

Е.В. ИВАШКО, студентка гр. 10604112 (БНТУ)
Научный руководитель С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
г. Минск

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА ЧАСТИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

В процессе эксплуатации современных утилизационных парогазовых установок (ПГУ) выявились ограничения по их работе на частичных нагрузках, связанные со снижением экономичности, ухудшением экологических характеристик газотурбинных установок (ГТУ), а также рядом других факторов. Это ограничивает эксплуатационную гибкость и сужает регулировочный диапазон ПГУ.

Например, по данным [1] при условии поддержания минимальной концентрации вредных выбросов (оксидов азота NO_x) в уходящих газах ПГУ-450 Северо-Западной ТЭЦ нагрузка дубль-блока с ГТУ V94.2 (ГТЭ-160, *Siemens*—ЛМЗ) должна составлять не менее 61..63% при работе с полным составом оборудования (2ГТУ + 2КУ + ПТ) и 30..32% — с неполным (ГТУ + КУ + ПТ).

Для повышения эффективности их использования в составе ПГУ современные одновальные энергетические ГТУ имеют поворотные лопатки входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора и направляющего аппарата нескольких первых его ступеней (ПНА). Частичное прикрытие ВНА и ПНА позволяет уменьшать расход воздуха через компрессор в камеру сгорания ГТУ и поддерживать температуру газов за газовой турбиной и, соответственно, на входе в котел-утилизатор в некотором диапазоне частичных нагрузок неизменной.

После закрытия ВНА и ПНА дальнейшее снижение нагрузки ГТУ сопровождается снижением температуры отработавших газов, что снижает надежность работы паровой турбины в составе ПГУ вследствие понижения температуры пара, генерируемого в контуре высокого давления котла-утилизатора, и соответствующего увеличения конечной влажности пара и эрозионного износа лопаток турбины.

С учетом ограничений по минимально допустимой температуре пара мощность ПГУ-450 должна составлять не менее 63% при работе в составе дубль-блока и 32% — для полу-блока [1].

По данным [2] ПГУ-450 на ТЭЦ ОАО «Мосэнерго» разгружаются в ночное время до технологического минимума, составляющего в настоящее время около 250 МВт.

Рассмотрим инновационные решения компании *Siemens* [3] по улучшению эксплуатационных характеристик ГТУ типа *SGT5-4000F* на

режимах частичной нагрузки, позволяющие снижать технический минимум нагрузки самих ГТУ и, соответственно, ПГУ класса мощности 400 МВт (моноблок) и 800 МВт (дубль-блок) на их основе.

На рисунке 1 показаны этапы последних полутора десятка лет совершенствования системы сжигания топлива, позволяющих снижать выбросы NO_x .

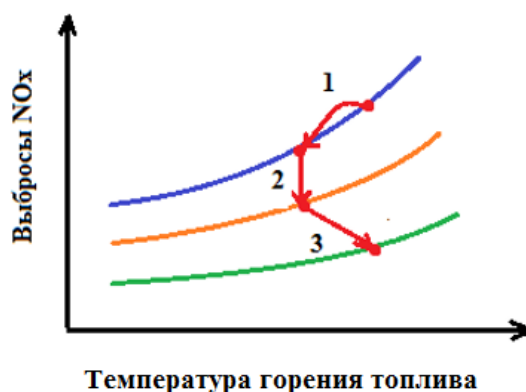


Рисунок 1. Этапы снижения выбросов NO_x

На первом этапе выбросы NO_x были уменьшены за счет снижения количества охлаждающего воздуха в газовой турбине и температуры пламени в камере сгорания; на втором – за счет перехода от диффузионных горелок к горелкам, работающим в режиме предварительного смешения (без изменения температуры горения) и, наконец, на третьем – за счет оптимизации области смешения основного завихрителя и повышения стабильности горения при одновременном увеличении температуры и мощности [3].

