

орган), каждое из которых может происходить при относительном перемещении или без такового. Коэффициенты определяем в зависимости от соотношения α и φ по формулам, полученным по схеме, который указаны выше. В результате можно найти коэффициенты с учетом наличия или отсутствия уплотненного ядра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. М., 1981, 335 с.
2. Ветров Ю.А., Кархов А.А., Кондра А.С., Станевский В.П. Машины для земляных работ. Киев, Высшая школа, 1981, 383 с.
3. Заднепровский Р.П. Результаты снижения трения и прилипания влажных грунтов при разработке землеройными машинами // М., Строительные и дорожные машины, 1973, №5, с. 31-33.
4. Стогов В.Н., Плюхин Д.С., Ефимов Г.Н. Погрузочно-разгрузочные машины. М., Транспорт, 1977, 240 с.

УДК 621.438 и 504.3.054

**Кибарин Андрей Анатольевич – к.т.н., доцент (Алматы, АИЭС)
Касимов Арман Салемович – старший преподаватель (Алматы, АИЭС)
Ходанова Татьяна Викторовна – старший преподаватель (Алматы, АИЭС)**

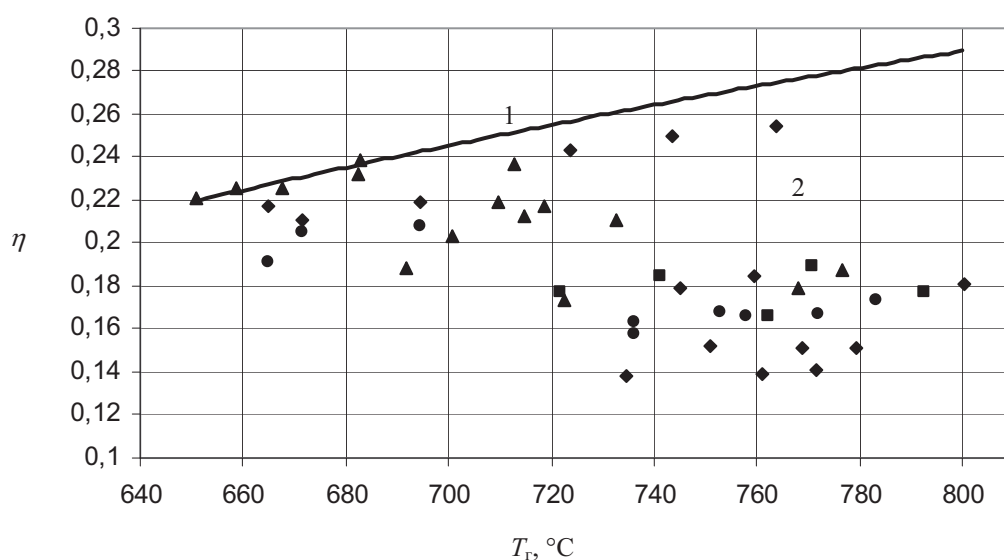
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ ГТК-10 НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

Техническое состояние газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на компрессорных станциях (КС), установленных более 30 лет назад, несмотря на проводимые ремонты, далеко от лучших показателей. В процессе эксплуатации заметно снизились располагаемые мощности действующих агрегатов ГТК-10, в настоящее время они ниже паспортных на 2000-4000 кВт. Для многих ГПА достигнут предел по наработке, и их необходимо демонтировать, однако, они продолжают работать.

При испытаниях агрегатов ГТК-10-2 и ГТК-10-4 было проведено подробное сравнение результатов эксперимента с паспортными данными. Основным контролируемым параметром при испытаниях газотурбинных установок была температура газов перед турбиной высокого давления (ТВД), поэтому в большинстве графиков рассматривается влияние именно этой величины на характеристики ГПА. При приведении результатов испытаний к нормальным условиям, использовались требования нормативных документов.

Испытания на ГТК-10 проводились в диапазоне температур перед ТВД 600-770 °С.

