

осевого компрессора газотурбинных двигателей ГТК-25И, ГТК-10И. По данной технологии было восстановлено и поставлено в эксплуатацию 32 комплекта компрессорных лопаток, которые в настоящее время отработали второй назначенный ресурс.

В данной работе проведены исследования постэксплуатационного состояния покрытия нитрида титана и материала компрессорных лопаток, отработавших после восстановления второй назначенный ресурс (~50 000 часов) в реальных условиях эксплуатации на газоперекачивающей станции ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». Визуальным осмотром установлено, что покрытие сохранило свою целостность на всех ступенях ротора компрессора (с 0-вой по 15-ю ступень). Не обнаружено отслоений, сколов и износа покрытия TiN в то время, как до ремонта исходное

гальваническое никелевое покрытие сохранялось после такой же фактической наработки только на 10-20 % площади лопаток. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что основной фазой в покрытии является δ -TiN (К). На лопатках 9-12 ступеней, подверженных наибольшему термическому воздействию обнаружено окисление нитридного покрытия. Методом физического моделирования показано, что температура на этих ступенях достигала 450°C.

Внедрение комплексной ремонтно-восстановительной технологии с применением ионно-плазменных покрытий TiN подтвердило эффективность ее применения для повышения надежности и ресурса как новых компрессорных лопаток газотурбинных двигателей, так и отработавших назначенный ресурс.

УДК 622.691

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ОЧИСТКИ И ОСУШЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Тонконог В.Г.¹, Арсланова С.Н.¹ Серазетдинов Ф.Ш.², Мифтахова А.Р.²

¹Казанский государственный технический университет имени А.Н.Туполева

²ООО НПП «Авиагаз- Союз+», г. Казань

PIPELINED GAS TREATMENT: DRAINAGE AND PURIFICATION FACILITY DESIGN

Tonkonog V.G., Arslanova S.N. Serazetdinov F. S., Miftakhova A. R. The paper summarises methods for purification and drainage of pipelined natural gas. Special tools are designed to influence gas flood resulting in its purification and drainage. These tools are tested in real conditions and proved to be highly effective.

Природный газ, транспортируемый по магистральным трубопроводам, содержит примеси, которые в общем случае представлены твердыми частицами, сконденсированной фракцией различных углеводородов и водой в жидкой и паровой фазах. Твердые частицы представляют собой смесь различных веществ (песок, глина, щебень), попавших в газопровод при его эксплуатации. Сконденсированные углеводороды и влага поступают в трубопровод в процессе добычи и вследствие широко применяемых технологий подземного хранения газа.

Примеси, содержащиеся в газе, транспортируемом по трубопроводам, существенно ухудшают его потребительские качества, снижают ресурс работы регулирующих устройств и могут приводить к отказам в работе энергооборудования и аварийным ситуациям.

С целью улучшения потребительских характеристик природного газа, повышения надежности работы энергооборудования и предотвращения аварийных ситуаций необходимо проводить очистку и осушение природного газа. Такая задача является

актуальной для газодобывающей отрасли промышленности и целого ряда других отраслей энергетического энергомашиностроения

В мировой практике распространены следующие способы очистки газа: низкотемпературная сепарация - получение низких температур в результате дросселирования газа высокого давления или с помощью установок искусственного холода и последующее отделение выпавшего конденсата; адсорбция - извлечение водяных паров твердыми поглотителями; абсорбция - извлечение водяных паров жидкими поглотителями; сепарация твердых и жидких включений в поле массовых сил и удаление примесей с помощью фильтрующих элементов.

Низкотемпературный способ требует сравнительно небольших капитальных и эксплуатационных затрат при осушке до необходимых точек росы. При адсорбционном способе капитальные вложения выше в 2 - 4 раза, установка работает циклично, велики затраты энергии на регенерацию поглотителя, большое гидравлическое сопротивление и габариты; достигаемая точка росы до - 70 °С. Абсорбционный способ обеспечивает точку росы - 70 °С, но капитальные вложения выше в 4 - 10 раз. При абсорбционной осушке сравнительно просто организовать непрерывный управляемый процесс, но требуется регенерация гликолей и предотвращение их уноса путем уменьшения скорости потока. Сепарация примесей в поле массовых сил широко используется в различных технических системах. Установки, реализующие этот метод, достаточно просты и надежны в эксплуатации. Недостаток метода сепарации примесей в поле массовых сил обусловлен снижением эффективности сепарации при малых размерах дисперсных включений (менее 10-50 мкм) и невозможность извлечения из газового потока влаги, находящейся в паровой фазе.

Анализ методов очистки газа и моделирование процессов в сепараторах показали, что для осушки природного газа и удаления из него дисперсных примесей целесообразно использовать комплексный подход, предполагающий объединение различных методов.