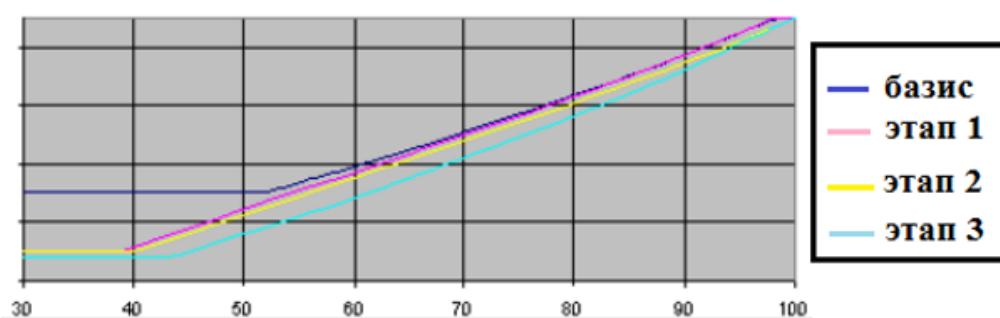
При работе ГТУ на частичной нагрузке – вплоть до 40% номинальной – величина выбросов NO_x значительно понижается, особенно при работе на предварительно подогретом топливном газе.

Выбросы CO при номинальной нагрузке ГТУ, как правило, незначительны, но с ее уменьшением они экспоненциально возрастают. Это связано в основном со снижением температуры горения топлива, которую поэтому необходимо поддерживать по возможности высокой. Значит, любое снижение массового расхода воздуха через компрессор в камеру сгорания, при сохранении постоянной нагрузки ГТУ увеличит температуру пламени и, как следствие, снизит выбросы CO .

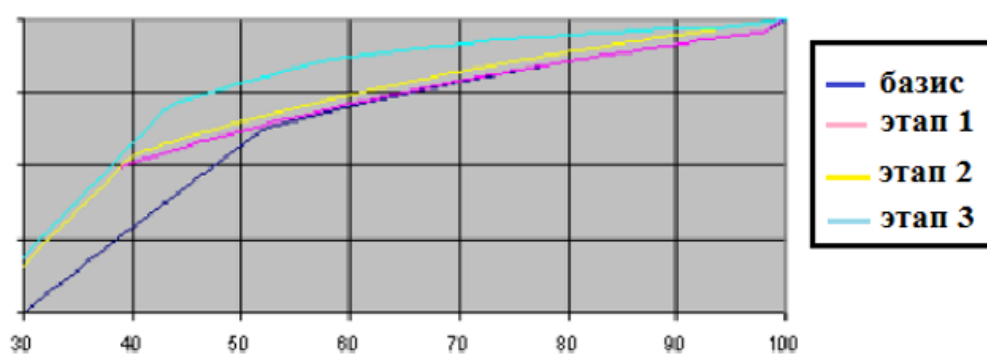
На рисунке 2 показаны основные этапы разработок компании *Siemens* по уменьшению выбросов CO для *SGT5-4000F* [3].

На этапе 1 совершенствование компрессора позволило снизить минимальный массовый расход воздуха через него в камеру сгорания ГТУ;

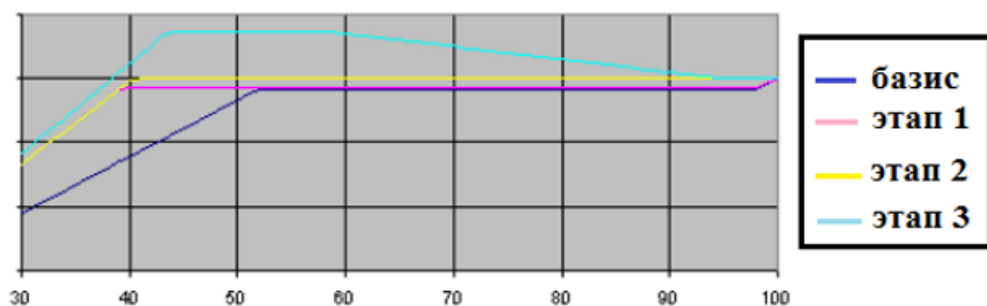
Массовый расход воздуха на входе в компрессор



