УДК. 621.165+621.438

С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
И.Н. БАРАНОВСКИЙ главный технолог (РУП «Белнипиэнергопром»)
г. Минск

ОСОБЕННОСТИ УЧАСТИЯ ПГУ В РЕГУЛИРОВАНИИ ЧАСТОТЫ И МОЩНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

В последние десятилетия в энергетике, как России, так и Беларуси широкое распространение получают бинарные парогазовые установки (ПГУ) с котлами-утилизаторами.

Утилизационные ПГУ (УПГУ) обладают высокой тепловой экономичностью, поэтому их предпочтительно использовать в базовом режиме. Однако вследствие высокой доли ТЭЦ в структуре генерирующих мощностей Беларуси (около половины в настоящее время) и с учетом предстоящего ввода АЭС с двумя мощными энергоблоками, предназначенными для преимущественно базовой генерации, а также планируемым выводом из эксплуатации действующих паротурбинных конденсационных блоков, УПГУ вынужденно будут эксплуатироваться в переменной части графика электрической нагрузки и принимать активное участие в регулировании частоты энергосистемы.

Отметим, что суммарная мощность блоков Белорусской АЭС составит около трети прогнозной потребности энергосистемы в пики потребления и около половины – в часы его спада.

Указанное повышает требования к показателям маневренности УПГУ, основные их которых:

– регулировочный диапазон; экономичность на частичных нагрузках;

– скорость изменения нагрузки, а также приемистость – способность к быстрому изменению нагрузки и участию в первичном и вторичном регулировании частоты в системе;

– пусковые характеристики.

При характерных значениях коэффициента неравномерности суточного графика энергосистемы $k_{нер}$ = 0,65...0,75, соответственно системного коэффициента регулирования $k_{рег} = 1 - k_{нер}$ = 0,25…0,35, привлечение к регулированию только части установленного оборудования, составляющей долю $\alpha_{рег}$ от установленной мощности энергосистемы, потребует увеличения регулировочного диапазона оборудования, работающего в переменной части графика в $1/\alpha_{рег}$ раз.

Не смотря на то, что энергетические газотурбинные установки (ГТУ) способны устойчиво работать с любыми нагрузками от холостого хода до номинальной $N_{ном}$ при заданных внешних условиях, целесообразные режимы их эксплуатации ограничиваются допустимыми снижением

экономичности на частичных нагрузках и существенным повышением выбросов оксидов азота и углерода при переходе от малоэмиссионного режима предварительного смешения к режиму диффузионного горения, что обеспечивается при нагрузках ГТУ не ниже ½ Нижняя граница регулировочного диапазона УПГУ ограничивается также условиями надежной работы ее паровой турбины (ПТ).

При определении регулировочного диапазона нагрузок ПГУ помимо особенностей ее технологической схемы необходимо учитывать существенную зависимость показателей работы ГТУ, а следовательно ПТ и УПГУ в целом, от температуры наружного воздуха $t_{нв}$. Так, например, в летний период располагаемая мощность ГТУ (и соответственно УПГУ) изменяется в противофазе с суточным графиком электрической нагрузки: днем, когда спрос на генерацию возрастает, она снижается, а ночью, при уменьшении спроса на генерацию, наоборот, возрастает.

В настоящее время технологический минимум нагрузки УПГУ различного класса мощности в зависимости от $t_{нв}$ составляет $0{,}55–0{,}65N_{ном}$ [1, 2]. Актуальным является углубление разгрузки УПГУ, по крайней мере до уровня, при котором сохраняется достаточно высокий их КПД, например более 40%.

Расчёты режимов глубокой разгрузки и прямые испытания, проведённые на ТЭЦ-27 Мосэнерго [3], показали возможность разгружения дубль-блока ПГУ-450Т с двумя ГТЭ-160 ниже $0{,}5N_{ном}$ и выявили резервы для работы с ещё меньшими нагрузками вплоть до $0{,}4N_{ном}$, реализация которых, однако, требует дополнительных работ и согласований.

Так, в [3] исследуется снижение величины технического минимума УПГУ путём более глубокого, чем существующее, регулирования расхода воздуха с перезакрытием входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора ГТУ; использования на пониженных нагрузках штатной системы антиобледенения для перепуска сжатого в компрессоре воздуха на его вход для сохранения приемлемых условий работы камеры сгорания и температур газов в ГТУ и пара в паровом контуре.

В [4, 5] исследуется возможность дополнительного снижения мощности УПГУ разгружением паровой турбины путем сброса части пара высокого давления в линию пара низкого давления и перевода части ступеней высокого давления турбины в малопаровой режим.

Расширить регулировочный диапазон ПГУ в сторону увеличения нагрузки в летнее время возможно за счет впрыска воды в проточную часть компрессора и организации «влажного» сжатия, ввода воды и пара в газовый тракт ГТУ [3], а также дожигания топлива перед котлом-утилизатором для повышения паропроизводительности и мощности парового контура [2].