Для удаления из газа твердых частиц и

конденсата предлагается устройство, состоящее из двух ступеней очистки. В первой ступени осуществляется очистка газа в поле массовых сил, а во второй для тонкой очистки газа используется пористый металлический фильтр. Разработка защищена патентом РФ на изобретение № 2357787 (опубл. 10.06.2009, бюл. 16). На этапе проектирования устройства было проведено моделирование течения закрученного потока в канале сложной формы. Задача решалась в двумерной постановке. Результаты численных исследований позволили оптимизировать газодинамический тракт устройства.

В результате проведенных НИОКР в ООО «НПП Авиагаз - Союз+» разработан и изготовлен типовой ряд фильтров, которые обеспечивают тонкую очистку газа от примесей. Они отличаются малыми габаритами, высокой производительностью и получили признание в эксплуатации.

Для удаления из природного газа влаги, в том числе и в паровой фазе, предлагается устройство, включающее газодинамический контур, абсорбционную ступень и вихревой сепаратор. В газодинамическом контуре осуществляется адиабатное расширение газа и создаются условия для обеспечения конденсации паровой фазы в потоке влажного газа. Для инициирования конденсации в поток впрыскивается жидкий сорбент. Наличие в газовом потоке распыленного абсорбента смещает условия конденсации в сторону равновесных, способствует созданию центров конденсации. Таким образом, реализуется гетерогенный механизм фазовых переходов, при котором образуются более крупные капли конденсата по сравнению с гомогенным механизмом конденсации. Увеличение капель конденсата позволяет обеспечить более полную сепарацию сконденсированной фазы и одновременно препятствует гидратообразованию. Использование в качестве инициатора конденсации тяжелых спиртов позволяет реализовать и абсорбционное осушение газа.

Газодинамический тракт устройства представляет собой канал переменного сечения и состоит из внешнего и внутреннего контуров, которые образованы двумя коаксиальными цилиндрами. Газ тангенциально вводится во внешний контур,

в результате чего газ совершает поступательное и вращательное движение. На выходе из наружного контура установлена первая (предварительная) ступень сепарации твердых частиц и сконденсированной фазы. На выходе из наружного контура поток разворачивается и поступает во внутренний контур, где изменяет свое направление и параметры. Во внутреннем контуре осуществляется дополнительная закрутка потока и впрыск жидкости - абсорбента. Конденсат,

образующийся во внутреннем контуре, отделяется на второй ступени сепарации. После сепарации насыщенный влагой абсорбент регенерируется.

Возможность практической реализации газодинамической очистки и осушки газа подтверждена моделированием процессов сепарации дисперсной фазы при движении закрученного потока в каналах сложной формы и расчетами условий конденсации водяных паров в процессе адиабатного расширения газовой смеси.

УДК 629.7.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛАТТЕРА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА НА РЕЖИМЕ СРЫВНОГО ОБТЕКАНИЯ

Хориков А.А., Данилкин С.Ю.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва

RESEARCH OF THE FAN BLADES FLUTTER ON THE STALLING AIRFLOW MODE

Khorikov A.A., Danilkin S.Y. Results of a dynamic condition experimental research of the modern three-stage blisk fan designs, designed on new calculated technologies are resulted. Features of rotor blades fluctuations are revealed at research of a flutter in stalling area. As a result of the carried out experimental research the conclusion that there are two kinds of a subsonic cascade flutter is made: without-stalling flutter to which there corresponds the wave of deformation running on rotation and a stalling flutter at which the wave of deformation runs against rotation.

При отсутствии набегающего потока газа на рабочее колесо компрессора, собственные колебания колеса представляют собой стоячие волны деформаций. В результате воздействия набегающего потока газа на колебания лопаток, могут возникать волны деформации, бегущие по вращению и против вращения колеса, а реализация какой-либо из этих двух волн деформаций зависит от конкретных значений нестационарных аэродинамических сил. При экспериментальных исследованиях вентиляторов и компрессоров неоднократно было отмечено, что при возникновении флаттера (автоколебаний) лопаток на режимах вблизи рабочей линии по лопаткам и в потоке возникает только волна деформации, бегущая по вращению колеса.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования динамического состояния трёхступенчатого вентилятора современной

блисковой конструкции, спроектированного по новым расчётным технологиям.

Для проведения исследования вентилятора была выполнена подготовка тензорезисторами рабочих лопаток, лопаток направляющих аппаратов, барабана ротора и корпуса вентилятора, а также были установлены датчики пульсаций давления на входе и на выходе из вентилятора, непосредственно над рабочими лопатками были установлены высокочастотные датчики пульсаций и на корпусе вентилятора были размещены вибродатчики (в том числе векторные).

Исследование проводилось по линии рабочих режимов и в процессе дросселирования вентилятора по напорной характеристике на приведенной частоте вращения, которая соответствовала наиболее напряжённой работе вентилятора в эксплуатационных условиях.

В настоящем исследовании выявлены следующие особенности колебаний лопаток: