

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»**

Кафедра энергетики  
(наименование кафедры)

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Оптимизация в электроэнергетических системах**  
(наименование дисциплины)

по специальности: 140205.65 – Электроэнергетические системы и сети  
направления подготовки дипломированного специалиста 650900 «Электроэнергетика»

Благовещенск 2012

УМКД разработан доцент, канд. тех. наук Соловьев В.В.  
(степень, звание, фамилия, имя, отчество разработчиков)

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры

Протокол заседания кафедры от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. № \_\_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / Ю.В. Мясоедов /  
(подпись) (И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДЕН

Протокол заседания УМСС подготовки 650900– Электроэнергетика  
(указывается название специальности (направления подготовки))

от «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. № \_\_\_\_\_

Председатель УМСС \_\_\_\_\_ / Ю.В. Мясоедов /  
(подпись) (И.О.Фамилия)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа учебной дисциплины	стр. 3
2. Краткое изложение программного материала	9
3. Методические указания (рекомендации)	18
3.1 Методические указания к лабораторным занятиям	18
3.2 Методические указания по самостоятельной работе студентов	18
3.3 Комплекты заданий для выполнения РГР	19
4 Контроль знаний	21
4.1 Текущий контроль знаний	21
4.2 Итоговый контроль знаний	22
5. Интерактивные технологии и инновационные методы, используемые в образовательном процессе	23

## **1. Рабочая программа учебной дисциплины**

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью изучения дисциплины является подготовка инженеров в области современных методов и средств расчета и анализа оптимальных установившихся режимов сложных электроэнергетических систем, содержащих электрические станции различных типов, оптимизации структуры систем и их режимов внутри допустимой области.

Задачей изучения дисциплины является: освоение студентами современных математических методов оптимизации нелинейных систем и их применение к электроэнергетическим системам с учетом особенностей анализа режимов в таких системах.

### **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:**

Дисциплина «Оптимизация в электроэнергетических системах» входит в цикл специальных дисциплин СД.04.

Для освоения дисциплины необходимо знать: Изложение содержания дисциплины базируется на математической и общей электротехнической подготовке и знаниях, полученных при изучении специальных дисциплин «Электрические станции», «Математические задачи энергетики», «Применение ЭВМ в энергетике», «Электрические сети и системы». В лекционном курсе в целостной форме обобщаются полученные ранее знания по законам электротехники и математике и на базе этого формулируются различные алгоритмы поиска оптимального по какому-либо критерию электрического режима, алгоритмы оценки его статической устойчивости. На практических занятиях рассматриваются примеры расчета оптимизации режима по активной и реактивной мощности в сети, оценивается область применения методов в различных режимных ситуациях в энергосистеме, рассматривают расчеты оптимального режима различными методами. Исходная информация для решения оптимизации режимов; постановка распределения активной нагрузки между ТЭС, система допущений; метод Лагранжа, расчета; формула потерь в сетях, допущения; возможность раздельного решения задачи оптимизации режима по активной и реактивной мощности; характеристики устройств для регулирования режима в сети по уровням напряжения; оптимизация режима сети по уровням напряжения и реактивной мощности; математическая формулировка задачи, методы ее решения; оптимизация режима системы при наличии ГЭС, математическая формулировка задачи оптимального распределения нагрузок между станциями в такой системе; задачи диспетчерской службы; задачи оптимизации, перспективное проектирование электроэнергетических систем; оптимизация структуры и размещения электростанций, оптимизация конфигурации электрической сети

### **3. ЗНАНИЯ И УМЕНИЯ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения дисциплины в соответствии с квалификационной характеристикой выпускников, студенты должны

- 1) Знать: теоретические основы оптимизации режима в электрической сети; критерии оценки статической устойчивости энергосистем для задач оптимизации
- 2) Уметь: использовать методы решения оптимизационных задач для определения параметров режимов в энергосистеме; иметь навыки использования методов, алгоритмов и программных комплексов для оптимизации режима в условиях рыночных отношений и различных ситуациях в энергосистеме.
- 3) Владеть: методами оптимизации режимов работы электрических станций и электроэнергетических систем.

### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ОПТИМИЗАЦИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 100 часов.

№ п/п	Модуль дисциплины	Виды учебной работы			Формы текущего контроля
		Лекции (час.)	Практические занятия (час.)	СРС (час.)	
<b>Семестр 8</b>					
1	<b>Модуль 1 «Режимы работы электрических станций и их энергетические характеристики»</b> <b>Тема 1.</b> Постановка задачи оптимизации в ЭЭС. <b>Тема 2.</b> Основные методы решения задач оптимизации режимов в схеме с ТЭС – 6 часов.	8	5	10	Посещение лекций. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Тестирование. Контрольная работа по модулю 1
2	<b>Модуль 2 «Методы оптимизации режимов работы электрических станций»</b> <b>Тема 3.</b> Оптимизация режимов в схеме только с ТЭС <b>Тема 4.</b> Оптимизация режима в энергосистеме смешанного типа <b>Тема 5.</b> Оптимизация режима с учетом активных потерь в сети <b>Тема 6.</b> Комплексная оптимизация режима	20	5	12	Посещение лекций. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Тестирование. Контрольная работа по модулям 1 и 2.
3	<b>Модуль 3. «Оптимизация режимов с целью управления энергосистемами»</b> <b>Тема 7.</b> Применение при оптимизации режимов методов ньютоновского типа <b>Тема 8.</b> Задачи оптимизации режимов в энергосбережении <b>Тема 9.</b> Оптимизация режимов в краткосрочных циклах управления	17	5	18	Посещение лекций. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Тестирование. Контрольная работа по модулю 3.

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 ЛЕКЦИИ

## **Модуль 1 «Режимы работы электрических станций и их энергетические характеристики»**

### **Тема 1. . Введение**

Постановка задачи оптимизации в ЭЭС. Математическая модель оптимизационных задач в общем виде. Техничко-экономические задачи.

### **Тема 2. . Основные методы решения задач оптимизации режимов в схеме с ТЭС .**

Основные методы оптимизации режима: прямые, неопределенных множителей Лагранжа, градиентные. Критерии оптимальности. Ограничения, накладываемые на физические параметры и условия работы основного оборудования в ЭЭС. Характеристики станций различных типов. Расходные характеристики тепловых станций. Взаимосвязь между расходной характеристикой и характеристикой относительных приростов блоков ТЭС. Учет ограничений в форме равенства в виде уравнений балансов мощностей в узлах сети.

## **Модуль 2 «Методы оптимизации режимов работы электрических станций»**

### **Тема 3. Оптимизация режимов в схеме только с ТЭС**

Оптимизация режима в схеме, содержащей только ТЭС, без учета потерь в сети и с учетом потерь. Простейшая постановка задачи. Принимаемые допущения. Анализ получаемых критериев. Аналитический и графический методы оптимизации режима.

