

**УДК 621.438**

С.А. КАЧАН, к. т. н., доцент (БНТУ)  
В.А. МОЧАЛОВ, студент гр. 30604116 (БНТУ)  
г. Минск

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ GT13E2**

В современной энергетике многих стран мира парогазовые технологии заняли немаловажное место. Это объясняется высокими экономическими и экологическими характеристиками парогазовых установок (ПГУ), выполненных на базе современных высокотемпературных газотурбинных установок (ГТУ). Совмещение в одной установке высокотемпературного газового и сравнительно низкотемпературного парового циклов позволяет повысить экономичность таких бинарных установок в полтора раза (в сравнении, например, с традиционными паротурбинными установками (ПТУ)).

На номинальном режиме ГТУ, являясь технологическим ядром ПГУ, обеспечивают высокие экологические показатели. При этом на режимах частичной нагрузки они резко ухудшаются, сужая регулировочный диапазон нагрузок ГТУ и, соответственно, ПГУ.

В современной энергетике к установкам, работающим на органическом топливе, повышаются требования, связанные с маневренностью. В Европе и во всём мире это связано с увеличением доли «зеленой» энергетики, генерация которой зависит от времени суток и климатических характеристик региона, вследствие чего трудно поддается регулировке. В Беларуси же такое положение дел связано с существенным изменением структуры генерирующих мощностей Республики. Это, в свою очередь, произошло вследствие ввода в эксплуатацию двух мощных блоков Белорусской атомной электростанции (АЭС), предназначенных для работы в базовой части суточного графика электрических нагрузок энергосистемы.

С учетом отмеченного планируются и реализуются мероприятия по улучшению маневренных характеристик парогазовых и паросиловых установок крупных тепловых электростанций Беларуси. Так, для снижения технического минимума ПГУ-230 МВт Минской ТЭЦ-3, введенной в эксплуатацию в 2009 году, в настоящее время производится модернизация горелок ее газотурбинной установки GT13E2 (Alstom).

Начиная с 2008 года, сотрудничество между Alstom и Vattenfall в области разработки и тестирования завершилось успешным завершением разработки двухтопливной горелки AEV [1]. Испытания в промышленной эксплуатации доказали надежность технологии и обоснованность ожидаемых эксплуатационных характеристик [2].

Оригинальные горелки EV обеспечивают приемлемые экологические показатели до нагрузки примерно в 60% от номинальной. Применение технологии горелок AEV для модернизации «AEV LPL» позволяет расширить эксплуата-

ционный диапазон ГТУ от базовой нагрузки приблизительно до 40% от номинальной с сохранением соответствия нормам выбросов (см. рис. 1 и табл. 1).