На рисунке 1 представлена зависимость КПД агрегатов ГТК-10-4 от температуры газов на входе в турбину по паспортной характеристике и фактические КПД, полученные в результате испытаний на компрессорных станциях магистрального газопровода «Средняя Азия Центр». Как видно из рисунка 1 КПД многих газотурбинных установок значительно отличается от паспортной характеристики и составляет не более 20 % на режимах, близких к номинальному. Только для модернизированных ГПА КПД находится на уровне 26-28 %.



1- линия -данные паспортной характеристики;
2 – точки -экспериментальные фактические данные

Рисунок 1 Зависимость коэффициента полезного действия
ГПА ГТК-10 от температуры газов на входе в турбину

В процессе эксплуатации происходит «старение» газоперекачивающего агрегата, которое всегда сопровождается необратимыми процессами ухудшения его технического состояния. Интенсивность этих процессов зависит от условий эксплуатации, режима работы, качества ремонта и влияния внешней среды. При этом изменяются не только теплотехнические характеристики газоперекачивающих агрегатов (ГПА), но и, как показали исследования, представленные в [1, 2], экологические параметры, характеризующие содержание оксидов азота и углерода в продуктах сгорания.

На многих газотурбинных установках (ГТУ) неблагоприятное сочетание конструктивных и эксплуатационных дефектов может приводить к снижению их располагаемой мощности до 50 %.

КПД ГТУ связан с коэффициентом технического состояния (КТС), который является одним из основных показателей эффективности работы ГПА.

$$K_{тс} = N_{эф} / N_{эт} = \eta_{эф} / \eta_{эт}$$

При низком КТС ГТУ увеличивается удельный расход топлива, снижается максимально возможная мощность ГТУ, падает КПД. В практике эксплуатации ГПА принято, что если КТС ГТУ ниже 0,8, то агрегат необходимо выводить в ремонт. Как видно из рисунка 1 для многих агрегатов ГТК-10 КТС либо меньше 0,8, либо приближается к этому значению.

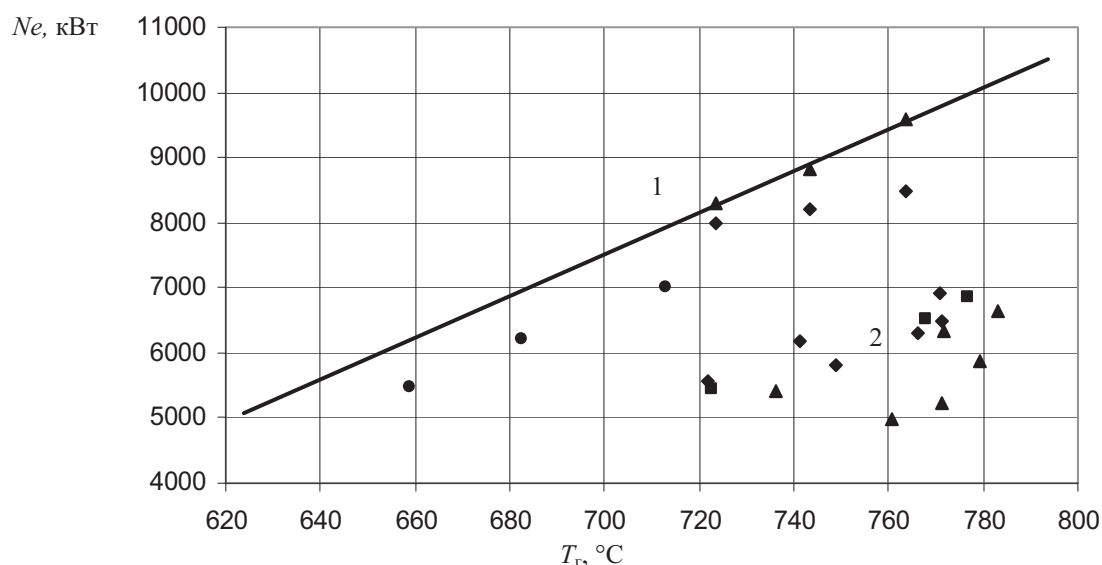
К одним из основных причин снижения мощности можно отнести:

- загрязнение, эрозию и коррозию проточной части ГТУ, вследствие отсутствия эффективных фильтров в воздухозаборной камере (далее ВЗК), что приводит к снижению эффективного КПД проточной части турбины и соответственно к снижению мощности;
- увеличение радиальных зазоров в проточных частях осевого компрессора (ОК), турбин высокого (ТВД) и низкого (ТНД) давлений. Увеличение среднего радиального зазора ОК на 1 мм снижает мощность ГТУ на 9 %, такое же изменение для ТВД приводит к снижению мощности на 5%, а ТНД на 1 %;

- негерметичность воздушного тракта пластинчатых регенераторов из-за конструктивного несовершенства компоновки секций воздухопроводов, что приводит к значительным перетокам воздуха в газовый тракт и тем самым к потере мощности;

- увеличение гидравлического сопротивления выхлопного тракта, вследствие утечек из регенератора, приводит к снижению мощности до 3 %.

Мощность на валу ТНД приведенная (рисунок 2) при расчетной температуре 780 °С составляет для большинства агрегатов 6-7 МВт.



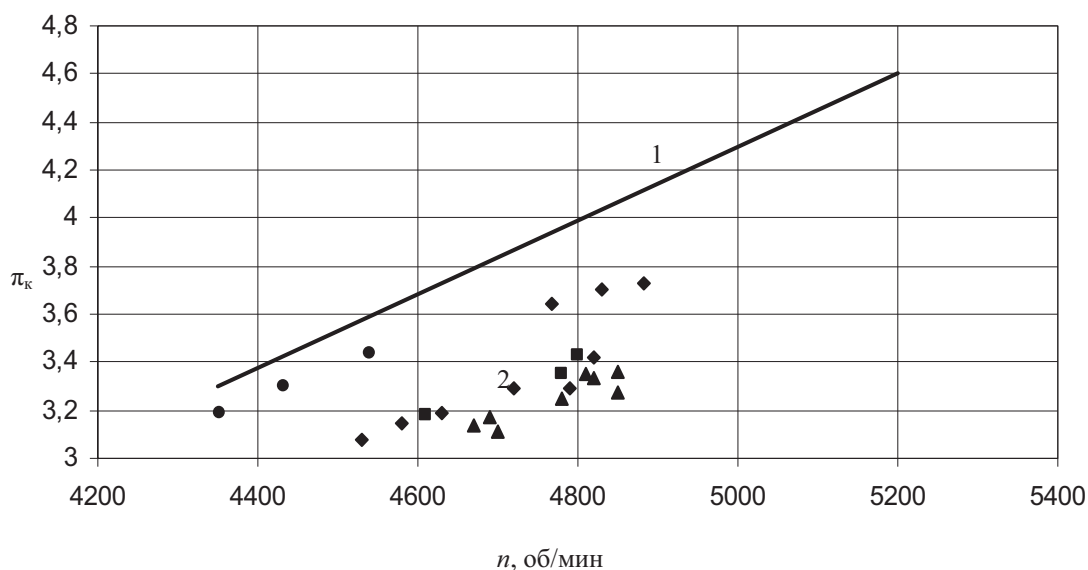
1- линия - паспортная характеристика мощности при нормальных условиях ($t_0 = +15$ °С, $P_0 = 760$ мм рт. ст.); 2 – точки - фактическое приведенное значение мощности

Рисунок 2 - Зависимость мощности ГПА от температуры газов на входе в турбину

Таким образом, коэффициент технического состояния ГТУ около 0,6-0,7, что по регламенту технического обслуживания ГПА требует капитального ремонта. Основная причина снижения мощности значительная наработка агрегатов без капитальных ремонтов, происходит загрязнение проточной части и увеличение радиальных зазоров в проточных частях турбин высокого (ТВД) и низкого (ТНД) давлений.

