

Комплексная модернизация газоперекачивающих агрегатов, включающая замену роторов компрессора и турбин, замену регенератора и камеры сгорания, позволит повысить мощность в среднем на 1,5-2 МВт, существенно снизить влияние компрессорной станции на загрязнение воздушного бассейна в районе ее размещения.

Модернизация позволит снизить удельные расходы топлива на одну ГТУ на 100 – 150 г/кВт\*ч и снизить выбросы CO<sub>2</sub> в год на 6000-8000 т/год. Модернизация камеры сгорания позволяет снизить удельные выбросы оксидов азота на 150 – 200 мг/м<sup>3</sup> или 108 т/год в расчете на одну турбину. Плата за выбросы будет сокращена на 3,5 млн.тенге в расчете на одну турбину.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вертепов А.Г. Метод оценки выходных показателей ГТУ в эксплуатационных условиях //М., Газовая промышленность, 2001, №3, с.31-33.

2. Вертепов А.Г., Кибарин А.А., Ходанова Т.В., Спиридонский Е.Д. и др. Методика определения мощности и технического состояния ГТК-10-4 /Мат-лы V-ой Межд.науч.-техн.конф.«Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, 2006, с. 27-30.

3. Усеров А. Г., Шалбаев К. К. Используемые аппараты и разработка новых эффективных регенераторов ГПА для повышения к.п.д. и утилизация высокопотенциальной теплоты с целью снижения выбросов в атмосферу // Алматы, Вестн. НАН РК, 2009, № 2, с. 60-65.

4. Кибарин А.А. Анализ эксплуатационных и экологических характеристик газотурбинных установок ГТК-10 на КС «Кульсары» //Экология и безопасность жизнедеятельности: Сборник статей IX Международной научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. Пенза, РИО ПГСХА, 2009, с. 110-112.

5. Кибарин А.А., Ходанова Т.В. Повышение экологической безопасности газоперекачивающих компрессорных станций за счет модернизации ГПА //М., Современные наукоемкие технологии, 2009, №11, с.35-37.

6. Кибарин А.А. Потенциал повышения энергоэффективности и снижения выбросов парниковых газов при работе газоперекачивающих агрегатов //Вестник АИЭС, 2009, №4, с. 64-70.

**УДК 621.438 и 504.3.054**

**Кибарин Андрей Анатольевич – к.т.н., доцент (Алматы, АИЭС)**

#### **ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕР СГОРАНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН ГТК-10-4 ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ**

Многолетний опыт эксплуатации газоперекачивающих агрегатов (ГПА) ГТК-10-4 показал, что одним из слабых узлов агрегата является его камера сгорания. Токсичность выхлопа штатных камер сгорания может превышать требования «ГОСТ 28775-90 «Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия» в 2,5 ÷ 4 раза [1]. Кроме того, штатная камера сгорания отличается крайней ненадежностью (наработка на отказ камеры сгорания может составлять менее 20000 часов).

Сегодня на компрессорных станциях магистральных газопроводов проходит модернизация ГТК-10-4, как в условиях компрессорной станции, так и в заводских условиях по программе «Рекон». При этом штатные камеры сгорания заменяются на модернизированные по технологии ЗАО «ОРМА». Предлагаемый ЗАО «ОРМА» подход к модернизации камеры сгорания позволяет снизить токсичность выхлопа агрегата до величин ниже требований ГОСТ 28775-90 и гарантировать безаварийную работу камер сгорания до 80000 часов и более.

Суть «экологической» модернизации камер сгорания заключается в перераспределении потоков первичного и вторичного воздуха в камере сгорания. В новой конструкции добавлены два дополнительных пояса отверстий. Первый – шесть сопел, расположенных по периметру зоны установки завихрителей. Второй – шесть сопел большего диаметра, расположенных на конической части жаровой трубы до смесителя. Часть периферийного завихрителя вторичного воздуха, закрыта специальными накладками.

Мероприятия по повышению надежности камер сгорания включают:

- установку центрирующей обечайки жаровой трубы в районе выходного фланца камеры сгорания;

- замену штатных цилиндрических узлов крепления на сферические;

- уменьшения размеров окон смесителя до оптимального.

