосредоточенными параметрами.

27. Роль флотореагентов при разделении суспензий. Управление подачей реагентов для поддержания заданной плотностью суспензии.