### **Тема 4. Оптимизация режима в энергосистеме смешанного типа**

Графический метод, метод неопределенных множителей Лагранжа для решения задачи оптимизации режима. Определения оптимальных режимов при каскадной работе ГЭС. Физический смысл и определение неопределенного множителя Лагранжа.

### **Тема 5. Оптимизация режима с учетом активных потерь в сети**

Аналитический и вариационный методы расчетов производных потерь. Уравнения установившегося режима и оценка допустимой области функционирования ЭЭС. Оптимизация режима по реактивной мощности. Алгоритм расчета оптимального режима с учетом потерь активной мощности в сети.

### **Тема 6. Комплексная оптимизация режима**

Основные допущения, методы расчета. Оптимизация по реактивной мощности. Методы ввода режима в допустимую область. Оптимизация качества электроэнергии. Оптимизация состава работающих на тепловой станции блоков.

## **Модуль 3. «Оптимизация режимов с целью управления энергосистемами»**

### **Тема 7. Применение при оптимизации режимов методов ньютоновского типа**

Практическое применение методов ньютоновского типа в задачах оптимизации. Ограничения, заданные в виде неравенств, их учет. Применение метода штрафных функций. Оптимизация режимов в условиях рыночных отношений.

### **Тема 8. Задачи оптимизации режимов в энергосбережении.**

Методы оптимизации режимов в системообразующих сетях и их использование при энергосбережении. Методы оптимизации в распределительных сетях и их применение при энергосбережении.

### **Тема 9. Оптимизация режимов в краткосрочных циклах управления.**

Методы оптимизации режимов в энергосистемах в оперативном и краткосрочном циклах управления. Учет ограничений в задачах оптимизации режимов. Критерии статической устойчивости их применение в задачах оптимизации режимов

## **5.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

### **Целью проведения практических занятий**

На практических занятиях рассматриваются примеры расчета оптимизации режима по активной и реактивной мощности в сети, оценивается область применения методов в различных режимных ситуациях в энергосистеме, рассматривают расчеты оптимального режима различными методами.

1. Получение аналитического описания ХОП и расходных характеристик ТЭС, оценка точности результатов решения.
2. Решение оптимизационной задачи методом неопределенных множителей Лагранжа
3. Решение оптимизационной задачи графическим методом
4. Поиск оптимальной загрузки станций с учетом потерь в сети.
5. Поиск оптимального распределения активных мощностей в схеме с ТЭС и ГЭС
6. Расчет потерь в сети и их производных.
7. Оценка уровня статической устойчивости для задачи оптимизации режима.

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 8</i>			
1	<b>Модуль 1 «Режимы работы электрических станций и их энергетические характеристики»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к контрольной по модулю.	10
2	<b>Модуль 2 «Методы оптимизации режимов работы электрических станций»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Выполнение расчетно-графической работы Подготовка к контрольной работе по модулям 1 и 2.	12
3	<b>Модуль 3. «Оптимизация режимов с целью управления энергосистемами»</b>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Выполнение расчетно-графической работы Подготовка к контрольной работе по модулю 3.	18

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Электроэнергетика. Изоляция» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов к процессам и технологиям получения и обработки материалов необходимо использовать различные образовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Электроэнергетика. Изоляция» используется технология модульного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Где перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля.

При проведении практических занятий можно использовать либо «Мозговой штурм», либо «Метод Дельфи», которые будут направленные на вовлечение всех студентов в решении конкретных задач.

При выполнении работ используются следующий прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирующей реальное событие; обсуждение с преподавателем цели работы и хода выполнения ее выполнения; обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **8.1 Контрольная работа**

Контрольная работа выполняется в течении семестра в соответствии пройденными модулями в семестре. В контрольной работе содержатся контролирующие вопросы. Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

### **8.3 Расчетно-графическая работа**

Целью расчетной работы является самостоятельное освоение студентами методов расчетов оптимальных режимов электроэнергетических систем для различных случаев.

Для заданной схемы сети, узлов нагрузки и станций с заданными параметрами отдельных блоков и ограничением на их количество следует получить оптимальный режим работы

- 1) без учета потерь активной мощности в сети;
- 2) с учетом потерь активной мощности в сети;
- 3) с учетом оптимизации состава работающего оборудования;
- 4) по критерию минимума потерь в сети.

Сопоставить варианты и выбрать самый приемлемый.

### **8.4 Экзаменационные вопросы**

1. Общая постановка задачи оптимизации режимов ЭЭС.
2. Оптимизация режима в схеме, содержащей только ТЭС, без учета потерь активной мощности в сети.
3. Оптимизация режима в схеме, содержащей ТЭС и ГЭС, без учета потерь активной мощности в сети.
4. Оптимизация режима по активной мощности с учетом потерь в сети.
5. Графическая оптимизация режима в схеме, содержащей только ТЭС, без учета потерь активной мощности в сети.
6. Оптимизация режима по активной мощности с использованием расходных характеристик (2 станции).
7. Оптимизация качественных показателей электроэнергии.
8. Задание ограничения в виде штрафных функций.
9. Расчет неопределенного множителя Лагранжа при оптимизации режима в схеме с ГЭС.



10. Оптимизация режима по активным мощностям станций в условиях рыночных отношений.
11. Распределение нагрузки между агрегатами станций
12. Распределение реактивных нагрузок
13. Энергетические характеристики станций с одинаковыми агрегатами
14. Построение эквивалентных характеристик станции при заданном составе работающих агрегатов
15. Выбор состава агрегатов в тепловой энергосистеме
16. Комплексная оптимизация режимов электроэнергетической системы
17. Упрощенный алгоритм комплексной оптимизации режимов электроэнергетической системы
18. Внутростанционная оптимизация режима ГЭС
19. Задача оптимизации долгосрочных режимов ГЭС
20. Оптимизация распределения мощностей в замкнутом контуре
21. Оптимизация режима питающей сети по реактивной мощности
22. Методы оптимизации режима водохранилища одиночной ГЭС
23. Оптимальное планирование ремонтов энергетического оборудования
24. Эксплуатационные свойства электростанций
25. Роль ГЭС в повышении экономичности и надежности энергосистемы
26. Виды энергетических характеристик
27. Энергетические характеристики тепловых электростанций
28. Способы получения энергетических характеристик
29. Статистические характеристики станций

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА. ИЗОЛЯЦИЯ»

### а) основная литература:

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
2. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.
3. Н.Ш. Чемборисова, А.С. Степанов, В.М. Пейзель. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей (учебное пособие). Благовещенск: АмГУ. 2006.

### б) дополнительная литература:

1. Филиппова, Н.Г. Основы разработки экспертных систем поддержки принятия решений в электроэнергетике : Лаб. практикум по курсу "Оптимизация развития энергосистем": учеб. пособие/ Н. Г. Филиппова. -М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2003. -48 с.