После проведения замены внутренних элементов камеры сгорания по технологии ЗАО "ОРМА", камера сгорания соответствует параметрам, указанным в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры камеры сгорания

	Наименование параметра	Значение параметра
1.	Температура воздуха на входе в камеру сгорания, °С	407 <sup>1)</sup>
2.	Температура газов на выходе из камеры сгорания, °С	800 <sup>1)</sup>
3.	Окружная неравномерность температурного поля, °С	<35
4.	Суммарное относительное гидравлическое сопротивление камеры сгорания, %	<3
5.	Содержание оксидов азота NO <sub>x</sub> в отработавших газах при условной концентрации кислорода 15 %, мг/нм <sup>3</sup>	<200 <sup>2)</sup>
6.	Содержание окиси углерода СО в отработавших газах при условной концентрации кислорода 15 %, мг/нм <sup>3</sup>	<300 <sup>2)</sup>
1). Параметр зависит от технического состояния регенератора и осевого компрессора		
2). Фактически: содержание NO <sub>x</sub> не более 170 мг/нм <sup>3</sup> ; содержание СО не более 200 мг/нм <sup>3</sup> .		

Проведение работ по модернизации камеры сгорания, связанных со снижением выбросов оксидов азота, повышением надежности и заменой элементов камеры сгорания, приводит, кроме того, к снижению неравномерности температурного поля перед турбиной высокого давления и повышению экономичности агрегата. Прирост мощности после модернизации составляет 0,5÷1,5 МВт, к.п.д. увеличится в среднем на 2%.

Этот факт объясняется влиянием на выходные параметры газотурбинной установки (такие, как мощность на силовом валу или к.п.д.) неравномерности температурного поля продуктов сгорания перед турбиной высокого давления (ТВД). Чем выше эта неравномерность, тем меньше выходная мощность ГТУ в силу ограничения температуры металла направляющих лопаток ТВД. Температура же перед ТВД связана с температурой продуктов сгорания за турбиной низкого давления (ТНД). На агрегатах ГТК-10-4 именно по температуре за ТНД осуществляется защита лопаточного аппарата турбины от возможных пережогов. Причем, ограничения определяются термопарой с максимальными показаниями.

Очевидно, что, чем меньше неравномерность температурного поля за ТНД, тем выше уровень средней температуры за ТНД и, следовательно, выше мощность и к.п.д. ГТУ.

Как правило, неравномерность температурного поля за ТНД для агрегата ГТК-10-4 до модернизации составляла 35÷50 °С. Для расчета примем исходную неравномерность

равной 35 °С и превышение максимальной температуры над средней 17,5 °С. При ограничении максимальной температуры за ТНД уровнем 520 °С, средняя температура составит в этом случае 502,5 °С.

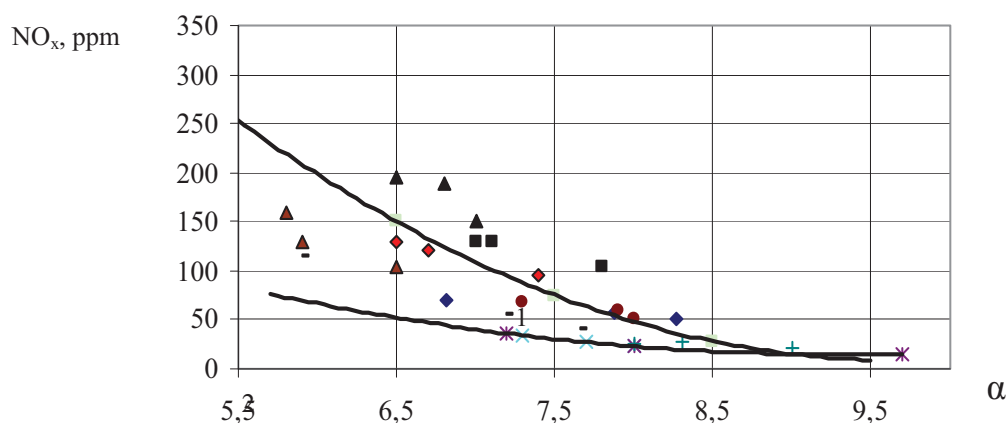
После проведения модернизации камеры сгорания неравномерность температурного поля уменьшилась до 10÷15 °С. При тех же условиях средняя температура за ТНД может быть поднята до 512,5÷515 °С, т.е. на 10÷12,5 °С. Для дальнейших расчетов будем считать, что средняя температура за ТНД может быть поднята на 10 °С.

Анализ паспортной характеристики агрегата ГТК-10-4 показал, что зависимость мощности и к.п.д. от температуры за ТНД в диапазоне 500÷520 °С является линейной, и может быть описана простыми уравнениями

$$\Delta N \approx 50 \times \Delta t_{\text{ТНД}}, \text{ кВт}; \Delta \eta \approx 0,026 \times \Delta t_{\text{ТНД}}, \%$$

тогда получаем, что на каждый градус увеличения температуры за ТНД приходится 50 кВт прироста мощности и 0,026 % к.п.д. Следовательно, с ростом температуры за ТНД на 10 °С, мощность агрегата увеличится на 500 кВт, а к.п.д. на 0,26 %.

