

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.14.14 Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины по выбору

«Моделирование химико-технологических процессов»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе

6 часов – контактная работа,  
48 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.14.14 Тепловые электрические станции, их энергетические системы и аппараты, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** дисциплины является изучение теоретических основ математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов и их практического использования на ТЭС и АЭС.

**Задачами** дисциплины являются:

– освоение принципов построения аналитических моделей на основе современных математических методов применительно к энергетическим объектам в теплоэнергетике;

– приобретение навыков обосновывать конкретные технические решения при моделировании различных схем и элементов схем обработки воды и систем контроля за химико-технологическими процессами.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

– способность исследовать, разрабатывать и совершенствовать основное и вспомогательное оборудование ТЭС (ПК-1).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты образования:

### **знать:**

– современные научные достижения при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (ПК-1);

– основы методологий теоретических и экспериментальных исследований в области математического моделирования химико-технологических процессов (ПК-1);

– культуру научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ПК-1).

### **уметь:**

– проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения (ПК-1);

– рационально выбирать вспомогательное оборудование ТЭС (ПК-1);

– планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (ПК-1);

– разрабатывать новые методы исследования и их применение в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области моделирования и оптимизации химико-технологических процессов (ПК-1);

– проводить инженерные эксперименты с применением современных методов и международного опыта (ПК-1).

### **владеть:**

– навыками преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ПК-1);

– навыками эксплуатации оборудования ТЭС (ПК-1);

– навыками расчетного моделирования химико-технологических процессов (ПК-1);

– навыками самостоятельного выполнения экспериментальных или теоретических исследований для решения научных и производственных задач с использованием современных прикладных программ и технических средств (ПК-1).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

*1. Классификация аналитических и экспериментальных моделей химико-технологических процессов.*

Определения и основные понятия о математическом моделировании применительно к ТЭС и АЭС. Математическая и физическая модель, условия адекватности их реальному объекту. Математическая модель и эксперимент.

Классификация моделей. Способы представления математических моделей. Этапы создания математических моделей.

Расчет степени протекания физико-химических реакций в реальном объекте с помощью кинетических уравнений и методами математического моделирования. Сопоставление результатов расчета.

Влияние объемно-расходных характеристик теплоэнергетической установки на время пребывания примесей в водном объеме и степень термического разложения веществ. Влияние температурного фактора на названные выше характеристики.

*2. Основы моделирования физико-химических процессов.*

Вывод уравнения закона сохранения вещества применительно к однофазному потоку. Вывод уравнения закона сохранения энергии применительно к одномерному однофазному потоку. Вывод уравнения закона сохранения движения применительно к однофазному потоку. Вывод уравнений теплопроводности для цилиндрической и плоской стенки.

*3. Случайные процессы и оценка характеристик случайных процессов.*

Характеристики случайных процессов. Определение характеристик случайного процесса из эксперимента. Стационарные случайные процессы. Преобразование случайных процессов линейными динамическими системами. Статистические характеристики суммы случайных процессов. Оценка корреляционной функции. Оценка спектральной плотности стационарного процесса. Косвенные методы оценки корреляционной

функции. Обработка результатов методом наименьших квадратов. Сравнение выборочного с теоретическим распределения.

#### *4. Планирование эксперимента.*

Основные понятия и требования при планировании эксперимента. Метод регрессионного анализа. Физический смысл уравнения регрессии. Пассивный и активный эксперимент. Полный факторный эксперимент. Дробный факторный эксперимент. Композиционные ряды второго рода. Проведение и статистическая обработка результатов эксперимента.

#### *5. Получение моделей различной степени приближения.*

Пространственные математические модели в условиях идеального смешения примесей. Достоинства и недостатки математического моделирования при условии идеального смешения примесей. Модели статического приближения. Приближенные аналитические методы решения. Модели линейного приближения. Модели точечного приближения. Модели многоточечного приближения. "Уточненные" пространственные математические модели. Невозможность установления стационарного состояния основных показателей ВХР в реальном теплоэнергетическом объекте. Условия возникновения псевдостационарного состояния.

#### *6. Анализ эффектов в пристенном слое поверхности теплообмена.*

Перенос веществ в объеме котла ("макропереток"). Факторы, влияющие на расход переносимых веществ. Условия "опрокидывания" направления переноса. Влияние расхода продувки и температуры на примесеобмен данного типа. Эффекты в пристенном слое поверхности теплообмена, "микрперенос" веществ по диффузионному механизму. Специфика описания гетерогенных процессов методами математического моделирования. Эффективные константы скоростей процессов и их связь с физико-химическими константами. Влияние "микрперетока" веществ на "макропереток". Некоторые результаты расчетов.

#### *7. Точечные математические модели распределения примесей в пароводяном цикле.*

Математическое моделирование примесеобмена в парогенерирующих установках (точечные математические модели). Пример нестационарного уравнения баланса примесей, как вариант точечно-математической модели.

Расчет времени пребывания примесей в объеме парогенерирующих установок и времени протекания переходного процесса с помощью математического моделирования. Решение некоторых задач водно-химического режима с помощью точечных математических моделей.