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и

### г) периодические издания (профессиональные журналы)

1. «Электричество»
2. «Электрические станции»
3. «Энергетик
4. «Промышленная энергетика»
5. «Электротехника»
6. «Электрика»
7. «Энергохозяйство за рубежом»
8. «Energy Policy»

## 2. Краткое изложение программного материала

### Тема 1. Введение.

*Цель:* дать основные определения и понятия используемые при оптимизации режимов энергосистемы.

*Задачи:*

1. назначение оптимизации
2. виды оптимизационных задач

*Ключевые вопросы*

Под оптимизацией режима понимают поиск экстремума некоторой целевой функции при условии выполнения наложенных ограничений.

Наиболее часто решаются оптимизационные задачи трех видов:

- 1) оптимизация режима энергосистем по активной мощности тепловых электростанций (распределение  $P$  между электростанциями);
- 2) оптимизация режима электрической сети, т. е. уменьшение потерь активной мощности в сети при оптимизации режима по  $U$ ,  $Q$  и  $n$ ;
- 3) более общая задача комплексной оптимизации режима электроэнергетических систем.

Оптимизационные задачи чрезвычайно сложны, что затрудняет не только их решение, но и составление исходного математического описания. Факторами, определяющими сложность этих задач, являются:

1. *многокритериальность* – наличие нескольких критериев оптимальности (экономичность, уровень надежности, экологичность и т.д.);
2. *высокая размерность* – большое число переменных задачи и их сильная взаимосвязь;
3. наличие случайных факторов и неопределенность исходной информации;
4. различный характер изменения переменных – непрерывный и дискретный.

В практике решения оптимизационных задач широко используются упрощенные подходы, позволяющие обойти сложности и получать решения близкие к действительно оптимальным.

Во – первых многокритериальность задачи сводят к одному критерию, т.е. выбирают один из критериев в качестве основного, а на остальные накладывают ограничения.

Во – вторых, сложные оптимизационные задачи высокой размерности делят на ряд относительно самостоятельных подзадач меньшей размерности, которые решают отдельно и при необходимости полученные решения анализируют. Такое деление возможно по нескольким признакам: функциональному, временному и территориальному. В частности по функциональному признаку задачу оптимизации режима ЭЭС делят на две:

1. экономически целесообразное распределение активной мощности между электростанциями
2. оптимизация режима по напряжению и реактивной мощности.

В - третьих учет случайных факторов и неопределенности исходной информации может быть выполнен с помощью метода статического моделирования сводящего решение исходной задачи к многократному решению задач с однозначно заданными – детерминированными – исходными параметрами. Кроме этого часто дискретно меняющиеся переменные упрощенно заменяются непрерывными с последующей корректировкой полученного решения.

#### *Литература*

4. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
5. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### **Тема 2. Основные методы решения задач оптимизации режимов в схеме с ТЭС.**

*Цель:* рассмотреть основные методы решения задач при наличии в системе электроснабжения ТЭС.

*Задачи:*

1. особенности оптимизации если в системе содержится только тепловые станции
2. методы решения использующиеся при решении системы состоящей из ТЭС

*Ключевые вопросы*

Оптимизация режима энергосистем методом неопределенных множителей Лагранжа проводится следующим образом. Пусть в энергосистеме содержится  $n$  тепловых электростанций, у которых зависимость расхода топлива  $V_i$  от активной мощности  $P_i$  выражается в виде:  $V_i(P_i)$ , рассчитывается суммарный расход условного топлива по всей системе в целом  $V$ . Целью оптимизации является минимизация расхода топлива  $V$ . В любой энергосистеме должно соблюдаться условие баланса мощностей. Составляется некоторая функция Лагранжа, содержащая и функцию цели и условие соблюдения баланса мощностей. Теперь вместо поиска минимума целевой функции проводят поиск минимума функции Лагранжа, для чего определяют частные производные по всем независимым переменным  $P_i$  и  $\mu$  и приравнивают их к нулю. Решая полученную систему алгебраических уравнений относительно  $P_i$  и  $\mu$  одним из ранее рассмотренных способов, можно получить их значения, которые соответствуют оптимальному по расходу топлива в энергосистеме режиму.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ГРАДИЕНТНЫМ МЕТОДОМ**

Можно найти решение задачи градиентным методом. Для этого определим одну из станций как балансирующую.

Тогда  $P_1$  – зависимая переменная, а остальные  $P_i$  – независимые переменные. По ним определяются градиенты. Мощности станций, за исключением балансирующей, на  $(k+1)$  итерации определяется как

$$P_i^{(k+1)} = P_i^{(k)} - h^{(k)} \frac{\partial V^{(k)}}{\partial P_i},$$

Задаемся начальными приближениями  $P_i^{(0)}$  ( $i = 2 + n$ ). Затем по формуле для  $P_i^{(k+1)}$  определяется первый шаг.

Расчеты повторяются до выполнения условия сходимости. Получив  $V^{(1)}$ , сравним его с  $V^{(0)}$ . Если  $V^{(0)} > V^{(1)}$ , то шаг выбран верно. Эти задачи должны решаться, а в ряде случаев уже решаются при оперативном и автоматическом, т. е. в темпе процесса, управлении режимами электроэнергетических систем и сетей.

Основные методы оптимизации режима: прямые, неопределенных множителей Лагранжа, градиентные. Критерии оптимальности. Ограничения, накладываемые на

физические параметры и условия работы основного оборудования в ЭЭС. Характеристики станций различных типов. Расходные характеристики тепловых станций. Взаимосвязь между расходной характеристикой и характеристикой относительных приростов блоков ТЭС. Учет ограничений в форме равенства в виде уравнений балансов мощностей в узлах сети.

*Литература*

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
2. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

**Тема 3. Оптимизация режимов в схеме только с ТЭС**

*Цель:* рассмотреть основные методы решения оптимизации задач на станции ТЭС (оптимизация внутростанционных режимов и распределение нагрузка между агрегатами).

*Задачи:*

1. представление расхода топлива на ТЭС
2. распределении нагрузки между агрегатами станции, если они обладают одинаковыми расходными характеристиками
3. распределении нагрузки между агрегатами станции, если они обладают разными расходными характеристиками

*Ключевые вопросы*

Под генераторным энергоблоком здесь подразумевается совокупность агрегатов электростанции, связанных единым процессом производства электроэнергии, состоящая из котла, паровой турбины и электрического генератора с трансформатором. На вход такого блока поступает топливо, а с выхода снимается активная электрическая мощность, которая с помощью блочного трансформатора отдается в электрическую сеть энергосистемы. На каждой электростанции устанавливается несколько энергоблоков. Расходная характеристика блока, т.е. зависимость среднего за один час расхода топлива. В от активной мощности  $P_r$  отдаваемой генераторным блоком, аппроксимируется квадратичной параболой.  $B = a_0 + a_1 P_r + a_2 P_r^2$ , где  $a_0$  - расход топлива (в тоннах условного топлива) в режиме холостого хода энергоблока, т/ч;  $a_1$  - коэффициент линейной составляющей расходной характеристики, т.у.т/МВт.ч.;  $a_2$ - коэффициент квадратичной составляющей расходной характеристики, т.у.т/МВт, ч. Для каждого генератора существует диапазон допустимых значений генерируемой мощности от  $P_{r \min}$  до  $P_{r \max}$ , который с ростом номинальной мощности генератора уменьшается. В то же время, с ростом номинальной мощности энергоблоков повышается их экономичность по расходу топлива.

