

сельхозтехнике и пр.) будет определяться напряженностью электрического поля E и поверхностью тела S .

$$\text{Тогда } I = \omega Q = KES,$$

где K — эмпирический коэффициент, найденный путем расчетов I и E и экспериментально проверенный для различных марок автомобилей под ВЛ 330 кВ. Результаты многочисленных расчетов и измерений показали, что для разного рода автомобилей и цилиндров различных размеров под ВЛ различного класса напряжения значение K изменяется в пределах 0,003 — 0,0036 и для ориентировочных оценок может быть принят равным 0,00322 мА/кВ · м.

Резюме. Зная напряженность электрического поля, которая всегда рассчитывается при проектировании ВЛ СВН, можно оценить величину тока, стекающего на землю с того или иного механизма, находящегося в этом поле, и иметь представление об уровне электробезопасности.

Л и т е р а т у р а

1. Гончарик Е.П. Напряжения, индуцированные на транспорте в электрическом поле ВЛ. — "Электричество", 1974, № 5.

УДК 621.311.1

Л.П. Падалко, канд. техн. наук, В.Н. Нагорнов

О ПРИНЦИПАХ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

В связи с усиливающимся разуплотнением графиков электрической нагрузки энергосистем [1, 2] проблема выбора оптимального соотношения между базовыми и маневренными генерирующими источниками становится особо острой. Экономическая сторона проблемы объясняется различием стоимостных характеристик источников различного типа (удельных капиталовложений и удельных расходов топлива) [1]. Рассматривая в качестве пиковых источников газотурбинные установки (ГТУ), полупиковых — паротурбинные электростанции, оборудованные агрегатами с докритическими параметрами пара, и базовых — мощные КЭС, оборудованные агрегатами мощностью 300, 500, 800, 1200 мВт, и АЭС, для этих показателей можно записать соотношения

$$k_{\text{б}} > k_{\text{пп}} > k_{\text{п}} ; \quad b_{\text{б}} < b_{\text{пп}} < b_{\text{п}} ,$$

где $k_{\text{б}}$, $k_{\text{пп}}$, $k_{\text{п}}$ - удельные капитальные вложения в соответствующие источники; $b_{\text{б}}$, $b_{\text{пп}}$, $b_{\text{п}}$ - удельный расход топлива в источниках соответствующего типа.

Требования технического характера обуславливаются неравномерным режимом электропотребления, который предъявляет повышенные требования к маневренным свойствам оборудования: скорости набора и сброса нагрузки, глубине разгрузки.

В настоящее время энергосистемы недостаточно оборудованы маневренными энергоисточниками. Это приводит к тому, что мощное блочное оборудование работает в переменной части графика электрической нагрузки, из-за чего в свою очередь происходит повреждение оборудования вследствие частых остановок и пусков, а также снижение экономичности его работы [3]. Необходимо иметь в составе энергосистемы высокоманевренное оборудование, способное работать в полупиковой и пиковой зонах графика нагрузки.

В наиболее полной постановке задачи для покрытия пиковой мощности следовало бы предусмотреть, помимо газотурбинных установок, также пиковую мощность ТЭЦ. Последняя позволяет обеспечить не только частичное покрытие пиковой части графика нагрузки, но и прохождение базовыми электростанциями ночного провала нагрузки [4]. В данной статье приводится упрощенная постановка задачи - без учета ТЭЦ.

В качестве критерия оптимальности принимая условие минимума приведенных затрат, целевую функцию можно записать.

$$Z = p_{\text{б}} k_{\text{б}} x_{\text{б}} + p_{\text{пп}} k_{\text{пп}} x_{\text{пп}} + p_{\text{п}} k_{\text{п}} x_{\text{п}} + c_{\text{б}} b_{\text{б}} x_{\text{б}} h_{\text{б}} + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} x_{\text{пп}} h_{\text{пп}} + c_{\text{п}} b_{\text{п}} x_{\text{п}} h_{\text{п}} ,$$

где $x_{\text{б}}$, $x_{\text{пп}}$, $x_{\text{п}}$ - установленные мощности, соответственно базовых, полупиковых и пиковых электростанций; $k_{\text{б}}$, $k_{\text{пп}}$, $k_{\text{п}}$ - удельные капитальные вложения соответственно в базовые, полупиковые и пиковые электростанции; $c_{\text{б}}$, $c_{\text{пп}}$, $c_{\text{п}}$ - замыкающие затраты на топливо, используемое на базовых, полупиковых и пиковых источниках; $b_{\text{б}}$, $b_{\text{пп}}$, $b_{\text{п}}$ - удельные расходы топлива у соответствующих энергоисточников; $h_{\text{б}}$, $h_{\text{пп}}$, $h_{\text{п}}$ - числа часов использования установленной мощности соответствующих источников; p - коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию, обслуживание, а также нормативный коэффициент эффективности.

