

УДК 621.039.4

## ВЛИЯНИЕ НАЛИЧИЯ ПГУ НА ПРОЦЕСС ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ТЭЦ СО СЛОЖНЫМ СОСТАВОМ ОБОРУДОВАНИЯ

Э.К. АРАКЕЛЯН, А.В. АНДРЮШИН, С.Ю. БУРЦЕВ, К.А. АНДРЮШИН

Научно-исследовательский университет «Московский энергетический институт»  
Красноказарменная, 14, Москва, 111250, Россия

Поступила в редакцию 4 февраля 2015

Задача оптимального управления режимов работы электростанций и оборудования – традиционно одна из сложных научных и практических задач, обусловленная неопределенностью исходной информации, многовариантностью, трудностью учета реального технического состояния оборудования, а также другими факторами [1, 3–5]. В настоящее время, в связи с вводом новых правил функционирования рынка электроэнергии и мощности, особенно важной стала задача управления режимами работы ТЭЦ со сложным составом оборудования, особенно при наличии на ТЭЦ, помимо блочных, не блочных агрегатов и пиковых водогрейных котлов, а также парогазовых установок (ПГУ), обладающих рядом режимных особенностей, учет которых необходим при решении поставленной задачи. Режимные особенности ПГУ следующие [2]:

– зависимость максимальной и минимальной мощностей газотурбинной установки (ГТУ) и ПГУ в целом и их энергетических показателей от климатических условий района расположения станции и, в частности, от температуры наружного воздуха;

– уровень снижения экономичности работы ПГУ на пониженных нагрузках также зависит от температуры наружного воздуха, что обусловлено двумя факторами – уменьшением мощности ГТУ и ПГУ в целом при росте температуры наружного воздуха и снижением темпа уменьшения расхода топлива по отношению к темпу снижения мощности ГТУ.

– на пониженных нагрузках в общей мощности ПГУ снижается доля мощности ГТУ с соответствующим увеличением доли мощности паровой турбины. Так, при максимальных нагрузках ПГУ-450 доля мощности ГТУ составляет 63,0–68,8 % мощности ПГУ, а при минимальных нагрузках она снижается до 57,6–61,1 %. Это особенно важно при работе ПГУ в теплофикационном режиме, так как при разгрузке ПГУ по электрической мощности паровая турбина может обеспечить тепловую нагрузку на достаточно высоком уровне.

– принято считать, что при работе ПГУ типа ПГУ-450 (в составе оборудования 2ГТ+2КУ+1ПТ) на пониженных нагрузках суммарную нагрузку ГТУ следует распределять равномерно между двумя ГТ. Однако при нагрузке ПГУ ниже определенного значения оптимальное распределение нагрузки ГТУ между двумя ГТ может дать положительный эффект, т.е. суммарный расход топлива на ГТУ снизится при постоянной мощности ГТУ.

– одним из преимуществ ПГУ по отношению к традиционным энергоблокам ТЭС является ее высокая маневренность, обусловленная малой инерционностью процессов набора/сброса электрической нагрузки на газовых турбинах. Это преимущество ПГУ при прочих равных условиях может быть использовано для обеспечения высоких скоростей разгрузки/нагрузки диспетчерских графиков нагрузки.

В условиях работы ТЭЦ на рынке электроэнергии и мощности наиболее значим критерий экономичности. Поэтому в качестве критерия используется величина топливных затрат (при одинаковой стоимости топлива агрегатов станции – суммарный расход топлива).

$$S_{m\Sigma} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ПГУ}}} [B_{\text{ПГУ}i}(N_{\text{ПГУ}i}, Q_{\text{ПГУ}i}) \cdot C_{i \text{топл}}] + \sum_{j=1}^{n_{\text{ПТ}}} [B_{\text{ПТ}j}(N_{\text{ПТ}j}, Q_{\text{ПТ}j}) \cdot C_{j \text{топл}}] + \sum_{k=1}^{n_{\text{ПВК}}} [B_{\text{ПВК}k}(Q_{\text{ПВК}k}) \cdot C_{k \text{топл}}] \Rightarrow \min_{N, Q}$$