Можно убедиться, что наиболее экономичным режимом является случай, когда

$$\Delta B_2 = \Delta B_1$$

Из условия баланса мощностей:  $\Delta P_1 = \Delta P_2$  ; тогда можно получить

$$\frac{\Delta B_1}{\Delta P_1} = \frac{\Delta B_2}{\Delta P_2}$$

или в пределе

$$b_1 = b_2$$

Этот вывод можно обобщить и при наличии в системе “n” станций, то есть

$$b_1 = b_2 = \dots = b_n$$

Таким образом, критерием экономичности распределения активной нагрузки энергосистемы является равенство относительных приростов станций.

#### Литература

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
2. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

#### Тема 4. Оптимизация режима в энергосистеме смешанного типа

*Цель:* рассмотреть основные методы решения оптимизации задач в системе содержащей ТЭС и ГЭС

*Задачи:*

1. составление баланса расхода между ТЭС и ГЭС
2. роль ГЭС в балансе энергосистемы

##### Ключевые вопросы

Практическое решение задачи получения минимального расхода топлива можно осуществить по следующей схеме:

1. По заданным ХОП станций  $b_i = f(P_i)$  произвести их суммирование и получить эквивалентную характеристику  $b_c = f(P_c)$ ; 2 Для рассматриваемой нагрузки энергосистемы на эквивалентной характеристике определяется  $b_c$  по значению  $P_c$ ; 3 На ХОП каждой станции отыскиваются мощности  $P_1, P_2, \dots, P_m$  соответствующие значению  $b_c$ .

Пункт 1 выполняется следующим образом. Задаются значением  $b_c^{(1)}$  и проводят прямую параллельную оси абсцисс по всем трем графикам до пересечения с ними. Полученные значения  $P_1^{(1)}, P_2^{(1)}$  и  $P_3^{(1)}$  суммируются, в результате чего определяется  $P_c^{(1)}$ :  $P_c^{(1)} = P_1^{(1)} + P_2^{(1)} + P_3^{(1)}$

На эквивалентной характеристике таким образом получена первая точка с координатами  $[b_c^{(1)}, P_c^{(1)}]$ . Повторяют эту операцию, задавая значениями  $b_c^{(2)}, b_c^{(3)}$  до получения  $P_{c \max} = P_{2\max} + P_{3\max}$

Построив суммарную характеристику, можно теперь, отложив на оси активных мощностей  $P_c$ , определить  $b_c$  и по нему обратным ходом получить  $P_1, P_2, P_3$ , то есть выполнить пункты 2 и 3. Учет ограничений методом барьеров осуществляется следующим образом. При значениях ХОП больше максимального или меньше минимального за значения активной мощности принимаются граничные значения. При наличии в схеме ГЭС условия баланса электрических мощностей без учета потерь активной мощности в сети запишется как  $W = P_T + P_G - P_C$ ,

где  $P_T, P_G, P_C$  –соответственно активные мощности ТЭС, ГЭС и нагрузки ЭЭС. Для ГЭС с суточным циклом регулирования сумма часовых расходов воды  $Q^{(t)}$  за сутки должна быть равна заданному суточному притоку воды  $Q_{\text{сут.прит.}}$  к водохранилищу  $\sum_{t=1}^{24} Q^{(t)} = Q_{\text{сут.прит.}} = Q_{\text{зад}}$

Для определения минимума расхода условного топлива на генерирующую ТЭС и ГЭС при условии соблюдения баланса активных мощностей в сети и притока воды на ГЭС составим функцию Лангранжа в виде  $\sum_{t=1}^{24} B^{(t)}(P^{(t)}) + \sum_{t=1}^{24} \mu W^{(t)} + \lambda (\sum_{t=1}^{24} Q^{(t)}(P_G^{(t)}) - Q_{\text{сут.прит.}})$  и, взяв частные производные от нее, приравняем их к нулю

$$\frac{\partial L}{\partial P_T^{(t)}} = \frac{\partial B_T^{(t)}}{\partial P_T^{(t)}} + \mu^{(t)} = 0, \quad \frac{\partial L}{\partial P_G^{(t)}} = \lambda \frac{\partial Q^{(t)}}{\partial P_G^{(t)}} + \mu^{(t)} = 0, \quad \text{где} \quad \frac{\partial W}{\partial P_G^{(t)}} = \frac{\partial W}{\partial P_T^{(t)}} = \mu^{(t)} \quad \text{отсюда}$$

$$-\mu^{(t)} = \frac{\partial B_T^{(t)}}{\partial P_T^{(t)}} = \lambda \frac{\partial Q^{(t)}}{\partial P_G^{(t)}}$$

Тогда критерием оптимального распределения активной нагрузки энергосистемы между ТЭС и ГЭС является  $-\mu^{(t)} = b_T^{(t)} = \lambda q_G^{(t)}$

### Литература

1. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### Тема 5. Оптимизация режима с учетом активных потерь в сети

**Цель:** рассмотреть основные методы решения оптимизации задач в системе если учитываются активные потери электроэнергии

**Задачи:**

1. составление баланса расхода при учете активных потерь
2. способы и методы решения задач при учете активных потерь в энергосистеме

#### Ключевые вопросы

Учет потерь активной мощности в сети  $\pi$  приводит к следующему условию баланса:

$$W = P_1 + P_2 + \dots + P_m - P_0 - \pi,$$

где  $P_i$  – нагрузка станций ( $i$  от 1 до  $m$ );  $P_0$  – нагрузка энергосистемы.

При этом происходит перераспределение активных мощностей между станциями, а снижение потерь в сети обусловит уменьшение расхода топлива в системе

$$B = B_1 + B_2 + \dots + B_m$$

Целевой функцией здесь является минимум расхода топлива  $B$  при условии  $W$ , то есть функция Лагранжа имеет вид:

$$L = B + \mu W$$

Для определения экстремума  $L$  возьмем частные производные от  $L$  по всем  $P_i$  и приравняем их к нулю.