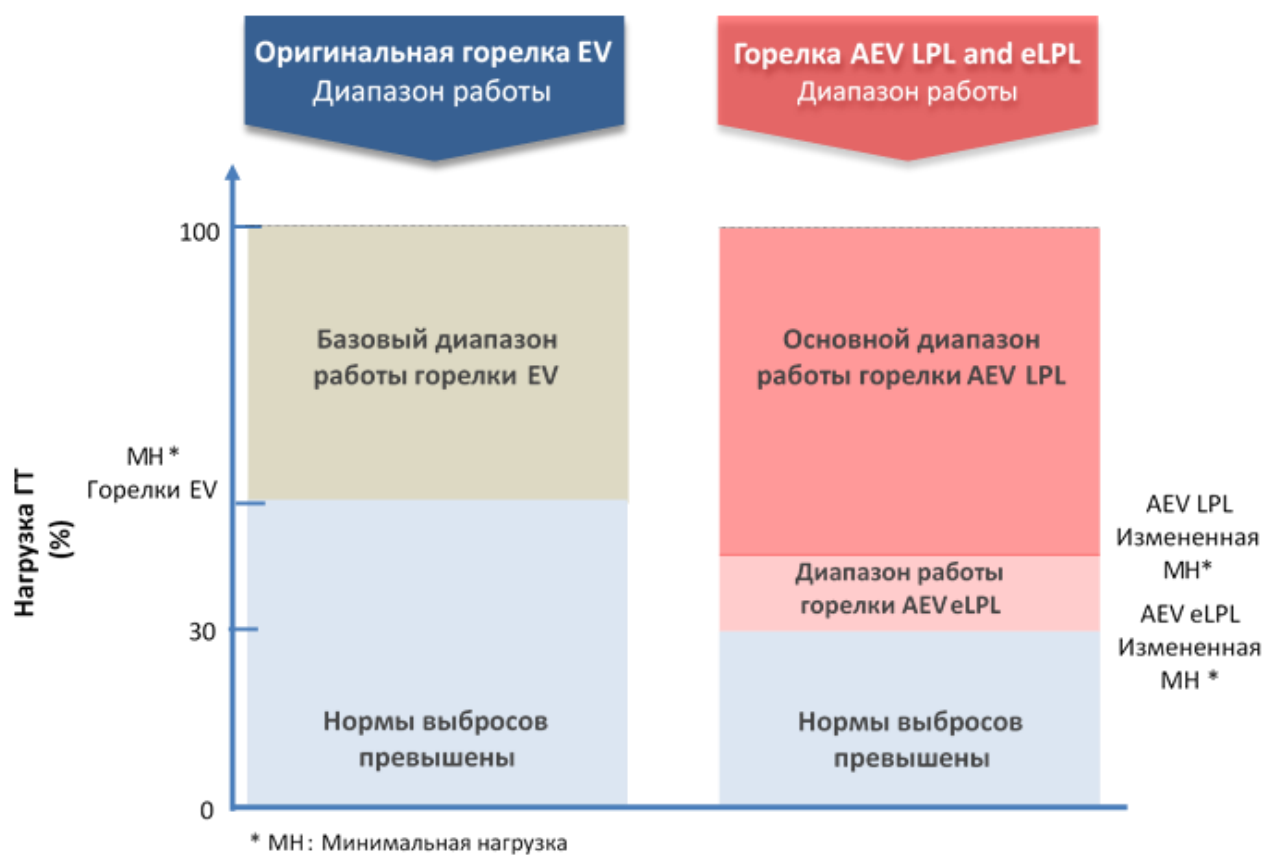


Рисунок 1. Сравнительная характеристика горелок EV и горелок AEV

Горелка AEV обладает следующими основными преимуществами:

1. Эксплуатационная гибкость обеспечивает способность более глубокой разгрузки и позволяет мгновенно реагировать на изменения в потреблении мощности в энергосистеме. В том числе она позволяет использовать установку (энергоблок) в качестве горячего резерва.
2. Надежность: устранение нестабильности режима горения осуществляется за счет использования плавного изменения подачи топлива. Кроме того, плавное изменение подачи топлива горелками AEV обеспечивает высокую стабильность процесса горения и обеспечивает более высокую надежность работы ГТУ как на установившихся, так и на переходных режимах (например, в процессе регулирования частоты).
3. Упрощение заключается в уменьшении количества горелочных устройств. Так, при базовой нагрузке ГТУ необходимы 72 горелок EV и всего 48 горелок AEV. Кроме того, горелки AEV позволяют внедрить упрощенную концепцию режимов работы камеры сгорания. Фактически, горелки AEV требуют наличия только двух контуров топливного газа, — в отличие от горелок EV, где топливный газ распределяется между тремя различными контурами.
4. Снижение затрат на топливо позволяет повысить эксплуатационную гибкость и экономить на топливе. ГТУ, оборудованные горелками AEV, легче настраиваются в зависимости от изменений состава топливного газа (в преде-

лах, установленных соответствующими спецификациями топливного газа АЕV), что позволяет избежать необходимости замены оборудования.