где  $B_{\text{ПГУ}i}(N_{\text{ПГУ}i}, Q_{\text{ПГУ}i})$  – расход топлива  $i$ -го блока ПГУ в зависимости от его электрической и тепловой нагрузки;  $B_{\text{ПТ}i}(N_{\text{ПТ}i}, Q_{\text{ПТ}i})$  – расход топлива  $i$ -го паротурбинного блока (ПТ),  $B_{\text{ПВК}i}(Q_{\text{ПВК}i})$  – расход топлива  $i$ -го пикового водогрейного котла (ПВК);  $C_{i \text{топл}}$ ,  $C_{j \text{топл}}$ ,  $C_{k \text{топл}}$  – стоимость топлива  $i$ -ой ПГУ,  $j$ -го блока ПТ,  $k$ -го ПВК;  $n_{\text{ПГУ}}$ ,  $n_{\text{ПТ}}$ ,  $n_{\text{ПВК}}$  – количество ПГУ, ПТ, ПВК на ТЭЦ соответственно.

При этом действуют балансовые уравнения и ограничения, накладываемые на оптимизационную задачу: для каждой группы точек – поставки на суммарную электрическую нагрузку; для каждой тепловой ветви – на суммарную тепловую нагрузку; для ПГУ при работе с одной и двумя газовыми турбинами – на диапазоны регулирования электрической и тепловой нагрузок блока; для блоков ПТ – на диапазоны регулирования электрической и тепловой нагрузок; для ПВК – на диапазон регулирования тепловой нагрузки. В силу нелинейных зависимостей расходных характеристик ПГУ и наличия разрывов в них, целевая функция является многоэкстремальной, поэтому в основе методики оптимизации необходимо использовать метод, который эффективен при поиске глобального экстремума.

За основу решения поставленной задачи принимается методика, изложенная в [4, 5]. Суть ее в том, что оборудование ТЭЦ со сложным составом разбивается на группы, в пределах которых оно разделено по групповым точкам поставки (ГТП) электроэнергии и тепловым ветвям поставки тепла внешним потребителям. Каждая группа представляется как «эквивалентный» блок (ЭБ) со своей оптимизированной энергетической характеристикой в виде функциональной зависимости расхода топлива  $B_{\text{гп}i}^{**}$  от тепловой и электрической нагрузки ЭБ. Она получается в результате предварительной оптимизации внутри «эквивалентной» группы во всем диапазоне изменения тепловой и электрической нагрузок с учетом ограничений, накладываемых на оптимизируемые эквивалентные тепловые и электрические нагрузки. Задача решается в два этапа. На первом этапе осуществляется распределение заданных по всем ГТП и тепловым ветвям электрической и тепловой нагрузок между «эквивалентными» энергоблоками с использованием их обобщенных характеристик. Затем, с учетом полученных результатов ранее составленных «эквивалентных» характеристик, определяются оптимальные значения нагрузок для каждого агрегата ТЭЦ.

Оптимальное распределение нагрузок на станции во времени, как правило, необходимо проводить в два этапа: на этапе выбора и согласования с системным оператором энергосистемы состава генерирующего оборудования; в оперативном режиме, при генерации тепла и электроэнергии в соответствии с утвержденным диспетчерским графиком их отпуска. На первом этапе задача решается в условиях неопределенности и недостатка информации, поэтому она имеет приближенный характер и учитывать при этом все особенности ПГУ нет необходимости. На этом этапе следует учесть только влияние температуры наружного воздуха на декларируемые станцией значения верхней и нижней границ регулировочного диапазона по электрической нагрузке при подготовке предложений для участия на рынке электроэнергии и мощности. Особенности ПГУ в полном объеме необходимо учесть при проведении оптимального распределения нагрузок в оперативном режиме за каждый час оперативных суток при опережающем построении оптимизированных энергетических характеристик «эквивалентных» групп.

### Список литературы

1. Цыгулев Д.Ю., Аракелян Э.К. // Теплоэнергетика. 2008. № 3. С. 67–73.
2. Аракелян Э.К., Хуршудян С.Р. // Новое в российской электроэнергетике. 2013. № 7. С. 5–14.
3. Болонов В.О., Аракелян Э.К. // Теплоэнергетика. 2007. № 11. С. 69–77.
4. Аракелян Э.К., Андрюшин А.В., Зройчиков Н.А. и др. // Теплоэнергетика. 2012. № 10. С. 12–18.
5. Андрюшин А.В., Макарьчян В.А., Черняев А.Н. // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. № 4. С. 31–35.