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = \frac{\partial B_i}{\partial P_i} + \mu(1 - \frac{\partial \pi}{\partial P_i}) = 0, \quad i=1+m \quad \text{или} \quad \frac{\partial L}{\partial P_i} = b_i + \mu(1 - \delta_i) = 0$$

$$\text{где } b_i = \frac{\partial B_i}{\partial P_i}, \quad \delta_i = \frac{\partial \pi}{\partial P_i}, \quad \text{отсюда } b_i = \frac{1}{1 - \delta_i} = \mu, \quad i=1+m$$

$$\text{Пусть } \eta_i = \frac{1}{1 - \delta_i}, \quad \text{тогда } b_1 \eta_1 = b_2 \eta_2 = \dots = b_m \eta_m = \mu$$

Последние равенства являются критерием оптимального распределения электрической мощности в энергосистеме при учете потерь в сети. Влияние сетевого коэффициента  $\eta_i$  сводится к изменению положения ХОП(смещению) вверх или вниз в зависимости от знака  $\eta_i$  Производная  $\delta_i$  численно равна изменению значения потерь  $\pi$  при изменении нагрузки  $i$ -той станции на единицу и постоянстве загрузки остальных станций (кроме балансирующей). Практическое решение задачи, реализовано в программе, осуществляется итеративно.

Для получения значений сетевых коэффициентов необходим расчет установившегося режима и вычисление по результатам искомым величин. Удобнее всего использовать в задаче оптимизации метод Ньютона.

Рассмотрим сущность метода Ньютона. Для решения этой системы методом Ньютона примем начальное приближение  $x_1^{(0)}$ ,  $x_2^{(0)}$  и каждое из уравнений разложим в ряд Тейлора, ограничиваясь только линейными составляющими.

Решив полученное уравнение, находим новые приближения.

Проверяем условия сходимости:  $\max \Delta x^{(1)} \leq \varepsilon$ .

В случае невыполнения этого условия просчитывается следующая итерация.

Матрица Якоби – квадратичная матрица первых производных от выражений невязок уравнений, вычисленная при определенных значениях неизвестных  $x_i^{(k-1)}$ . Достоинством метода является возможность при решении задачи оптимизации режима сразу оценивать его статическую устойчивость.

*Литература*

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.

### **Тема 6. Комплексная оптимизация режима**

*Цель:* рассмотреть комплексную оптимизацию режимов с учетом распределения нагрузки между станциями и распределением по электрической сети

*Задачи:*

1. учет реактивных потерь при расчете режима
2. декомпозиция задачи оптимизации

*Ключевые вопросы*

Задача оптимизации режима электрической сети по реактивной мощности  $Q$  состоит в определении установившегося режима электрической сети, при котором были бы выдержаны технические ограничения и были бы минимальными потери активной мощности в сети. В этой задаче заданы активные мощности электрических станций  $P_{Gi}$  (за исключением станций в узле баланса), а также активные и реактивные мощности узлов нагрузки  $P_{ni}$ ,  $Q_{ni}$ . Учитываются ограничения-равенства в виде уравнений и ограничения-неравенства на контролируемые величины.

Оптимизация режима питающей сети по  $Q$  — это либо самостоятельная задача минимизации потерь в тех случаях, когда отсутствует резерв  $P$  и все  $P_{Gi}$ , кроме балансирующего узла, фиксированы на наибольших значениях, либо подзадача в более общей задаче комплексной оптимизации режима. Целевая функция  $I$  соответствует потерям активной мощности в сети  $dP$  или в более общем случае - активной мощности балансирующей станции  $P_b$ . При оптимизации учитываются ограничения по напряжениям во всех узлах, в том числе и в узлах нагрузки, не имеющих средств регулирования; по реактивным мощностям генерируемых источников.

Оптимизация режима, позволяющая понижать активные потери мощности в энергосистеме, повышать экономичность функционирования ЭЭС, может проводиться с использованием двух подходов: оптимизации за счет определения наиболее экономичного варианта закупки межсистемных перетоков мощности и традиционной используемой оптимизации по реактивной мощности внутри энергосистемы. Одним из возможных вариантов при неполной исходной информации может служить метод решения транспортной задачи при задании  $P_a$  как функции от обменных перетоков, суммарной генерации и нагрузки в ЭЭС:

Если в энергосистеме работает только один генераторный блок, то расход топлива определяется заданной нагрузкой по его расходной характеристике и может быть далеко не экономичным. В группе из  $n$  энергоблоков, даже если все они одного типа, возможно множество режимов, различающихся по расходу топлива. Следует выбрать такое число блоков  $n \leq n_u$ , чтобы при заданной нагрузке  $P_r$  расход топлива всеми блоками  $B_n$  был минимальным. При этом суммарный расход топлива определяется по формуле

$$B_n = na_0 + a_1 P_r + \frac{a_2}{n} P_r^2$$

Если отключают один из блоков, то следует рассчитать экономию топлива от отключения блока и сравнить с возможным перерасходом топлива от менее экономичной работы остальных блоков и запуска в работу остановленного блока. При экономии большей, чем суммарный перерасход, блок останавливают. Если соотношение обратное, блок запускают в работу.

#### Литература

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
2. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### Тема 7. Применение при оптимизации режимов методов ньютоновского типа

*Цель:* использование метода Ньютона, при оптимизации режимов

*Задачи:*

1. применение метода Ньютона для оценки ущербов при электроснабжении
2. использовании метода штрафных функций

#### Ключевые вопросы

В наиболее общей постановке задача оптимизации режима по  $U$  соответствует определению минимума ущерба потребителей от некачественного напряжения. В этом случае в целевой функции надо учесть ущерб у потребителей из-за некачественного напряжения. Однако введение этого ущерба в расчет представляет затруднения из-за его недостаточной изученности. Поэтому при оптимизации режима сети можно считать, что целевая функция - удельные затраты на выработку единицы продукции, а оптимальное значение соответствует минимуму таких затрат. Следует учитывать  $P_{ni}(U)$  -статические характеристики нагрузки по напряжению.

В современных условиях при функционировании электроэнергетических системам (ЭЭС) актуально определения величины экономичного управляющего воздействия которое должно предусматривать снижение ущерба от ухудшения технологических параметров. Выбор такого управляющего воздействия позволяет выделить зону работы энергосистемы с минимальными ущербами при сохранении допустимого уровня напряжения у потребителей. В состав итогового ущерба входят ущербы от отклонения напряжения у потребителей от оптимального значения  $(U_i - U_0)^2$  (для простоты расчетов оптимальное напряжение принято равным напряжению в рассматриваемом узле в базовом режиме).

Во многих случаях статические характеристики нагрузки недостаточно известны, чтобы их можно было использовать при оптимизации режима сети. При неучете статических характеристик минимума  $P_\delta$  и  $dP$  совпадают, так как в этом случае  $\Sigma P_H = const$ . Таким образом, если не учитывать статические характеристики нагрузки и зависимость ущерба у потребителей из-за некачественного напряжения, то минимум активной мощности балансирующей станции соответствует минимуму потерь активной мощности в сети.