Из рисунка 2 четко видно, что часть агрегатов имеют характеристику близкую к паспортной - это агрегаты, на которых был осуществлен капитальный ремонт или проведена модернизация. Часть параметров, используемых при обработке экспериментальных данных ГТК-10, были получены расчетным путем на базе уравнений материальных и тепловых балансов по известным методикам. При определении мощности и коэффициента технического состояния ГТУ использовался линейный ("экспресс-метод") [1, 2].

На рисунке 3 представлена зависимость степени сжатия осевого компрессора от приведенных к нормальным условиям оборотов ТВД.

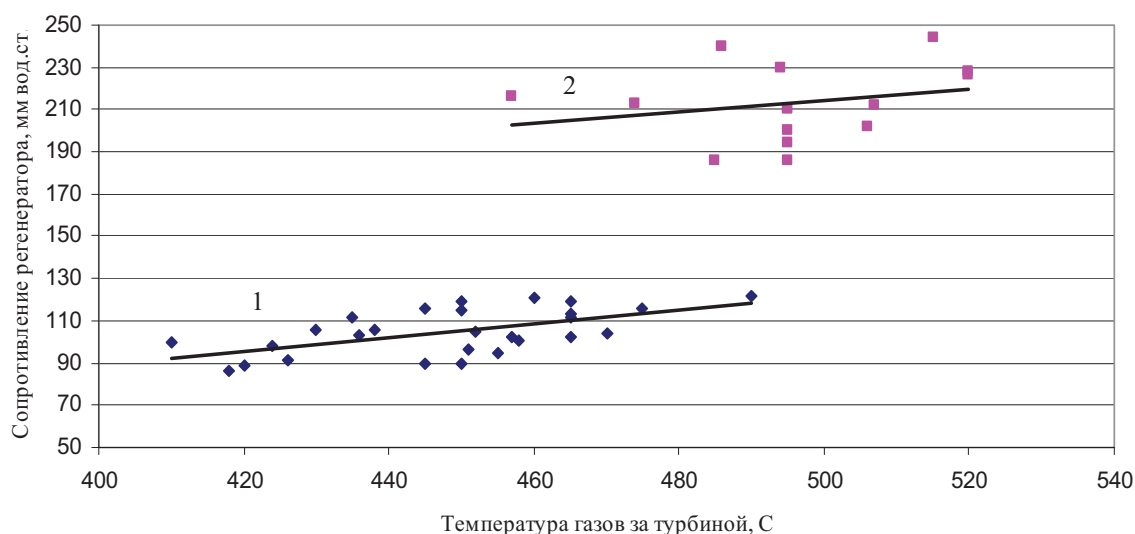


1 – паспортная характеристика агрегата ГТК-10; 2 - фактические показатели

Рисунок 3 - Зависимость степени сжатия осевого компрессора от приведенных к нормальным условиям оборотов ТВД

Анализ результатов, представленных на рисунке 3 показывает, что для установок ГТК-10 характерно ухудшение характеристик проточной части компрессора, так как при одних и тех же оборотах ТВД достигается меньшая степень сжатия на 15-20 %. Это свидетельствует о засорении проточной части осевого компрессора, увеличении зазоров в проточной части и возможном появлении овальности.

Увеличение сопротивления выхлопного тракта ГТУ, как было сказано выше, также сильно сказывается на экономичности. На рисунке 4 представлены экспериментальные исследования по определению сопротивления регенераторов в зависимости от температуры газов за газовой турбиной, проведенные авторами на агрегатах ГТК-10-4. Исследования проводились на пластинчатых и трубчатых регенераторах (установлены на ряде агрегатов при проведении капитальных ремонтов и модернизации).



