ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

# Введение

Управление энергосистемой производиться за счет изменения ее состояния или параметров режима. Состояние ЭЭС определяется схемой системы, генераторным оборудованием, устройствами регулирования, устройствами автоматики и др. Главным параметром управления является активная мощность ЭЭС. Она может изменятся за счет состава включенного генераторного оборудования на станциях и за счет его загрузки.

Режимные задачи многообразны, и многие зависят от состава работающего оборудования и распределения нагрузки между агрегатами и станциями. Для нормальных режимов наиболее характерными являются следующие задачи:

-составление балансов мощности и энергии;

-определение перетоков мощности между энергосистемами;

-выбор состава работающих агрегатов на электростанциях;

-распределение нагрузки потребителей между агрегатами, станциями, энергосистемами, объединениями;

-выбор эксплуатационной схемы электрической сети;

-расчет потокораспределения и напряжения в электрической сети;

-выбор и размещение оперативных резервных мощностей в ЭЭС;

-регулирование частоты;

-регулирование напряжения;

-настройка систем автоматики и релейной защиты;

-распределение топливных ресурсов;

-регулирование стока водохранилищами ГЭС;

-планирование ремонтов;

-определение технико-экономических показателей.

Приведенный перечень является далеко не полным, причем в каждой из перечисленных задач имеется множество подзадач.

В общем случае задача распределения нагрузки сложна, что определяется большими масштабами энергетики, большим различием технических экономических и режимных характеристик отдельных элементов ЭЭС, влиянием энергетики на другие отрасли народного хозяйства. Для создания практических методов расчета производится декомпозиция общей задачи на ряд более простых и взаимосвязанных подзадач.

Методы определения оптимального режима энергетической системы базируются на отыскании минимума затрат. Отыскание минимума сложной функции представляет собой задачу оптимизации, поэтому и возникает термин «оптимизация режима энергетических систем».

Знание методов оптимизации режимов энергетических систем обязательно для всего инженерно-технического персонала, управляющего режимом энергосистемы: для ее руководящих работников, для диспетчеров энергосистем и работников службы режимов, а также для оперативного и технического персонала управляемых объектов (электростанций и электросетей).

Для обеспечения максимальной экономичности режима энергосистемы имеется ряд следующих возможностей:

-оптимальное распределение активной и реактивной мощностей между генерирующими источниками, включенными в работу;

-оптимальный выбор включенных в работу агрегатов (котлов, турбогенераторов);

-оптимальное назначение оперативного резерва мощности в энергосистеме;

-выбор оптимальной схемы энергосистемы;

-оптимальное регулирование частоты и напряжений.

Рассмотрим методы установления оптимального распределения мощностей. Назначение оптимальных мощностей для какой-либо станции имеет смысл лишь в том случае, если при таком назначении распределение мощностей между отдельными агрегатами внутри электростанции также является оптимальным и, кроме того, если режим нагрузки агрегата при заданной ему оптимальной мощности по всем параметрам агрегата является оптимальным. Это означает, что при заданной нагрузке котла выбраны и поддерживаются оптимальные значения избытка воздуха и величины разрежения; при заданной нагрузке турбины - оптимальное значение давления, температуры пара и вакуума и т. п.

Оптимальное распределение мощностей внутри станции подчиняется тем же законам, что и оптимальное распределение мощностей между станциями. В ряде случаев рассматривается распределение мощностей не между станциями, а между отдельными агрегатами всей энергосистемы.

Установление оптимальных параметров режима агрегата при заданной ему нагрузке осуществляется оперативным персоналом, обслуживающим агрегат, по нормальным эксплуатационным инструкциям.

Решение задачи оптимального распределения мощностей может базироваться на одном из излагаемых в дипломном проекте общих методов. Все эти методы обеспечивают получение таких значений мощностей, при которых суммарные затраты достигают минимума. Таким образом, с математической точки зрения задача сводится к отысканию минимума функции многих переменных. Эти переменные не являются независимыми, а имеют целый ряд ограничений или связей.

Для оптимизации режима нужно найти минимум затрат, зависящих от большого числа переменных, связанных условиями ограничения.

Общая постановка задачи об оптимизации ДП-1060211521-2020-01-ПЛ.

1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ВОПРОСОВ ПРОЕКТА

# Анализ литературы

Сегодняшние знания человека складываются из научно обоснованных доводов, которые собирались столетиями. Поэтому является необходимостью привести источники сведений, уже полученные научными работниками и авторами.

Показатели и нормы качества электроэнергии были найти в литературе [1], являющейся действующим ГОСТом для некоторых государств СНГ, принятом в 1997 году. Нормы, установленные данным стандартом, являются обязательными во всех режимах работы сетях и систем общего назначения.