Минимизируемая функция при оптимизации режима электрической сети имеет вид

$$\Psi = \Delta P + \sum_{i=1}^n \Psi_{U_i} + \sum_{i=1}^K \Psi_{Q_i} + \sum_{l=1}^L \Psi_{I_l}$$

где  $\Psi_{U_i}$ ,  $\Psi_{Q_i}$ ,  $\Psi_{I_l}$  — штрафные функции, вводимые при нарушении ограничений, соответственно: по напряжениям во всех узлах, по реактивной мощности в узлах, в которых можно регулировать  $Q$  (число таких узлов с синхронными компенсаторами или генераторами, вырабатывающими свободную, т.е. регулируемую  $Q$ , равно  $K$ ), по контролируемым токам воздушных линий (число таких линий равно  $L$ ). Штрафные функции равны нулю, если ограничения выполняются, и значимы, если нет. Чем дальше находится режим от оптимального, тем больше может быть штрафная функция.



### *Литература*

3. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.
4. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### **Тема 8. Задачи оптимизации режимов в энергосбережении**

*Цель:* использование метода Ньютона, при оптимизации режимов

*Задачи:*

3. применение метода Ньютона для оценки ущербов при электроснабжении
4. использовании метода штрафных функций

#### *Ключевые вопросы*

При необходимости решения задачи энергосбережения рассматриваются методы оптимизации, приводящие к решению этой задачи. Например, при энергосбережении в распределительных сетях в основном используются методы "сетевой" оптимизации: минимизация потерь активной мощности и энергии в сети, оптимизация по реактивной мощности, оптимизация качественных параметров электроэнергии. При решении задачи энергосбережения в системах могут также рассматриваться методы оптимизации режимов, учитывающие изменения параметров электрических станций и их отдельных энергоблоков.

Метод нахождения кратчайшего пути. Рассмотрим применение сетевого подхода к решению задачи, цель которой состоит в том, чтобы найти кратчайший путь в сети.

Представленный выше процесс распределения мощностей потоков представляет собой важную часть метода максимального потока. Например, на предыдущем шаге метода мы можем зафиксировать поток на некоторой дуге. Позже из-за потоков, определенных на других дугах, может оказаться желательным уменьшить поток на первоначальной дуге. Процедура, которую мы описали выше, определит, в какой мере наше первоначальное решение зафиксировать некоторый поток следует пересмотреть, чтобы увеличить общий поток через сеть. Рассмотрим теперь шаги метода максимального потока.

Шаг 1. Найдите какой-либо путь от узла-источника до узла-стока, который образован дугами, каждая из которых имеет в направлении потока мощность, превышающую нулевую. Если такой путь не обнаружен, то оптимальное решение достигнуто. Шаг 2. Найдите наименьшее значение мощности дуги на пути, выбранном на шаге 1. Увеличьте поток через сеть, направив количество по пути, выбранному на шаге 1. Шаг 3. На пути, выбранном на шаге 1, сократите на мощности потоков на всех дугах в направлении потока и увеличьте на мощности потоков на всех дугах в обратном направлении.

Перейдите к шагу 1. Хотя процедура будет различной в зависимости от выбора путей на шаге 1, тем не менее, алгоритм приведет к нахождению максимального потока. На практике такая заданная продолжительность работ может быть величиной недостоверной. Ведь не всегда до начала работы, особенно новой, можно точно указать, сколько времени такая работа будет продолжаться. Поэтому в ходе выполнения работ необходимо вводить уточняемую фактическую продолжительность всех работ. Затем определять все характеристики на ЭВМ, находить новый критический путь и его отслеживать. Эту процедуру необходимо выполнять периодически. Для успешного управления сложными объектами на основе методов СПУ необходимо не только построить начальный сетевой график, но и его периодически перестраивать на ЭВМ. Без этого эффективное управление в условиях недостоверной информации (а она такой бывает очень часто) представить себе трудно. Единственное, что может дать однажды нарисованный сетевой график - дискредитацию мощных современных методов СПУ.

## *Литература*

1. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### **Тема 9. Оптимизация режимов в краткосрочных циклах управления**

*Цель:* использование метода Ньютона, при оптимизации режимов

*Задачи:*

5. применение метода Ньютона для оценки ущербов при электроснабжении
6. использовании метода штрафных функций

#### *Ключевые вопросы*

При рассмотрении краткосрочных режимов и их оптимизации чаще всего рассматриваются следующие задачи.

Задача 1 При известном составе агрегатов на выгоднейшим образом распределяется между агрегатами. Критерием оптимизации является минимум стока на работающих агрегатах

Задача 2 может решаться совместно с третьей или самостоятельно Текущий контроль за режимом напряжения реактивными мощностями) дает необходимую информацию о мощностях станции и позволяет определенным образом распределить их между агрегатами. Чаще всего реактивная мощность определяется между агрегатами равномерно.

Задача 3 Если ГЭС регулирует частоту в системе то она имеет определенную величину вращающегося резерва. Снижение вращающегося резерва недопустимо, так как оно может привести к аварийным ситуациям в системе

Задача 4 Для надежного регулирования напряжения необходимо в определенных ситуациях быстро увеличить располагаемую реактивную мощность работающих агрегатов

Задача 5 Если условия работы ГЭС отличаются от тех которые были заданы при оперативном планировании, то задача корректировки параметров состояния - нагрузок и состава агрегатов

Задача 6 Эта задача может решаться совместно 5 или самостоятельно Текущий контроль за режимом к (реактивными мощностями) дает необходимую информацию о требуемых реактивных мощностях и позволяет определить число синхронных компенсаторов.

Планировании режимов в электроэнергетике осуществляется по принципу «от потребностей к ресурсам» или от «ресурсов к потребностям». В первом случае система обладает возможностью полноценного удовлетворения запросов потребителя в электроэнергии и поэтому корректировка планов потребления происходит в соответствии с изменением нагрузки потребителя.

Во втором случае система ограниченная ресурсами, вынуждена постоянно изменять величину отпускаемой энергии. Изменение носит итеративный характер планирования, что приводит к многократному повторению цикла «план-корректировка».

Корректировка режимов осуществляется ежемесячно или ежеквартально. На самом деле корректировка осуществляется непрерывно, так как при этом осуществляется необходимое качество энергии, надежность и экономичность работы системы.

Задачи планирования можно разделить на четыре группы:

I – планирование объема энергетического производства, II – планирование режима производства, III – планирование использования энергетических ресурсов и производственных мощностей, IV – планирование использования топливных ресурсов.

## *Литература*

1. Чемборисова, Н.Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей : учеб. пособие/ Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель; АмГУ, Эн.ф.. - Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. -104 с.

2. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : учеб./ Т.А. Филиппова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. -298 с.:а-рис.

### 3. Методические указания (рекомендации)

1. При изучении разделов курса рекомендуется вести конспект, в котором необходимо указать основные положения изучаемого материала.

2. К задачам контрольной работы следует приступать после изучения и усвоения соответствующих разделов учебного материала. Контрольная работа выполняется в соответствии с установленными требованиями.

3. При возникновении затруднений при изучении материала и решении задач контрольной работы следует обратиться за консультацией к преподавателю.