В составе ограничений задачи следует учесть:
условие баланса мощностей

$$x_{\text{б}} + x_{\text{пп}} + x_{\text{п}} = P$$

и условие баланса энергии

$$x_{\text{б}} h_{\text{б}} + x_{\text{пп}} h_{\text{пп}} + x_{\text{п}} h_{\text{п}} = \Theta.$$

Принципиальные основы решения сформулированной задачи поясним для случая, когда годовой режим электропотребления может быть представлен с помощью одного характерного суточного графика электрической нагрузки. Схема решения задачи состоит из двух этапов. На первом этапе рассматривается задача отыскания оптимального соотношения между базовыми и полупиковыми источниками, а на втором – между полупиковыми и пиковыми источниками.

На первом этапе предполагается, что график нагрузки будет покрываться только за счет сооружения генерирующих мощностей двух типов: базовых и полупиковых. Для решения задачи вводятся функции $h_{\text{б}} = h_{\text{б}}(x_{\text{б}})$ и $h_{\text{пп}} = h_{\text{пп}}(x_{\text{пп}})$, представляющие собой зависимость числа часов использования установленной мощности соответствующих источников от их мощности. Эти зависимости нетрудно получить, зная характерный суточный график электрической нагрузки и режим экономического использования генерирующей мощности соответствующего типа. Так как за основу задачи принимаются только соображения экономического характера, то при заданных соотношениях мощностей различных типов базовая мощность всегда будет использоваться на максимальную величину, в то время как полупиковая мощность будет покрывать оставшуюся часть графика электрической нагрузки.

На первом этапе задача формируется следующим образом:

$$\min \left\{ p_{\text{б}} k_{\text{б}} x_{\text{б}} + p_{\text{пп}} k_{\text{пп}} x_{\text{пп}} + c_{\text{б}} b_{\text{б}} x_{\text{б}} h_{\text{б}}(x_{\text{б}}) + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} x_{\text{пп}} h_{\text{пп}}(x_{\text{пп}}) \right\};$$

$$x_{\text{б}} + x_{\text{пп}} = P.$$

Ограничения по балансу энергии не записываются, так как введение функций $h_{\text{б}}(x_{\text{б}})$ и $h_{\text{пп}}(x_{\text{пп}})$ обеспечивает при заданных $x_{\text{б}}$ и $x_{\text{пп}}$ выработку требуемого количества энергии.

Составив функцию Лагранжа, возьмем производные по $x_{\text{б}}$ и $x_{\text{пп}}$ и, приравняв их к нулю, получим систему уравнений

$$p_{\text{б}} k_{\text{б}} + c_{\text{б}} b_{\text{б}} \left(h_{\text{б}} + x_{\text{б}} \frac{dh_{\text{б}}}{dx_{\text{б}}} \right) + \lambda = 0;$$

$$p_{\text{пп}} k_{\text{пп}} + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} \left(h_{\text{пп}} + x_{\text{пп}} \frac{dh_{\text{пп}}}{dx_{\text{пп}}} \right) + \lambda = 0,$$

решение которой совместно с уравнениями баланса дает иско-
мые решения $x_{\text{б}}$ и $x_{\text{пп}}$.

На втором этапе, зафиксировав полученное значение базовой мощности, ставим задачу

$$\min \left\{ p_{\text{пп}} k_{\text{пп}} x_{\text{пп}} + p_{\text{п}} k_{\text{п}} x_{\text{п}} + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} x_{\text{пп}} h_{\text{пп}}(x_{\text{пп}}) + c_{\text{п}} b_{\text{п}} x_{\text{п}} h_{\text{п}}(x_{\text{п}}) \right\};$$

$$x_{\text{пп}} + x_{\text{п}} = P',$$

где P' - та часть максимальной нагрузки, которая остается после вписывания в график базовой нагрузки ($P' = P - x_{\text{б}}$).

Решение данной задачи осуществляется аналогично решению предыдущей задачи.

Для учета реального годового режима энергопотребления системы (т.е. реального участия электростанций различных типов в покрытии графиков нагрузки в годовом разрезе) следует представить модель электропотребления в виде не одного, а нескольких характерных суточных графиков нагрузки. Такими могут быть графики рабочих, субботних и воскресных суток, взятые по каждому месяцу года. Но в этом случае модель была бы слишком подробной для рассматриваемой задачи. Считается целесообразным ее некоторое упрощение, например представление годового режима энергопотребления суточными графиками зимнего и летнего сезонов. Если каждый из сезонов представляется одним характерным суточным графиком, то математическая модель выбора структуры генерирующих мощностей может быть записана так:

$$\min Z = p_{\text{б}} k_{\text{б}} x_{\text{б}} + p_{\text{пп}} k_{\text{пп}} x_{\text{пп}} + p_{\text{п}} k_{\text{п}} x_{\text{п}} + c_{\text{б}} b_{\text{б}} x_{\text{б}} h_{\text{б}} + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} x_{\text{пп}} h_{\text{пп}} +$$

$$+ c_{\text{п}} b_{\text{п}} x_{\text{п}} h_{\text{п}} + c_{\text{б}} b_{\text{б}} x'_{\text{б}} h'_{\text{б}} + c_{\text{пп}} b_{\text{пп}} x'_{\text{пп}} h'_{\text{пп}} + c_{\text{п}} b_{\text{п}} x'_{\text{п}} h'_{\text{п}};$$

$$x_{\text{б}} + x_{\text{пп}} + x_{\text{п}} = P_{\text{з}}; \quad x'_{\text{б}} + x'_{\text{пп}} + x'_{\text{п}} = P_{\text{л}};$$

$$x_{\text{б}} h_{\text{б}} + x_{\text{пп}} h_{\text{пп}} + x_{\text{п}} h_{\text{п}} = \mathcal{E}_{\text{з}}; \quad x'_{\text{б}} h'_{\text{б}} + x'_{\text{пп}} h'_{\text{пп}} + x'_{\text{п}} h'_{\text{п}} = \mathcal{E}_{\text{л}};$$

$$x'_{\text{б}} \leq x_{\text{б}}; \quad x'_{\text{пп}} \leq x_{\text{пп}}; \quad x'_{\text{п}} \leq x_{\text{п}}.$$

Здесь $P_{\text{з}}$, $P_{\text{л}}$ - максимум суточных графиков соответственно зимнего и летнего сезонов; $\mathcal{E}_{\text{з}}$, $\mathcal{E}_{\text{л}}$ - потребное количество энергии соответственно в зимнем и летнем периодах; $x'_{\text{б}}$, $x'_{\text{пп}}$, $x'_{\text{п}}$ - рабочие мощности соответственно базовых, полупиковых и пиковых источников в летний период.

Данная задача, как и предыдущая, должна решаться с помощью двухэтапного метода.

В статье задача рассматривалась в статической постановке. Учитывая наблюдаемую в последние годы тенденцию разуплотнения суточного графика нагрузки, предложенная модель может быть использована для решения рассматриваемой задачи в наиболее общей, динамической постановке. При этом частный оптимум, полученный для каждого года, будет соответствовать оптимальному решению для всего расчетного периода оптимизации.

Расчеты, выполненные по изложенной методике для одной из энергосистем на уровень нагрузки 1985 г., показали, что соотношение между базовыми, полупиковыми и пиковыми мощностями должно быть соответственно 74,2, 16,1 и 9,7%.

Резюме. Изложенный в статье подход позволяет экономически обоснованно подойти к выбору оптимального соотношения между базовыми и маневренными генерирующими источниками в энергосистеме.

Л и т е р а т у р а

1. Мелентьев Л.А., Лаврененко К.Д. О выборе эффективного оборудования для работы в переменной части графика нагрузки электроэнергетических систем. - "Теплоэнергетика", 1971, № 3.
2. Рокотян С.С., Волькенау И.М., Волкова Е.А. Требования энергосистем к маневренности оборудования. - "Теплоэнергетика", 1971, № 3.
3. Озарной И.Н. Формирование структуры генерирующих мощностей. - "Электрические станции", 1972, № 6.
4. Гельтман А.Э., Шапиро Н.И. Анализ эффективности использования ТЭЦ для покрытия пиковых электрических нагрузок. - "Теплоэнергетика", 1968, № 2.

УДК 621.311.16.014

В.В. Петров, канд. техн. наук, Р.И. Белоусова

РАСЧЕТ КОРРЕКЦИИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Режим энергосистемы может отклоняться от предварительного рассчитанного суточного графика нагрузки. При этом могут нарушаться ограничения по режиму работы оборудования и ка-