5. Приемлемое исполнение обеспечивается возможностью полной установки горелок АЕV во время стандартной С-инспекции. Используется существующая система распределения топливного газа (для ГТУ, работающих только на газовом топливе).

6. Существует совместимость с большинством доступных пакетов модернизации турбин GT13E2.

7. Применение интегрированного фильтра предотвращает попадание посторонних предметов в проточную часть турбины и, соответственно, повреждение ее лопаток.

8. Возможности горелок АЕV LPL, позволяющих глубоко разгружать ГТУ, потенциально позволяют избежать необходимости полного отключения установки в ситуациях низкого потребления мощности в энергосистеме.

Таблица 1. Уровень выбросов при разгрузке ГТУ GT13E2 при работе на основном топливе (природном газе) в новом и чистом состоянии

Показатель, размерность	Значение
Нагрузка ГТУ, %	40
Тип горелок	АЕV + LPL
Минимальная температура на входе компрессора, °C	-15.0
Максимальная температура на входе компрессора, °C	+40
Относительная влажность воздуха, %	60
Давление наружного воздуха, бар	1.013
Низшая теплота сгорания топлива при 15 °C, МДж/кг	48,971
Предельная температура газа, °C	60
С2+ содержание в газе (минимально), %	2.0
СО выбросы при LPL, мг/нм <sup>3</sup> (15% O <sub>2</sub> сухой)	<300
NO <sub>x</sub> выбросы при LPL, мг/нм <sup>3</sup> (15% O <sub>2</sub> сухой)	<100
CH <sub>4</sub> выбросы при LPL, мг/нм <sup>3</sup> (15% O <sub>2</sub> сухой)	<150

Горелка АЕV разработана с целью улучшения эксплуатационных характеристик камеры сгорания при работе ГТУ как на базовой, так и на частичной нагрузке.

АЕV использует бесступенчато-регулируемую систему подачи/распределения топлива между контурами, которая полностью устраняет необходимость в типичном для EV-горелок переключении с «пилотного» режима горения на режим «предсмешанного» горения и обратно. Это позволяет расширить рабочий диапазон камеры сгорания, обеспечивая стабильность «бедного» горения топлива с низким уровнем выбросов.

Принцип действия горелки АЕV позволяет поддерживать в активном режиме фронтальную ступень во всем диапазоне режимов работы газовой турбины, повышая тем самым эксплуатационную надежность газовой турбины. Это

происходит за счет устранения риска погасания камеры сгорания из-за срыва пламени при переключениях горелки с «пилотного» режима на работу горелки в «предсмешанном» режиме горения предварительно перемешанной топливо-воздушной смеси и наоборот.

Также модернизация горелок до AEV позволяет упростить систему подачи топлива с распределением по контурам, систему управления турбиной и саму конструкцию кольцевой камеры сгорания газовой турбины. Снижение относительной нагрузки газовой турбины до 40% обеспечивается совместным отключением горелок и закрытием входного направляющего аппарата (ВНА) компрессора.

При этом возможности AEV LPL зависят от температуры на входе компрессора. Для пониженных температур окружающей среды минимальный угол ВНА компрессора будет ограничен для защиты первых ступеней компрессора от опасной неустойчивой работы и вибраций, что, в свою очередь, ограничит минимальную экологическую нагрузку ГТУ.

В заключение отметим, что соблюдение предельных уровней выбросов может быть гарантировано только при работе ГТУ на установившемся режиме; лимиты выбросов не обязательно соблюдаются при переходных режимах работы, таких как, например, режим регулирования по частоте или быстрый набор нагрузки. При этом применение AEV LPL не влияет на выходную мощность и электрический КПД установки при работе в базовой нагрузке.

#### Список литературы:

1. GT13E2 AEV Burner. An evolutionary gas turbine solution // [www.alstom.com](http://www.alstom.com)
2. Extended Range of Fuel Capability for GT13E2 AEV Burner with Liquid and Gaseous Fuels / Felix Güthe, Jeffrey S. Goldmeer // *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. – August 2018.