#### 3.1 Методические указания к практическим занятиям

Практические занятия по дисциплине удобнее всего проводить в компьютерном классе с использованием программных продуктов Excel, Mathcad. Рассматривается заданная схема, записываются необходимые для решения поставленной задачи уравнения или графики, решение осуществляется с использованием компьютера. После получения решения результаты проверяются подстановкой в уравнения, оценивается осуществимость полученного решения, его физическая обоснованность, делаются необходимые выводы. Решение задачи различными методами дает возможность сопоставления этих методов, выбора наиболее приемлемого.

На практических занятиях рассматриваются примеры расчета оптимизации режима по активной и реактивной мощности в сети, оценивается область применения методов в различных режимных ситуациях в энергосистеме, рассматривают расчеты оптимального режима различными методами. Примерный список тем практических занятий:

№	Тема занятия	Число часов
1.	Получение аналитического описания ХОП и расходных характеристик ТЭС, оценка точности результатов решения	2
2.	Решение оптимизационной задачи методом неопределенных множителей Лагранжа	2
3.	Решение оптимизационной задачи графическим методом	2
4.	Поиск оптимальной загрузки станций с учетом потерь в сети	2
5.	Поиск оптимального распределения активных мощностей в схеме с ТЭС и ГЭС	2
6.	Расчет потерь в сети и их производных	2
7.	Оценка уровня статической устойчивости для задачи оптимизации режима	3
ИТОГО:		15

#### 3.2 Методические указания по самостоятельной работе студентов

##### ГРАФИК САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (понеделные)
1	2	3	4	5
1	Изучение методов оптимизации, используемых в Амурской энергосистеме	5	защита рефератов на семинаре	1

2	Организационная структура служб электрических режимов Амурского РДУ и ЦУС	5	защита рефератов на семинаре	2
3	Работа энергокомпаний в неоптимальных режимах и их последствия	3	Проверка на семинарских занятиях	3
4	Выполнение индивидуальных расчетных заданий	4	Проверка на практ. занятиях	4
5	Выполнение индивидуальных расчетных заданий	4	Проверка на практ. занятиях	5
6	Выполнение индивидуальных расчетных заданий	4	Проверка на практ. занятиях	6

Примечание. Список литературы, необходимый для изучения вопросов, заданных на самостоятельную работу, приведен в рабочей программы дисциплины.

### **3.4 Комплекты заданий для выполнения РГР**

Расчетно-графическая работа по дисциплине выполняется студентами самостоятельно в компьютерном классе или дома с использованием компьютера, программных продуктов Excel, Mathcad или языков программирования. Рассматривается индивидуально заданная схема; записываются исходные данные, необходимые для решения поставленной задачи, составляются уравнения; рассматривается алгоритм решения, которое затем осуществляется с использованием компьютера. После получения решения результаты проверяются подстановкой в уравнения, оценивается осуществимость полученного решения, его физическая обоснованность, делаются необходимые выводы. На основе полученных решений выбирается подходящий метод оптимизации.

Целью расчетной работы является самостоятельное освоение студентами методов расчетов оптимальных режимов электроэнергетических систем для различных случаев. Включает изучение лекционного материала и методической литературы при подготовке к самостоятельному выполнению задания, расчеты по расчетно-графической работе.

Для заданной схемы сети, узлов нагрузки и станций с заданными параметрами отдельных блоков и ограничением на их количество следует получить оптимальный режим работы

- 1) без учета потерь активной мощности в сети;
- 2) с учетом потерь активной мощности в сети;
- 3) с учетом оптимизации состава работающего оборудования;
- 4) по критерию минимума потерь в сети.

Сопоставить варианты и выбрать самый приемлемый.

*Последовательность и пример выполнения РГР (контрольной работы у студентов заочного обучения) приведены в литературном источнике*

Н.Ш. Чемборисова, А.С. Степанов, В.М. Пейзель. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей (учебное пособие). Благовещенск: АмГУ. 2006.

Таблица 1 - Исходные данные

Параметр	1 станция	2 станция	3 станция
$n_{yi}$	3	5	6
$P_{э\max} = P_{э\min}$	75	50	25
$P_{э\max}$ МВт	40	25	10
$a_{0i}$ т/ч	10	7,5	3
$a_{1i}$ т/ч·МВт	0,14	0,2	0,3
$a_{2i}$ т/ч·МВт <sup>2</sup>	0,0036	0,006	0,01
$u_{\max i}$	0,519	0,624	0,646
$Q_{э\max i}$ Мвар	40	27	15
$Q_{э\min i}$ Мвар	6	4	2
$b_{0i}$ руб/ч	0	0	0
$b_{1i}$ руб/Мвар·ч	0,012	0,014	0,018
$b_{2i}$ руб/Мвар <sup>2</sup> ·ч	0,00055	0,00068	0,00204

**РАБОТА №1**

Распределение активной разгрузки между генераторами по минимуму расхода топлива в энергосистеме без учета влияния сети.

Цель: по заданным нагрузкам энергосистемы и расходным характеристикам энергоблоков вычислить оптимальные значения активной мощности каждой станции и каждого генератора, в соответствии с критерием равенства ОПРТ, обеспечивающим минимум суммарного расхода топлива в энергосистеме.

Реактивные нагрузки и потери мощности в сети не учитываются. Расчетная схема приведена на рисунке 1.

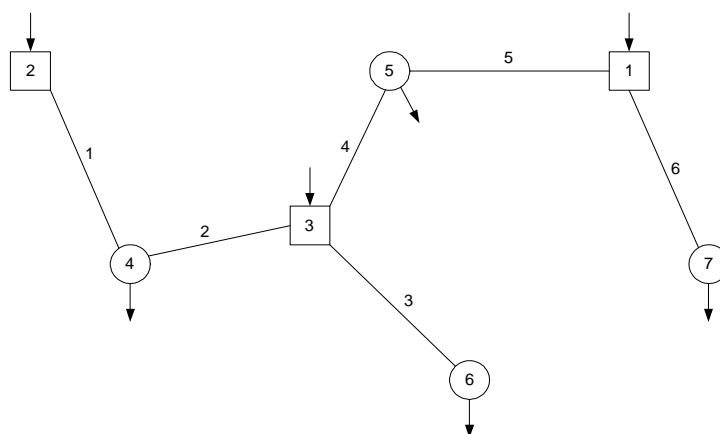


Рисунок 1 – Расчетная схема.

Исходные данные приведены в таблице 1.

## **4. Контроль знаний**

### **4.1 Текущий контроль знаний**

Блок текущего контроля знаний включает в себя методические указания к выполнению рубежных контрольных мероприятий по освоению модуля, контрольных работ, образец контрольной работы из каждого модуля (раздела дисциплины), контрольные вопросы по каждой теме учебной программы и по всему курсу, тексты деловых ситуаций, образец тестового задания.

