

УДК 621.311.16

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Скурат Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Петруша Ю.С.

Вопросы повышения эффективности использования энергетических ресурсов, в том числе электрической энергии, имеют принципиальное значение для устойчивого развития экономик. На принятие действенных мер, обеспечивающих эффективное использование электрической энергии, направлена работа многих ученых и научно-исследовательских организаций по всему миру.

Актуальность темы обусловлена, главным образом, современными социально-экономическими тенденциями, приводящими к росту общей энергоемкости промышленных и бытовых потребителей, связанной, в частности, с количественным распространением различных электротехнических комплексов и систем, качественными изменениями режимов и графиков потребления электрической мощности, а также с увеличением протяженности магистральных, промышленных и бытовых электрических сетей.

В результате отмеченных тенденций, возникает недостаток генерируемой электростанциями мощности, появляется необходимость строительства дополнительных станций, комплексов автономной или систем распределенной генерации. Это сопряжено с большими экономическими затратами и значительными экологическими ущербами, которые можно минимизировать, а в некоторых случаях и полностью исключить, если обеспечить повышение энергоэффективности электротехнических комплексов и систем электроснабжения.

Под энергоэффективностью электротехнических комплексов и систем электроснабжения в общем случае понимается рациональное и эффективное использование мощности, потребляемой от источников электроэнергии, при сохранении параметров качества сети, питающей промышленных и бытовых потребителей [1].

Потому так важна разработка методов и средств повышения энергоэффективности электротехнических комплексов и систем электроснабжения за счет минимизации потерь при передаче мощности от источников электроэнергии к потребителям, а также за счет повышения показателей эффективности электропотребления и качественных показателей электроэнергии питающей сети.

Таким образом, повышение энергоэффективности энергетического производства можно достичь двумя путями:

1) Разработка и внедрение более совершенного оборудования: генераторы, трансформаторы, провода;

2) Рациональная эксплуатация существующих электроустановок.

Это значит: оптимальное распределение нагрузки между электростанциями энергосистемы; выбор наивыгоднейшего состава рабочего

оборудования; оптимизация схемы энергосистемы; проведение ремонтов в оптимальные сроки.

Вся вторая группа решений называется задачей оптимизации режимов электроэнергетических систем. Эффектом от оптимизации режима, как правило, является не только уменьшение стоимости на выработку, передачу и распределение электроэнергии, но и уменьшение таких важных составляющих как потери мощности, потери электроэнергии, соблюдение надежной работы электрооборудования.

В целях повышения энергоэффективности электроэнергетических систем, нас будет интересовать оптимизация режима энергосистемы, а именно оптимальное распределение нагрузки между станциями.

Сформулируем постановку данной задачи: затраты на производство, передачу, распределение электроэнергии зависят не только от внешних факторов (величина подключаемой нагрузки), но и от режима энергосистемы, на который можно воздействовать через систему управления. В каждый момент времени энергосистема находится в определенном состоянии, которое характеризуется параметрами состояния системы (номинальная мощность оборудования, длина и марка проводов) и режима (ток, напряжение, уровень воды на гидроэлектростанциях). Решение задачи управления режимами состоит в определении таких воздействий, которые обеспечили бы минимальные величины затрат, сохраняя при этом баланс активной мощности. То есть, оптимальное управление режимами заключается в экономичном распределении суммарной нагрузки энергосистемы между станциями.

Задача расчета режима сложна из-за большой размерности задачи. Плюс ко всему решение пока еще возможно только итерационными методами. Поэтому на практике чаще всего решаются две подзадачи:

- 1) Распределение нагрузки в энергосистеме при постоянных нагрузках в узлах и приближенном расчете потерь мощности;
- 2) Расчет режима при фиксированных активных мощностях станции. Здесь реактивная мощность узлов генерации определяется по критерию минимума суммарных потерь активной мощности.

Способы распределения нагрузки между электростанциями делятся на практические и аналитические [2]. К первой группе относятся:

- 1) Метод относительных приростов;

Целью является распределение нагрузки таким образом между агрегатами, чтобы суммарные затраты были минимальными.

- 2) Табличный метод;

Отличие от метода относительных приростов в том, что исходными данными первого метода являются расходные характеристики, в то время как в табличном методе все зависимости величин относительных приростов от величины загрузки агрегатов представлены в виде таблиц.