Главным источником при проектировании, монтаже и эксплуатации электрических установок, является литература [2, 3]. Здесь установлены правила устройства электроустановок с целью обеспечения надежности и безопасности.

Так же источником информации является “Схемная и режимная информация по основным электрическим схемам РУП «ОДУ»”. Благодаря информации, полученной во время прохождения преддипломной практики, можно произвести расчеты, исходные данные для которых являются реальной, практической информацией, которая используется в данное время для оптимального распределения нагрузок [4] .

Основным источником является книга Веникова В.А. - «Оптимизация режимов электростанций и энергосистем», которая необходима для описания теоретической часть дипломной работы в достаточном объеме [5] . Подробно расписаны методы и способы распределения нагрузок в книге того же автора - «Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов» [6] .

Все необходимые для расчетов данные были взяты из «Справочника по проектированию электроэнергетических систем под редакцией С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро [7] и книги «Электрические системы и сети. Проектирование» Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин [8].

# Постановка вопросов проекта

Существует определенная связи между эксплуатационными затратами  и управление и управлением режимами электрической системы:



где  - составляющая, мало зависящая от режима электрической системы и ею можно пренебречь (затраты на зарплату эксплуатационного персонала, на мероприятия по повышению надежности и экономичности оборудования за счет повышения КПД устройств передачи и преобразования энергии(парогенераторов, турбин, генераторов и ...)). Эти затраты почти не зависят от нагрузки и их уменьшение достигается усилиями эксплуатационного персонала электростанций и сетевых предприятий.

Вторая составляющая  характеризует затраты на энергоресурсы и зависит от режима энергосистемы, состава и загрузки включенного в работу оборудования. При этом основными носителями энергии являются вода для ГЭС и топливо для ТЭС. Нетрудно видеть, что величина  определяется затратами на топливо с учетом его транспортировки и добычи.

Решение задачи управления режимами энергосистемы заключается в определении таких управляющих воздействий, которые обеспечивают минимум народнохозяйственных затрат на производство, передачу и распределение электроэнергии. Эта задача сводится к минимизации затрат на энергоресурсы З(P).

Величина суммарной нагрузки энергосистемы  определяется поведением потребителей энергии и рассматривается в энергосистеме как заданный параметр, характеризующий внешнее воздействие. С учетом потерь  в каждый момент времени  должен быть баланс:



где  - активная мощность источника в момент времени ;

 - общее число энергоисточников.

Сформулированное условие должно выполняться при поддержании номинальной частоты. Оптимальное управление нормальными режимами энергосистемы заключается в экономичном распределении нагрузки системы между источниками, т.е. в определении значений  , обеспечивающих минимум затрат на энергоресурсы. При этом располагаемый запас гидроресурсов  , на  ой станции определяется природными условиями водотока (площадью бассейна, количеством осадков и т.д.), а также дополнительными условиями судоходства, сплава леса, прохождения рыбы и т.д.

Нельзя израсходовать гидроэнергии больше, чем это позволяет ресурс , а меньше невыгодно т.к. его недоиспользование приводит к холостому сбросу воды на ГЭС и означает, что заданная для системы выработка электроэнергии достигается за счет дополнительного сжигания топлива на ТЭС.

Расход топлива  на  ой станции ТЭС зависит от активной мощности станции и состава включенного в работу оборудования; при этом оба параметра могут быть переменными во времени, а следовательно за период  :



где - количество ТЭС;

 - коэффициент стоимости добычи и транспортировки топлива для -ой станции.

Полное использование гидроресурса за время соответствует условию (баланс):



где - количество ГЭС;

 - расход воды, как функция времени, зависящий от загрузки гидрогенераторов активной мощностью; известный (планируемый на год, период ) запас воды на ГЭС .

Таким образом, задача оптимизации режима энергосистемы соответствует отысканию минимума  согласно:



при выполнении условия (уравнение связи):



Это условие связывает переменные во времени и означает, что оптимальное значение параметров режима в некоторый момент времени не может быть найдено только на основании текущей информации о системе, а должно вычисляться с учетом ее дальнейшего поведения. Решение такой общей задачи, относящейся к классу вариационных, затруднительно ввиду большой сложности.

Методы вариационного исчисления не позволяют выявить глобальный оптимум, и поэтому не пригодны для многоэкстремальных задач. Они не пригодны также и при решении одноэкстремальных задач, если ограничения заданы в виде неравенств.