Для оценки экологических характеристик камер сгорания ГТК-10-4 после модернизации были проведены измерения. На рисунке 1 представлена зависимость выбросов оксидов азота от коэффициента избытка воздуха в камере сгорания по агрегатам ГТК-10-4 КС «Жангала» и «Индер».

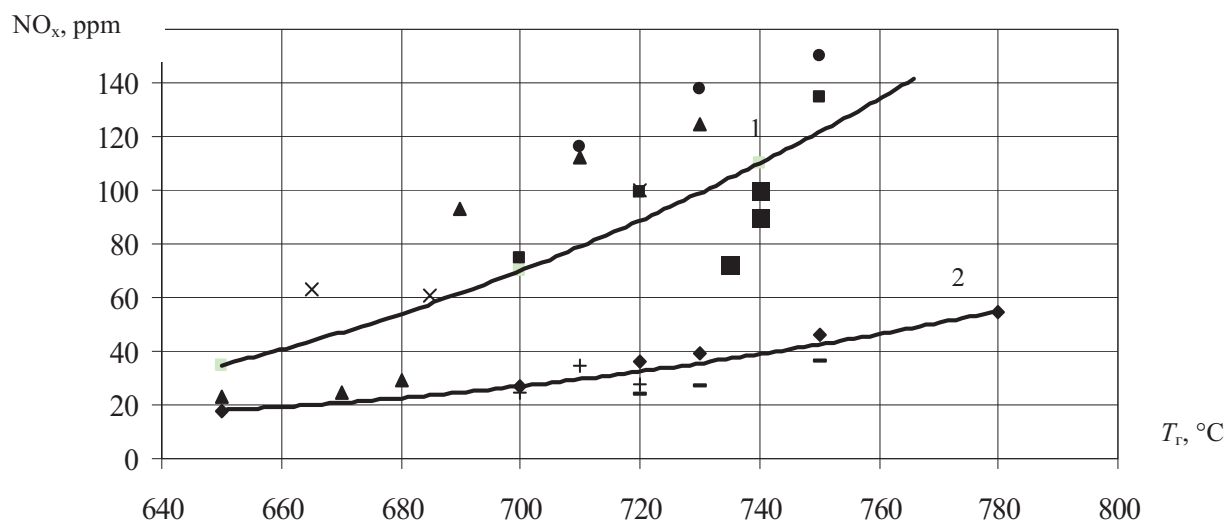


1 – традиционная камера сгорания; 2 – модернизированная камера сгорания

Рисунок 1 - Зависимость концентрации оксидов азота в выхлопном трубопроводе от коэффициента избытка воздуха в камере сгорания для ГКС «Жангала» и «Индер»

Линиями на рисунке ограничены характерные значения для традиционных конструкций камеры сгорания и модернизированной камеры сгорания. Как видно из рисунка 1, для модернизированной камеры сгорания выбросы оксидов азота значительно ниже, чем для традиционной.

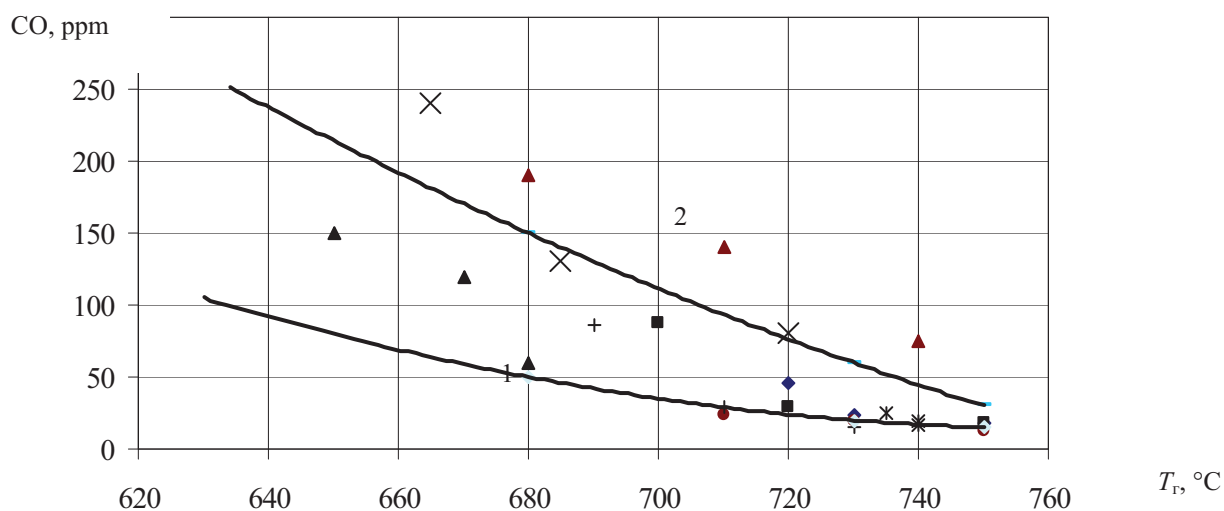
На рисунке 2 представлена зависимость концентрации оксидов азота в выхлопном трубопроводе от температуры газов перед газовой турбиной для агрегатов ГТК–10-4 установленных на ГКС «Жангала» и «Индер». Как видно из рисунка, на расчетных режимах по ряду агрегатов с штатной камерой сгорания приведенная концентрация оксидов азота превышает 300 мг/м<sup>3</sup>.