- 3) Графоаналитический метод.

Аналитические способы являются более сложными, но более корректными в сравнении с практическими способами распределения нагрузки:

- 1) Метод динамического программирования;

Предназначен для решения задач функции многих переменных. Смысл метода: рассмотреть многошаговый процесс, состоящий из рекуррентных соотношений, основанных на уравнениях Беллмана.

- 2) Прямой метод оптимизации;
- 3) Градиентный метод;

Определяет оптимальный режим путем решения системы уравнений последовательным приближением. При большом числе ограничений оптимизация неосуществима из-за большого количества итераций.

- 4) Метод штрафных функций.

Для достижения поставленной цели постановка данной задачи может звучать следующим образом: минимизировать суммарный расход топлива на станциях при заданном составе оборудования, сохраняя при этом баланс мощности.

Рассмотрим метод относительных приростов как способ распределения нагрузки. Алгоритм выглядит следующим образом:

- 1) По  $B_i = f(P_i)$  расходной характеристике для каждого агрегата определяется значение относительных приростов;
- 2) Построение характеристик относительных приростов агрегатов  $\xi = f(P_i)$  на одном графике и дополнить характеристики относительных приростов вертикальными участками так, чтобы для всех характеристик минимумы и максимумы совпадали;
- 3) Найти минимум и максимум относительного прироста;
- 4) Построить суммарную ХОП для системы;
- 5) Выполнить распределение заданной суммарной активной мощности между станциями.

Отметим, что для данного метода характерна простота и возможность проводить расчет вручную. Но большим недостатком является то, что построенные ХОП соответствуют заранее принятому включенному в работу составу оборудования. Поэтому полученное распределение должно быть пересчитано при изменении состава оборудования, что является проблемной задачей.

В течение последних лет интенсивно разрабатываются и внедряются методы оптимального управления технологическими процессами и хозяйственной деятельностью в различных отраслях промышленности [3].

Под оптимальным управлением понимается такое ведение производственного процесса или такая система ведения хозяйства, при которых достигается наибольший народнохозяйственный эффект. Выраженная в математической форме задача управления технологическим процессом называется целевой функцией. Уравнения, определяющие связь между основными элементами управляемого процесса, носят название уравнений связи.

В области энергетики одной из основных задач управления, безусловно, является оптимизация режима эксплуатации энергетических предприятий и объединений. Но наряду с этой эксплуатационной задачей не меньшее значение имеет и проектная задача.

Разработка оптимальной стратегии развития энергетических систем и, в частности, электрических сетей, включающая выбор типов, мощностей и расположения новых электростанций и подстанций, напряжения, сечения проводов и конфигурации линий, образующих электрическую сеть и т. д.

Это очень сложная народнохозяйственная задача, при решении которой необходимо учитывать условия транспортировки топлива, возможность снабжения электростанций водой, удобство доставки потребителям электрической и тепловой энергии, требования санитарных норм, не допускающих загрязнения воздуха, условия удаления золы и шлака, наличие удобных площадок для строительства электростанций и жилых поселков при них и ряд других требований.

Рациональное решение может быть найдено методом перебора и сравнения большого количества вариантов с учетом ряда ограничений и выполнением необходимых технико-экономических расчетов, что требует применения современных математических методов и быстродействующих ЭЦВМ.

С этой задачей тесно связано размещение резервных мощностей в энергообъединениях. При этом важно правильно оценить размер резерва, необходимого для покрытия нагрузки системы при плановых ремонтах и повреждениях оборудования, и непредвиденном росте нагрузки.

Расчеты, связанные с оптимизацией режима работы энергосистем, во многих случаях требуют предварительных вычислений или использования результатов расчетов, имеющих самостоятельное значение.

Прежде всего, надо иметь в виду необходимость получения достоверной исходной информации для выполнения тех или иных расчетов или для автоматической оптимизации режима.

Это касается основных технико-экономических характеристик технологического оборудования и различных, изменяющихся во времени, величин, характеризующих протекание технологического процесса, например, давления и температуры пара, расхода воды, мощности, напряжения и др. Эти переменные величины принято называть параметрами процесса (в отличие от математического смысла этого слова), хотя, конечно, было бы правильнее называть просто переменными.