Если в энергосистеме нет ГЭС (т.е. отсутствует уравнение связи), то задача резко упрощается, т.к. режим в целом за время будет оптимальным, если:



Далее, если принять упрощение, что стоимость добычи и доставки топлива для всех станций одинакова то задача оптимизации для любого момента времени сведется к минимизации суммарного расхода топлива:



Здесь для удобства индекс  опущен;

-число ТЭС без балансирующей: 

 - расход топлива на балансирующей станции. Необходимость такой станции покажем ниже.

Значение  необходимо, иначе уравнение  не решается, но , а  можно найти только путем расчета режима энергосистемы. Расход топлива  на каждой станции зависит от ее активной мощности  и связан с ней через расходную характеристику (рисунок 1.1).

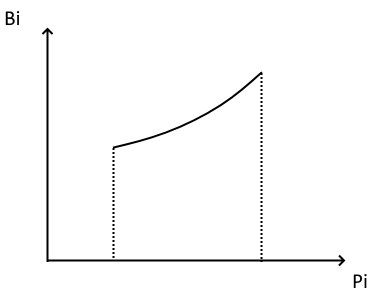


Рисунок 1.1. – Зависимость расхода топлива

Эта зависимость расхода топлива (рисунок 1.1)(обычно в единицах условного топлива на часовую выработку электроэнергии при ).

Эта упрощенная характеристика (рисунок 1.1) соответствует блочным и конденсационным станциям. Особенностью ее является то, что она может быть представлена аналитической зависимостью, чаще полиномом второй степени:



Реальные характеристики  имеют изломы, а характеристики относительных приростов  скачки, появление которых обусловлено дискретностью регулирования доступа пара в турбину. Эти свойства должны учитываться при внутристанционной оптимизации (распределении нагрузок между агрегатами).

Расходная характеристика станции в существенной мере зависит от состава, включенного в работу оборудования. Поэтому более правильным был бы путь, в котором решение задачи минимизации суммарного расхода топлива и выбора оптимального состава оборудования осуществлялось бы совместно. Однако при этом возникают большие трудности, вызванные, в первую очередь, необходимостью минимизации значения



на длительном интервале времени .

И действительно – оптимальный состав оборудования не может быть найден только на основании текущей информации о нагрузке системы. Поскольку для оценки эффективности остановки того или иного агрегата станции необходимо выяснить – окажется ли экономия топлива от отключения агрегата больше расходов на его пуск, а это можно узнать через исследование поведения агрегата во времени.

Поэтому задачу оптимизации режима энергосистемы решают в два этапа.

Первый этап – планируется состав оборудования всех электростанций и загрузки ГЭС на основании прогноза о поведении потребителя.

На втором этапе решают задачу экономического распределения нагрузки для заданного состава оборудования.

Таким образом, суммарный расход топлива в системе можно записать как функцию всех активных мощностей станций:



При этом в любой момент времени должно выполняться условие баланса:



А так как потери активной мощности  зависят от потокораспределения активных и реактивных мощностей, то:



Мощность балансирующего узла можно определить по формуле:



тогда очевидно, что



в свою очередь переменные, входящие в данную функцию, должны удовлетворять системе уравнений установившегося режима.

Таким образом, видно, что показатели системы зависят от распределение активных и реактивных мощностей, причём генерация и распределение – взаимосвязанная задача. Например, от распределения реактивных мощностей системы зависят напряжения в узлах электрической системы и потери активной мощности в электрических сетях. Это, в свою очередь, влияет на перетоки активных мощностей и на расходы топлива на различных электростанциях. Таким образом, задач распределения нагрузок потребителей системы имеет комплексный характер. Режим электрической системы можно описать уравнение:



где  - матрица проводимостей;

 - вектор напряжений узлов;

 - вектор полных мощностей.

Такие уравнения составляются для всех узлов кроме балансирующего узла. Уравнение режима отражает баланс токов в узлах.

Если в качестве опорного и балансирующего узла взять один и то же узел с заданным напряжение , то для любого -го узла (кроме балансирующего узла) можно записать:



- нагрузочные узлы;

 - генераторные узлы;

- число узлов в системе без балансирующего;

- число нагрузочных узлов;

- число генераторных узлов.

Математическая формулировка задачи.

Если отыскивается экстремум некоторой функции многих переменных:



и имеются уравнений связи



то переменных называются зависимыми.

Для вычисления функции при заданных значениях , переменные  должны быть предварительно найдены решением системных уравнений связи.

Вернемся к задаче оптимизации:



Напомним: для ТЭС стоимость добычи и доставки топлива для всех станций одинакова 

Уравнения связи:



В уравнениях связи считаются заданными для решения задачи оптимизации (только ) комплексных значений мощностей нагрузок 

Так как число уравнений связи , т.е. равно числу узлов без балансирующего узла, то к зависимым переменных могут быть отнесены напряжения  всех узлов. Оставшиеся  комплексных мощностей  станций образуют вектор независимых переменных .