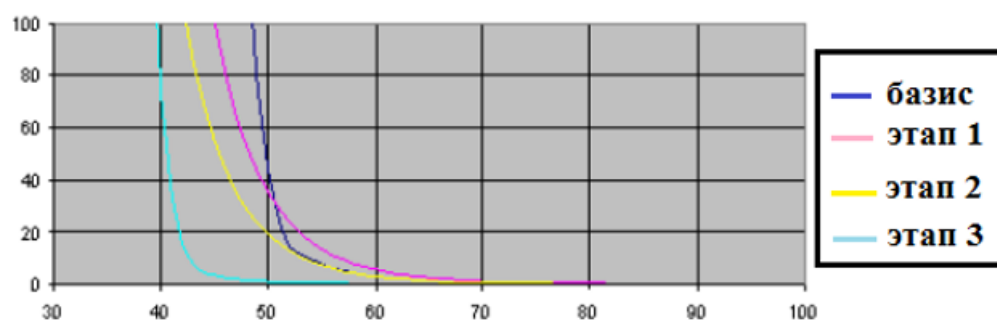
Температура газов на входе в турбину



Температура газов на выходе из турбины



Выбросы CO



Относительная нагрузка ГТУ, %

Рисунок 2. Основные этапы разработок по уменьшению выбросов CO

на этапе 2 использование модифицированной конструкции горелок позволило повысить уровень температур на входе и выходе газовой турбины в диапазоне изменения нагрузки за счет ВНА и ПНА; на этапе 3 при использовании усовершенствованной ранее системы сгорания топлива дополнительно снижены выбросы CO и повышена эффективность ГТУ при ее работе на частичной нагрузке.

Как видно, по сравнению с базовым вариантом расширен диапазон количественного регулирования нагрузки ГТУ (за счет ВНА и ПНА) и его нижняя граница снижена с примерно 52% до уровня 40..45% [3].

Это позволяет поддерживать постоянной (или даже несколько повышать) температуру газов на входе в котел-утилизатор, а значит и температуру генерируемого в нем пара для паровой турбины, в этом, более широком, диапазоне изменения нагрузок ГТУ и, соответственно, ПГУ.

Резкое ухудшение экологических показателей ГТУ (выбросов CO и NO_x) после усовершенствований происходит теперь при более глубокой разгрузке ГТУ – до 40..45% – против 55..60% для базового варианта.

В заключение отметим, что возможно и дальнейшее углубление разгрузки ГТУ, например, за счет включения противообледенительной системы и рециркуляции сжатого воздуха на вход компрессора, использования САР вторичного воздуха для максимального отбора воздуха на охлаждение турбины, подогрева воздуха на входе в компрессор – за счет чего снижается массовый расход воздуха к горелкам [3].

Дополнительно, для расширения регулировочного диапазона ПГУ в целом можно использовать и другие способы воздействия как на газотурбинную, так и на паротурбинную части установки [2].

Список литературы

1. Радин Ю.А. Освоение первых отечественных бинарных парогазовых установок // Теплоэнергетика. – 2006. - № 7. – С. 4 – 13.
2. Ольховский Г. Г. Расширение регулировочного диапазона парогазовых установок ПГУ-450 / Ольховский Г. Г., Радин Ю. А., Макаров О. Н., Осыка А.С., Трушечкин В. П. // Электрические станции. – 2015. - № 3. – С. 2 – 9.
3. *SGT5-4000F Gas Turbine and Combined Cycle Power Plant Evolution reflecting the changing Market Requirements* / Eberhard Deuker // Siemens AG, Energy Sector <http://www.indabook.org/d/Siemens-Gas-Turbine-SGT5-4000F-Siemens-Energy.pdf>