*Вопросы к контрольным работам*

#### **Модуль 1 «Режимы работы электрических станций и их энергетические характеристики»**

1. Сформулируйте понятия: оптимизация и оптимальное решение
2. Что такое математическая формализация задачи
3. Перечислите основные критерии оптимизации, применяемые в задачах энергетики
4. Дайте понятие линейной и нелинейной зависимостей между переменными
5. Определите основные понятия математической модели: целевая функция, ограничения, граничные условия
6. Запишите линейную математическую модель оптимизационной задачи
7. Назовите основные методы решения линейных оптимизационных задач и основные этапы этих методов
8. Дайте графическую иллюстрацию целевой функции, ограничения и граничные условия в задаче линейного программирования.
9. Что представляет собой область допустимых решений в задаче линейного программирования
10. Что такое энергетические характеристики станций? Для чего они нужны?
11. Какие показатели используются при построении энергетических характеристик? Как меняются форма и вид энергетических характеристик в различных показателях?
12. Как связаны между собой энергетические характеристики в абсолютных, относительных и дифференциальных показателях?
13. Какой вид имеют энергетические характеристики котлов, турбин и генераторов ТЭС? Как они связаны на ТЭС?
14. Какой вид имеют характеристики ТЭС, построенные в различных координатах?
15. Какой вид имеет диаграмма режимов на ТЭЦ? Почему применяется характеристика в таком виде?
16. Какие удельные расходы топлива имеют ГТУ и как они выглядят по сравнению с показателями ТЭС?
17. Какой вид имеют энергетические характеристики ГЭС?
18. Какие имеются способы получения энергетических характеристик?
19. Каковы погрешности энергетических характеристик? Имеют ли они значение для решения режимных и коммерческих задач?
20. На основе какой информации и как строятся статистические характеристики станций?
21. В каких задачах и для чего используются энергетические характеристики?

#### **Модуль 2 «Методы оптимизации режимов работы электрических станций»**

1. Определите понятия: базисная и свободная переменная?
2. Опишите процедуру алгебраических преобразований системы линейных уравнений
3. Как осуществляется выбор разрешающего столбца и разрешающей строки при поиске оптимального решения симплекс – методом?
4. Как осуществляется выбор разрешающего столбца и разрешающей строки при поиске допустимого решения симплекс – методом?
5. Сформулируйте условие допустимого решения симплекс – методом?
6. Сформулируйте условие оптимального решения симплекс – методом?
7. Дайте формулировку транспортной задачи
8. Запишите математическую модель транспортной задачи

9. Особенности ограничения транспортной задачи
10. Принцип нахождения допустимого решения в транспортной задачи
11. Принцип нахождения оптимального решения в транспортной задачи
12. Каково условие допустимого решения в транспортной задачи
13. Каково условие оптимального решения в транспортной задачи
14. Поясните понятие транзита мощности через узел
15. Какова стоимость передачи транзита мощности через узел?
16. Что такое цикл пересчета транспортной матрицы?
17. Приведите примеры задач энергетики, решаемых методами линейного программирования
18. Запишите в общем виде математическую модель задачи нелинейного программирования
19. Назовите основные методы решения нелинейных оптимизационных задач
20. Дайте графическую иллюстрацию целевой функции в задаче нелинейного программирования
21. Дайте графическую иллюстрацию ограничения в задаче нелинейного программирования

### **Модуль 3. «Оптимизация режимов с целью управления энергосистемами»**

1. Дайте понятие линий равного уровня целевой функции
2. Сформулируйте понятие градиента целевой функции. Пояснить физический смысл градиента
3. Поясните суть градиентных методов решения нелинейных задач
4. Поясните понятия: безусловный и условный экстремумы нелинейной функции
5. Как ищется безусловный экстремум нелинейной функции
6. Объясните принцип метода неопределенных множителей Лагранжа
7. Приведите примеры решения задач энергетики, решаемых методами нелинейного программирования
8. Приведите примеры решения задач энергетики, решаемых методами целочисленного и дискретного программирования
9. Приведите примеры решения задач энергетики, решаемых методами стохастического программирования
10. Поясните понятия: целочисленная, двоичная, дискретная переменная
11. Какие переменные обязательно сопровождают решение дискретной задачи?
12. Из  $n$  возможных вариантов в оптимальное решение входит  $m$  вариантов. Приведите типичное для такой дискретной задачи ограничение
13. Сформулируйте причины и приведите примеры случайной исходной информации
14. Каким методом решаются задачи при случайной исходной информации
15. Приведите примеры когда используется метод динамического программирования
16. Дайте объяснение характеристике относительного прироста
17. Поясните суть метода экспертных оценок
18. Запишите целевую функцию многокритериальных оценок
19. Нормированное значение целевой функции, объясните понятие

#### **4.2 Итоговый контроль знаний**

##### **Контрольные вопросы к экзамену**

1. Общая постановка задачи оптимизации режимов ЭЭС.
2. Оптимизация режима в схеме, содержащей только ТЭС, без учета потерь активной мощности в сети.
3. Оптимизация режима в схеме, содержащей ТЭС и ГЭС, без учета потерь активной мощности в сети.
4. Оптимизация режима по активной мощности с учетом потерь в сети.
5. Графическая оптимизация режима в схеме, содержащей только ТЭС, без учета потерь

активной мощности в сети.

6. Оптимизация режима по активной мощности с использованием расходных характеристик (2 станции).
7. Оптимизация качественных показателей электроэнергии.
8. Задание ограничения в виде штрафных функций.
9. Расчет неопределенного множителя Лагранжа при оптимизации режима в схеме с ГЭС.
10. Оптимизация режима по активным мощностям станций в условиях рыночных отношений.
11. Распределение нагрузки между агрегатами станций
12. Распределение реактивных нагрузок
13. Энергетические характеристики станций с одинаковыми агрегатами
14. Построение эквивалентных характеристик станции при заданном составе работающих агрегатов
15. Выбор состава агрегатов в тепловой энергосистеме
16. Комплексная оптимизация режимов электроэнергетической системы
17. Упрощенный алгоритм комплексной оптимизации режимов электроэнергетической системы
18. Внутростанционная оптимизация режима ГЭС
19. Задача оптимизации долгосрочных режимов ГЭС
20. Оптимизация распределения мощностей в замкнутом контуре
21. Оптимизация режима питающей сети по реактивной мощности
22. Методы оптимизации режима водохранилища одиночной ГЭС
23. Оптимальное планирование ремонтов энергетического оборудования
24. Эксплуатационные свойства электростанций
25. Роль ГЭС в повышении экономичности и надежности энергосистемы
26. Виды энергетических характеристик
27. Энергетические характеристики тепловых электростанций
28. Способы получения энергетических характеристик
29. Статистические характеристики станций

##### ***5. Интерактивные технологии и инновационные методы, используемые в образовательном процессе***

При преподавании дисциплины «Оптимизация в электроэнергетических системах» используется технология модульного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Где перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля.

При проведении практических занятий можно использовать либо «Мозговой штурм», либо «Метод Дельфи», которые будут направленные на вовлечение всех студентов в решении конкретных задач.

При выполнении работ используются следующий прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирующей реальное событие; обсуждение с преподавателем цели работы и хода выполнения ее выполнения; обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.