Для сохранения приемлемой влажности пара в последних ступенях

паровой турбины целесообразна эксплуатация парового контура при скользящем начальном давлении (СНД).

Эксплуатация УПГУ с регулированием их нагрузки за счет воздействия на органы управления ГТУ и работы ПТ как ведомого звена в режиме скользящего давления с полностью открытыми регулирующими клапанами высокого давления (РК ВД) более экономична. К тому же при использовании СНД и регулировании мощности ГТУ за счет прикрытия входных направляющих аппаратов компрессоров (ВНА и ПНА) сохраняется неизменной начальная температура пара и стабильное температурное состояние оборудования: паровой турбины, котла-утилизатора и паропроводов, поэтому возможна максимальная скорость разгружения/нагружения турбоустановки (около 6% $N_{ном}$/мин).

Однако такая программа регулирования мощности УПГУ не позволяет им участвовать в оказании системных услуг по нормированному первичному (НПРЧ) и автоматическому вторичному регулированию частоты и активной мощности (АВРЧМ) в Российской энергосистеме, где принят стандарт Системного оператора [6], определяющий требования к качеству указанных видов регулирования частоты и мощности.

Скорость изменения сигнала задания по мощности ГТУ ограничена и определяется быстродействием их системы регулирования, входных направляющих аппаратов (ВНА и ПНА), антипомпажных клапанов и запасом устойчивости компрессора ГТУ (отметим, что для поддержания температуры газов на выходе ГТУ расходы топлива и воздуха должны изменяться синхронно). Изменение мощности ПТ вслед за изменением мощности ГТУ происходит со значительным запаздыванием (на десятки секунд). Указанное ограничивает приемистость УПГУ.

В то же время, паровая турбина может быть эффективно привлечена к увеличению темпа изменения мощности энергоблока УПГУ, причем не только в сторону уменьшения, но и в сторону ее увеличения благодаря аккумулирующей способности котла-утилизатора. Для этого необходимо одновременное воздействие на задатчики мощности ГТУ и на РК ВД паровой турбины, то есть применение комбинированной программы регулирования начального давления. На исходном режиме необходимо выбрать рабочую точку открытия РК ВД для эффективного привлечения ПТ к участию в первичном регулировании частоты сети.

Модельные исследования [7] и натурные испытания [8] показывают, что за счет временного перерегулирования РК ВД паровой турбины в начале переходного процесса удается выполнить требования стандарта [6], и, начиная с 2013 года, российские ПГУ начали оказывать системные услуги по нормированному первичному регулированию частоты.

Как видно, УПГУ характеризуются достаточно высокими маневренными характеристиками, которые могут быть дополнительно повышены за счет некоторого изменения тепловой схемы, режимов работы

и параметров регулирования с целью эффективной эксплуатации этих современных, высокоэкономичных энергоустановок на переменных нагрузках.

Список литературы:

1. Радин, Ю.А. Освоение первых отечественных бинарных парогазовых установок // Теплоэнергетика. – 2006. – № 7. – С. 4 – 13.

2. Мошкарин, А. В. О влиянии характеристик газовых турбин на показатели работы мощных парогазовых блоков в переменных режимах / А.В. Мошкарин, Ю. В. Мельников // Энергосбережение и водоподготовка. – №4. – 2007. – С. 32 – 35.

3. Ольховский, Г.Г. Расширение регулировочного диапазона парогазовых установок ПГУ-450 / Г.Г. Ольховский, Ю.А. Радин, О.Н. Макаров, А.С. Осыка, В.П. Трушечкин // Электрические станции. – 2015. – № 3. – С. 2– 9.

4. Хуршудян, С.Р. Оптимизация режимов ПГУ при участии ее в регулировании мощности и частоты в энергосистеме (на примере ПГУ-450): дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / С.Р. Хуршудян; Московский энергетический институт (технический университет)]. – Москва, 2014. – 147 с.

5. Сахаров, К.В. Выбор оптимальных режимов эксплуатации энергоблоков ПГУ при участии их в регулировании мощности энергосистемы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / К.В. Сахаров; Московский энергетический институт (технический университет)]. – Москва, 2013. – 16 с.

6. СТО 59012820.27.100.004-2012. Нормы участия парогазовых установок в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности.

7. Давыдов, Н.И. Модельные исследования возможности участия ПГУ в регулировании частоты и перетоков мощности в ЕЭС России / Н.И. Давыдов, Н.В. Зорченко, А.В. Давыдов, Ю.А. Радин // Теплоэнергетика. – 2009. – № 10. – С. 11 – 16.

8. Черномзав, И. З. Участие ПГУ-325 в первичном регулировании частоты / И.З. Черномзав, А.Д. Меламед, Р.В. Мухаррямов // Теплоэнергетика. – 2013 . – N 10 . – С. 50 – 55.