

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ГТК-10-4 НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБИНЫ В РЕМОНТНОМ ЦИКЛЕ

Е. А. РЕВУНОВ

Самарский государственный технический университет

Самара, Россия

В парке газоперекачивающих агрегатов (ГПА) ПАО «Газпром» значительную долю составляют агрегаты типа ГТК-10-4, от надежности и эффективности которых напрямую зависит бесперебойность транспортировки газа. В последнее пятилетие наблюдается устойчивая тенденция: часть агрегатов после проведения средних и капитальных ремонтов выходит в эксплуатацию со стойким снижением развиваемой мощности на относительно доремонтных значений. Данное негативное явление приводит к прямым экономическим потерям, связанным с ростом удельного расхода топлива и снижением пропускной способности газотранспортной системы. Традиционные методы параметрической диагностики не всегда позволяют однозначно установить причину деградации характеристик, что указывает на необходимость углубленного анализа ремонтного цикла.

Целью работы является разработка мероприятия, направленного на восстановления мощностных параметров газотурбинной установки (ГТУ) ГТК-10-4 в процессе ремонтных работ.

В основу исследования лег ретроспективный анализ дроссельных характеристик и протоколов параметрических обследований агрегатов ГТК-10-4. Теоретический анализ результатов дроссельных характеристик двигателей показал, что ухудшение технического состояния ГТУ ГТК-10-4 после проведения ремонтов, связано с увеличением значения температуры перед турбиной высокого давления (ТВД) и за турбиной низкого давления (ТНД) относительно доремонтного значения. Рост температуры перед ТВД, после проведения ремонта, влияет на ограничение частоты вращения двигателя, не позволяя достичь ее номинального значения, соответственно, развиваемая мощность ограничивается.

В данной работе подробно рассмотрена одна из возможных проблем, влияющая на рост температуры продуктов сгорания в турбине – отклонений размеров сегментов направляющего аппарата турбин ТВД и ТНД от нормативных значений

Направляющий аппарат служит для преобразования потенциальной энергии газа в кинетическую и для подвода газа к рабочим лопаткам под заданным углом. Изменение площади сечения направляющего аппарата и лопаточного угла ведет к изменению расчетной скорости потока, потерям энергии и к снижению КПД турбины, что влияет на корректную работу турбины и приводит к увеличению температуры продуктов сгорания в характерных сечениях турбины.

Для выполнения замеров площади сечения направляющего аппарата была разработана методика и специальная оснастка, включающая:

- Координатный замер высоты каждой лопатки в сегментах НА.
- Контроль угла установки лопаток.
- Расчет результирующей площади проходного сечения каждого канала.

Для реализации методики сконструированы и изготовлены специализированные шаблоны и калибры, обеспечивающие точность измерений ± 0.1 мм.

В рамках апробации разработанных приспособлений и методики был выбран ГПА с коэффициентом технического состояния ниже удовлетворительного предела после выполнения ремонтных работ.

Комиссионная разборка и последующие замеры выявили системные отклонения от паспортной геометрии:

– В НА ТНД: 70% замеренных лопаток имели положительный допуск по высоте (+1.2...+2.5 мм против допустимых ± 0.8 мм), что привело к увеличению суммарной площади проходного сечения на $\sim 3.5\%$.

– В НА ТВД: 54% лопаток имели отрицательный допуск по высоте (-1.0...-2.2 мм), что вызвало зауждение сечения на $\sim 2.8\%$.

Полученные данные имеют четкое физическое объяснение. Увеличение сечения НА ТНД снижает скорость потока и кинетическую энергию, подводимую к рабочим лопаткам. Зауждение сечения НА ТВД увеличивает гидравлическое сопротивление и затраты энергии на проток. Совместное действие этих факторов смещает расчетные режимы работы ступеней турбины, снижая их КПД. Для компенсации возросших потерь и поддержания заданной частоты вращения ротора, система автоматического регулирования вынуждена увеличивать расход топлива. Это приводит к росту температуры рабочего тела на входе в ТВД. При достижении температурного предела (предела прочности лопаток) автоматика ограничивает топливоподачу, не позволяя агрегату выйти на номинальную частоту вращения и, следовательно, на номинальную мощность.

В результате работы была экспериментально подтверждена гипотеза о непосредственном влиянии несоблюдения геометрии проточной части на падение мощности ГПА ГТК-10-4 после ремонта. Установлена количественная связь между отклонениями размеров лопаток НА и ростом температур газов, ограничивающих мощность.

Разработанное мероприятие по инструментальному контролю геометрии НА внедрено в технологический процесс ремонтных предприятий. Его применение позволяет не только устранять последствия в виде падении мощности агрегатов, но и осуществлять превентивный контроль качества ремонтных операций, связанных с восстановлением лопаточного аппарата. Это обеспечивает значительный экономический эффект за счет снижения удельного расхода топлива и повышения ресурса деталей турбины, работающих в менее напряженных температурных условиях. Дальнейшие исследования планируется направить на формализацию методики и создание цифровых двойников проточной части для прогнозирования характеристик после ремонта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарицкий С. П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М.: Недра, 1987. – 198 с.
2. Методические указания по определению топливно-энергетических показателей ГПА типа ГТК-10, ГТ-750-6, ГТ-6-750, ГН-6, ГТК-5, ГТ-700-5. ПО «Союзоргэнергогаз». 1985 г.» – 28 с.