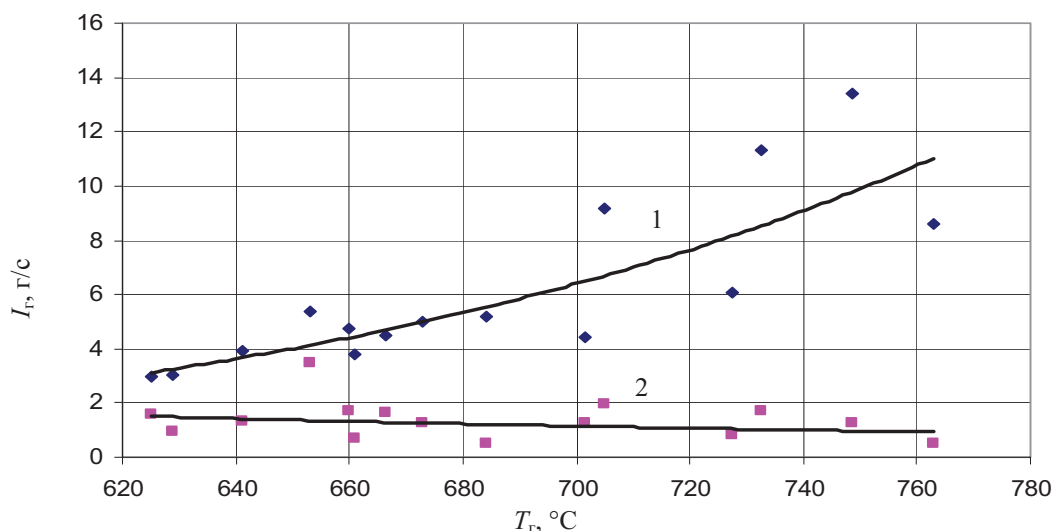
1 - трубчатый регенератор ВПТ-2000; 2 – пластинчатый регенератор

Рисунок 4 - Зависимость сопротивления регенератора от температуры газов за газовой турбиной

Как видно из рисунка 4 сопротивление пластинчатого регенератора находится на уровне 210-250 мм вод.ст., при этом потери мощности согласно расчетов составляют порядка 3,5 % [3]. При замене пластинчатого регенератора на трубчатый сопротивление уменьшается до уровня 100-130 мм вод.ст. Таким образом, только за счет уменьшения сопротивления регенератора при реконструкции удается повысить мощность на 1,5 %.

Снижение мощности и эффективности газовых турбин приводит к перерасходу топливного газа. Проведенные расчеты по удельным расходам топлива показали, что для большинства агрегатов эта величина выше паспортных значений, для некоторых агрегатов удельный расход условного топлива доходил до 780 г/кВт*ч, при утвержденном нормативном 620 г/кВт*ч. [4].

Происходит значительный перерасход топлива, а это, в свою очередь, приводит к росту массовых выбросов токсичных компонентов в атмосферу. На рисунке 5 представлены зависимости массовых выбросов NO_x и CO для ГТК-10-4 с традиционной камерой сгорания, имеющих значительную наработку с начала эксплуатации.



1 – выбросы оксидов азота; 2 – выбросы оксида углерода

Рисунок 5 – Зависимость массового выброса NO_x и CO от температуры газов перед ТВД

Как видно из рисунка, для ряда агрегатов на повышенных нагрузках существует превышение предельно-допустимых выбросов по оксидам азота, а на пониженных по оксиду углерода. Для снижения выбросов оксидов азота необходима замена традиционной камеры сгорания на модернизированную, например, по технологии АО «ОРМА» [5].

Ремонт агрегатов с низким КТС, замена камеры сгорания и регенератора на трубчатый позволит значительно повысить эффективность работы агрегатов ГТК-10-4, при этом мощность повысится в среднем 1,5-2 МВт, удельный расход топливного газа на ГТУ снизится в среднем на 100 – 150 г/кВт*ч. Средний потенциал снижения расхода топливного газа и соответственно парниковых газов 10-15 % [6]. Суммарное снижение выбросов вредных веществ на одну турбину составит более 950 усл.тонн.

Выводы:

Проведенные исследования показали, что техническое состояние исследуемых ГПА далеко от лучших показателей. Наблюдается значительное снижение КПД до уровня 20 %, при паспортном 28 %, снижение мощности в среднем на 2 МВт, ухудшение состояния проточной части и турбины и компрессора.

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 CO₂ в год на 6000-8000 т/год. Модернизация камеры сгорания позволяет снизить удельные выбросы оксидов азота на 150 – 200 мг/м³ 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.