1 – традиционная камера сгорания; 2 – модернизированная камера сгорания

Рисунок 2 - Зависимость концентрации оксидов азота в выхлопном трубопроводе от температуры газов перед газовой турбиной для ГКС «Жангала» и «Индер»

На рисунке 3 представлены данные измерений по оксиду углерода на агрегатах ГТК-10 (КС «Жангала» и «Индер»).



1 – традиционная камера сгорания; 2 – модернизированная камера сгорания

Рисунок 3 Зависимость концентрации СО в уходящих газах от температуры газов перед турбиной

Данные свидетельствуют о достаточно высокой полноте сгорания топлива. Хотя они не могут быть достаточно представительными, так как отсутствуют данные по несгоревшим углеводородам. На режимах, близких к номинальным (по температуре газов перед турбиной), концентрация СО не превышает 20 ppm.

Как видно из рисунка 3, в модернизированных камерах сгорания значительный рост образования окиси углерода на пониженных нагрузках. При этом на ряде режимов наблюдалось превышение норм ПДВ.

Как видно из представленных данных, а в них представлены выборочно агрегаты, для которых существует превышение выбросов над уровнем ПДВ, для штатных камер сгорания значительны выбросы оксидов азота, для модернизированных окиси углерода на пониженных нагрузках. Но поскольку оксиды азота являются загрязняющими веществами первой категории опасности КОВ  $> 10^5$  (основные загрязняющие вещества, как по мощности выбросов, так и по объему годовых валовых выбросов) [2], то проведение модернизации камер сгорания приводит к общему снижению выбросов и снижению платы за выбросы.

**Выводы:**

Предлагаемый ЗАО «ОРМА» подход к модернизации камеры сгорания позволяет снизить токсичность выхлопа агрегата до величин ниже требований ГОСТ 28775-90 и гарантировать безаварийную работу камер сгорания до 80000 часов и более. Прирост мощности после модернизации составляет  $0,5 \div 1,5$  МВт, к.п.д. увеличивается в среднем на 2 %. Как показали экспериментальные исследования, на режимах близких к номинальному, выбросы оксидов азота не превышали  $150-170$  мг/нм<sup>3</sup>, оксида углерода  $80-120$  мг/нм<sup>3</sup>. Несмотря на превышение концентраций СО над уровнем ПДВ на пониженных нагрузках, проведение модернизации камер сгорания целесообразно для всех агрегатов ГТК-10-4, так как модернизации камер сгорания приводит к общему снижению выбросов и снижению платы за выбросы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Достияров А.М., Майсутов Т.Б., Усеров А.Г. Анализ исследований по выбросам токсичных компонентов ГПА типа ГТК-10-4 в условиях эксплуатации на КС «Макат» УМГ «Атырау» /Мат-лы V Межд.науч.-практ.конф. «Энергетика, телекоммуникации и высшее образование в современных условиях». Алматы, АИЭС, 2006, с. 37-39.
2. СТО Газпром 2-3.5-039-2005. Каталог удельных выбросов вредных веществ газотурбинных газоперекачивающих агрегатов.

УДК 669.35.074.669.539.5

Нугман Ерик Зеинелович – преподаватель (Алматы, КазНТУ)

**РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА НА ПРОЧНОСТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ MSC.VISUALNASTRAN 4D**

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новой техники и технологии, обеспечивающей наряду с увеличением объема производства – повышением качества листовой стали.

Одним из основных направлений повышения качества прокатанных полос является обеспечение минимальной поперечной разнотолщинности и планшетности [1].

Для получения полос с заданной толщиной, профилем, планшетной формой ведутся работы, направленные на совершенствование прокатного оборудования, создание новых конструкций клетей, обеспечивающих эффективное воздействие на толщину, профиль и планшетность полосы.

Традиционными методами регулирования поперечной разнотолщинности и планшетности прокатываемых полос являются [1]: профилирование бочек валков, регулирование тепловой выпуклости, противоизгиб рабочих и опорных валков, регулирование режима обжатий прокатываемых полос и др.