При расчете долгосрочных и краткосрочных режимов (год, квартал, месяц, неделя, сутки) необходимо иметь представительные данные технико-экономических показателей. В настоящее время в качестве исходных данных используются нормативные характеристики, которые имеют значительные погрешности.

Для оптимизации режимов в темпе процесса, что является основой рыночных отношений, необходимо получение фактических данных, полученных с приборов. Решение задач оптимизации затрудняется отсутствием или недостаточной пригодностью приборов для измерения расхода твердого топлива, анализа продуктов сгорания природного газа, определения содержания углерода в летучей золе, экспресс-анализа топлива (быстрого определения его теплотворной способности, зольности и влажности).

Опять же, одной из основных задач является выбор наивыгоднейшего состава работающего оборудования. Речь идет о сопоставлении возможного снижения затрат при пуске дополнительных агрегатов с перерасходом средств на пуск и на холостой ход вновь пускаемых агрегатов с учетом дополнительного износа их в нестационарных режимах. Для решения этой задачи необходимо провести ряд расчетов для различных сочетаний работающих агрегатов и разных участков суточного или недельного графика нагрузки. Нагрузки отдельных агрегатов должны быть заданы в результате расчета наивыгоднейшего режима работы станции, заключающегося в оптимальном распределении заданной нагрузки между агрегатами.

Следующей задачей является оптимизация режима работы каждого отдельно взятого агрегата. Под этим подразумевается непрерывное регулирование производственного процесса таким образом, чтобы при заданной нагрузке КПД был максимальным.

Однако, после анализа ситуации в нашей стране, а именно в связи с вводом в эксплуатацию АЭС, можно сделать вывод, что оптимальные режимы работы энергоблока должны определяться в зависимости от общих графиков потребления электроэнергии в системах, структуры их генерирующих мощностей и технических возможностей регулирования электрической мощности каждого имеющегося агрегата [4].

На графиках электрических нагрузок энергосистемы обычно выделены четыре характерных зоны, отличающиеся своей плотностью: базовая, полубазовая, полупиковая, пиковая. В каждой зоне графика используются определенные типы энергоустановок, что позволяет достичь наименьшего расхода топлива в энергосистеме.

Выравнивание графика электрических нагрузок можно осуществить с помощью гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС). ГАЭС, в отличие от других станций, включая ТЭС и ГЭС, обладают двойным регулирующим эффектом. Так, практически одна и та же установленная мощность (в режиме генерации и в насосном режиме) в одном случае используется для подъема ночного провала суточных графиков нагрузки (при работе в режиме зарядки станции), а в другом – для покрытия пиков (в режиме разрядки). Поэтому такие станции являются одним из самых эффективных инструментов выравнивания и покрытия суточных графиков нагрузки в энергосистемах с преобладанием крупных генерирующих мощностей ТЭС и АЭС. Их КПД составляет 72–75 %, и для зарядки станций используется ночная электроэнергия, которая, как правило, в 3–6 раз дешевле пиковой.

Таким образом, подводя итог, можно сказать, что при внедрении работа АЭС будет планироваться в базовой части графика из-за практической невозможности и экономической нецелесообразности снижения их нагрузки. А потому решать задачу оптимизации будут при помощи станций, способных легко и непринужденно покрывать пики нагрузок.

### Литература

1. Кудряшов, А.Н. Повышение эффективности производства и использования энергии: материалы Всероссийской научно-практической конф. с междунар. уч. (Техническое перевооружение ТЭЦ с турбинами типа «Р» с целью повышения

эффективности работы) / А.Н.Кудряшов, С.Н.Сушко, А.В.Чалбышев // Иркутск: Изд. ИрГТУ. - 2011. -С.189-194.

2. Оптимизация режимов энергосистем: Конспект лекций для студентов электроэнергетических специальностей/М.И. Фурсанов.

3. Клер, А.М. Оптимизация режимов работы энергоисточников на органическом топливе с учетом конъюнктуры оптового рынка электроэнергии и мощности / А.М.Клер, А.С.Максимов, А.В.Чалбышев // Вестник Воронежского государственного технического университета. Энергетика. - 2013. - №1. -С.73-79.

4. Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС ПРИ ПОКРЫТИИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТИ ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9-3. – С. 474-479.