Определение времени начала присоса охлаждающей воды конденсаторов турбин и расхода присосов охлаждающей воды. Прогноз поведения примесей в период протекания переходного процесса. Влияние объемно-расходных характеристик теплоэнергетической установки на скорость образования отложений. Особенности котельных установок со ступенчатым испарением с точки зрения методов математического моделирования.

#### *8. Математические модели водных растворов электролитов.*

Математическое моделирование водных растворов электролитов. Учет в математической модели эффекта образования ионных пар. Математическая модель электрической проводимости растворов электролитов. Математическое моделирование изменения показателей качества различных типов вод. Математическое моделирование ионных равновесий в конденсатах и питательных водах. Математическое моделирование ионных равновесий в котловых водах.

### **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – дифференцированный зачет.

#### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

1. Классификация аналитических моделей химико-технологических процессов.
2. Этапы создания математических моделей химико-технологических процессов.
3. Цели и задачи создания математических моделей химико-технологических процессов.
4. Основа математических моделей тепло-химических процессов.
5. Перенос веществ в объеме котла ("макропереток").
6. Условия "опрокидывания" направления переноса.

7. Эффекты в пристенном слое поверхности теплообмена, "микрперенос" веществ по диффузионному механизму.
8. Эффективные константы скоростей процессов и их связь с физико-химическими константами.
9. Влияние "микрперетока" веществ на "макрпереток". Некоторые результаты расчетов.
10. Математическое моделирование примесеобмена в парогенерирующих установках (точечные математические модели).
11. Пример нестационарного уравнения баланса примесей, как вариант точечно-математической модели.
12. Расчет времени пребывания примесей в объеме парогенерирующих установок и времени протекания переходного процесса с помощью математического моделирования.
13. Решение некоторых задач водно-химического режима с помощью точечных математических моделей.
14. Прогноз поведения примесей в период протекания переходного процесса.
15. Влияние объемно-расходных характеристик теплоэнергетической установки на скорость образования отложений.
16. Модели многоточечного приближения.
17. Особенности котельных установок со ступенчатым испарением с точки зрения методов математического моделирования.
18. Математическая модель теплопередающей плоской стенки.
19. Точечная математическая модель парогенерирующей установки.
20. Динамические свойства динамической математической модели с распределенными параметрами.
21. Математическая статическая модель с учетом образования примесей на поверхностях нагрева котлов.
22. Оценка степени термоллиза веществ с использованием математической модели.
23. Оптимизация парогенерирующих установок с двумя ступенью испарения.

24. Оптимизация парогенерирующих установок с тремя ступенями испарения.
25. Теоретические основы поведения теплоносителя при повышенных параметрах состояния.
26. Изменение электрофизических свойств воды и водных растворов.
27. Особенности расчета температурной зависимости ионного произведения и электропроводности в предельно разбавленных растворах.
28. Математическая модель ионных равновесий в конденсате и питательной воде при аммиачном водном режиме.
29. Математическая модель системы химического контроля в продувочной воде СВО-5 ВВЭР.
30. Особенности оценки ионных равновесий в конденсатах при нейтральных водных режимах.
31. Математическая модель ионных равновесий в котловой воде при фосфатных режимах в барабане котла.
32. Математическая модель ионных равновесий с учетом наличия органических соединений применительно к энергоблокам с прямоточными котлами.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Ларин Б.М. Основы математического моделирования химико-технологических процессов обработки теплоносителя на ТЭС и АЭС: – Иваново, 2014 . – 332 с.
2. Воронов В.Н. Химико-технологические режимы АЭС с ВВЭР — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 389 с.
3. Манькина Н.Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций –Энергоатомиздат – 2008 – 431 с.
4. Воронов В.Н. Математическое моделирование водно-химических режимов – М.: Изд-во МЭИ, 2010 – 58 с.
5. Егошина О.В. Инженерные расчеты в системах химико-технологического мониторинга — М.: Издательский дом МЭИ, 2013– 48 с.
6. Егошина О.В. Системы химико-технологического мониторинга — М.: Издательский дом МЭИ, 2013. — 48 с.
7. Пикина Г.А. Математические модели технологических объектов М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 299 с.

### Дополнительная литература:

8. Воронов В.Н., Егошина О.В. Математическая модель распределения примесей по тракту энергоблока для систем химико-технологического мониторинга. «Новое в российской электроэнергетике», 2008, № 10.
9. Ларин Б.М. Измерения электропроводности и рН в системах мониторинга водного режима ТЭС: – Иваново, 2014 . – 332 с.
10. Егошина О.В. Экспериментальное исследование динамических свойств анализаторов химического контроля. «Теплоэнергетика» М.: МЭИ №5, 2015, с. 63-66
11. Егошина О.В. Основные принципы построения современных систем химико-технологического мониторинга водно-химическим режимом ТЭС. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем» - Энерго-2010. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
12. В.Ф.Очков и др. Энциклопедия физико-химических технологий ТЭС и АЭС. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25.08.2000 г.

Свидетельство № 2000610802. Роспатент.

13. Электронный конспект лекций по курсу "Математическое моделирование водно-химических процессов в энергетике" – М.: МЭИ, 2012.