Любому вектору соответствует некоторый суммарный расход топлива , который можно вычислить лишь после решения системы узловых напряжений. Действительно, чтобы воспользоваться выражениями:



при некоторых исходных значения активных мощностей станции  необходимо найти мощность балансирующего узла . Эта мощность должна учитывать потери в сети, а поэтому она может быть вычислена только для конкретного режима при заданных значениях мощностей станций .

Решив уравнения узловых напряжений, можно найти напряжения , т.е. напряжения в узлах сети. Затем по выражениям:





где  - индекс нагрузки узла;

-генерация;

-задано.

Вычислить активную мощность:



Для удобства задачу оптимизации режима энергосистемы назовем задачей 1; решение ее связано с расчетом нормального режима – задачей 2. Она является вспомогательной подзадачей задачи 1 и сама по себе достаточно сложна в виду:

-большой размерности (число узлов до 1000);

-уравнения установившегося режима нелинейные и решение их возможно лишь итерационными методами, обеспечивающими сходимость вычислительного процесса.

Учитывая сложность комплексной постановки, чаще решаются две более простое подзадачи:

-наивыгоднейшее распределение активных нагрузок системы при постоянстве напряжений в узлах и с приближенным учетом потерь активной мощности;

- расчет режима электрических сетей, при фиксированных активных мощностях генераторных узлов.

1. ОБЩАЯ СХЕМА И СТРУКТУРА БЕЛАРУССКОЙ ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Схема основной сети ОЭС Беларуси ДП-1060211521-2020-02-ПЛ.

Установленная мощность генерирующих энергоисточников Республики Беларусь составляет 10 098,14  МВт.

Установленная мощность 68 генерирующих энергоисточников ГПО «Белэнерго» - 8 947,31 МВт, из них:

1. 42 тепловых электростанций электрической мощностью – 8 850,19 МВт, в том числе 12 тепловых электростанций высокого давления – 8 198,57 МВт;
2. 25 гидроэлектростанций установленной мощностью 88,11 МВт;
3. Новогрудская ветроэлектрическая станция мощностью 9,00 МВт.

Таблица 1.1 Основные показатели ГПО «БЕЛЭНЕРГО»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГПО «БЕЛЭНЕРГО» | | |
| Установленная мощность на 01.01.2020 | 8947,31 | МВт |
| Выработка электроэнергии источниками ГПО  «Белэнерго» | 34,94 | млрд кВтч |
| Отпуск тепловой энергии | 32,8 | млн Гкал |
| Экспорт электроэнергии | 2,37 | млрд кВтч |
| Выработка электроэнергии блок-станциями | 4,32 | млрд кВтч |
| Потребление электроэнергии в республике | 37,93 | млрд кВтч |
| Удельные расходы топлива: | | |
| на отпуск электроэнергии | 240,7 | г/кВтч |
| на отпуск тепла | 166,65 | кг/Гкал |
| Технологический расход энергии на ее транспорт: | | |
| в электрических сетях | 7,69 | % |
| в тепловых сетях | 9,37 | % |
| Протяженность линий электропередачи на 01.01.2020 | | |
| Всего | 279,73 | тыс. км |
| Воздушные ЛЭП напряжением 35-750 кВ, в том числе: | 36,81 | тыс. км |
| ЛЭП 220–750 кВ | 7,68 | тыс. км |
| ЛЭП 110 кВ | 17,3 | тыс. км |
| ЛЭП 35 кВ | 11,83 | тыс. км |
| Воздушные ЛЭП напряжением 0,4-10 кВ | 202,22 | тыс. км |
| Кабельные линии  электропередачи | 40,7 | тыс. км |
| Протяженность тепловых сетей в однотрубном исчислении | 7,506 | тыс. км |
| Количество трансформаторных подстанций  35-750 кВ/Количество трансформаторов | | |
| Всего | 1 357/2 398 | ед. |
| ПС 750 кВ | 44136 | ед. |
| ПС 330 кВ | 34/93 | ед. |
| ПС 220 кВ | 14154 | ед. |
| ПС 110 кВ | 732/1 296 | ед. |
| ПС 35 кВ | 580/960 | ед. |
| Количество трансформаторных подстанций ТП 6-10/0,4 кВ | 74646 | ед. |
| Среднесписочная численность персонала | 66,1 | тыс. чел. |

1. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СТРУКТУРЕ СМЕШАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