

УДК 621.438

Опыт контроля лопаток ТВД газотурбинных двигателей АЛ-31СТ в условиях КС

В.И. Акимов, Т.А. Бакиев (ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Уфа», РФ, Уфа), **Ю.А. Балюк** (ОАО «Оргэнергогаз», РФ, Москва), **С.В. Скрынников** (ООО «Газпром трансгаз Уфа», РФ, Уфа)
E-mail: vakimov@ufa-tr.gazprom.ru

Неразрушающий контроль деталей газотурбинных двигателей является важным инструментом прогнозирования технического состояния оборудования в период эксплуатации. При диагностировании газотурбинных двигателей значительное место занимает контроль лопаточного аппарата. В соответствии с Программой повышения надежности двигателей АЛ-31СТ, работающих в составе ГПА-16Р «Уфа», поставлена задача выполнения инструментального контроля рабочих лопаток турбины высокого давления (ТВД) в условиях компрессорной станции без демонтажа двигателя. Целью контроля является обнаружение усталостных трещин, развивающихся изнутри от конструктивных элементов внутренней полости лопатки в сторону спинки. Работа проводится специалистами ОАО «Оргэнергогаз» в сотрудничестве с ООО «Газпром трансгаз Уфа» и ОАО УМПО. Разработку и изготовление оборудования для диагностирования рабочих лопаток ТВД осуществил НПЦ «Кропус» (г. Ногинск).

Ключевые слова: неразрушающий контроль, надежность газотурбинных двигателей, рабочие лопатки ТВД, газоперекачивающий агрегат.

Работа по подготовке контроля была организована следующим образом:

- выбор метода контроля;
- подбор оборудования;
- подготовка эталонов для апробации;
- настройка оборудования на эталонах;
- апробация на демонтированных натуральных лопатках;
- контроль лопаток ТВД газотурбинного двигателя АЛ-31СТ.

Традиционно для неразрушающего контроля лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) используется визуально-измерительный контроль, осмотр выполняется с помощью бороскопа (видеоскопа) или аналогичных устройств. Хорошо подходит для выявления повреждений лопаток, обрывов, а также трещин, имеющих значительное раскрытие. Но искомые трещины на рабочих лопатках турбин высокого давления (ТВД) выходят на поверхность на заключительных стадиях развития, поскольку их зарождение идет с внутренних поверхностей. Поэтому с помощью визуально-измерительного контроля (ВИК) подобные трещины выявить

сложно. И самое основное: ВИК не позволяет выявлять подповерхностные трещины. Аналогичным недостатком обладает и метод контроля проникающими веществами.

Из фрактографического анализа усталостного разрушения на поверхности излома лопатки видно, что зона развития трещины занимает не более 1/4 площади сечения, затем происходит разрушение. На поверхность трещина выходит, уже имея значительное развитие в теле лопатки с внутренней стороны. Поэтому для обнаружения трещины на более раннем этапе ее развития изначально была поставлена цель обнаруживать подповерхностные трещины. В дальнейшем рассматривались два возможных метода контроля: вихретоковый и ультразвуковой.

Одной из существенных проблем является доступ в зону контроля, так как осмотр необходимо выполнять в условиях компрессорной станции, а лопатка расположена во внутреннем контуре двигателя. Доступ возможен только через лючки для осмотра лопаток. В связи с этим потребовалась разработка специального оборудования

для доставки датчика в зону контроля. При этом пришлось учесть существующие геометрические ограничения на размеры датчика, определяемые размерами межлопаточных каналов и лючков на корпусе двигателей для осмотров.

В наибольшей степени предъявляемым требованиям отвечает вихретоковый метод контроля, в том числе и по размеру датчиков. Поэтому на первом этапе проводились работы по контролю лопаток именно вихретоковым методом. Для подбора датчиков и настройки вихретокового дефектоскопа были подготовлены образцы с трещинами. Причем часть образцов – с искусственно нанесенными трещиноподобными дефектами, часть – с трещинами, образовавшимися в процессе эксплуатации.

Были разработаны и изготовлены специализированные вихретоковые преобразователи, предназначенные для работы по сплаву, соответствующему сплаву рабочей лопатки ТВД, ориентированные на обнаружение как поверхностных, так и подповерхностных трещин и удовлетворяющие требованиям по геометрическим размерам. Для работы с преобразователями использовался вихретоковый дефектоскоп «Вектор».

В результате выполнения поискового этапа работы установлено, что оборудование позволяет регистрировать как поверхностные, так и подповерхностные трещины, находящиеся на глубине до 0,7 мм включительно. Для апробации прибора на натуральных лопатках с помощью электроэрозионной обработки были выполнены пропилы шириной 0,2 мм различной глубины. На натуральных лопатках также подтверждена способность прибора выявлять трещины на глубине до 0,7 мм.

Для апробации обнаружения реальных трещин в качестве образца использовалась лопатка ТВД с трещиной, обнаруженной при опытном разрезе лопатки. Глубина залегания

трещины – 0,6 мм. Эта трещина также была выявлена дефектоскопом.

Таким образом, используемое оборудование позволяет выявлять как поверхностные, так и подповерхностные трещины в материале лопаток ТВД.

Для контроля лопаток на реальном двигателе изготовлено оборудование (автоматизированная система вихретокового контроля) в следующем составе:

- средство доставки датчика (манипулятор) – монтируется на корпус двигателя;
- устройство проворота ротора высокого давления – монтируется на гнездо ручной прокрутки ротора;
- блок управления;
- вихретоковый дефектоскоп «Вектор-М» – отличается от базовой модели широкими возможностями по визуализации и обработке входного сигнала;
- блок согласования с внешним компьютером.

Для уменьшения утомляемости оператора и увеличения достоверности процесс контроля лопаток автоматизирован. Перемещение датчика по поверхности лопатки, а также периодический проворот ротора при переходе к следующей лопатке осуществляется в автоматизированном режиме. Результаты контроля выводятся на экран дефектоскопа, а также дублируются на экране компьютера с использованием специально разработанной программы (рис. 1).

На экране компьютера полностью размещается диаграмма контроля одной лопатки, что позволяет оперативно оценивать наличие дефектов. Диаграммы контроля всех лопаток записываются на компьютер, что позволяет при необходимости выполнять анализ полученных результатов. Для контроля работы устройства выполняется визуальное наблюдение за перемещением датчика с использованием видеоскопа (рис. 2).

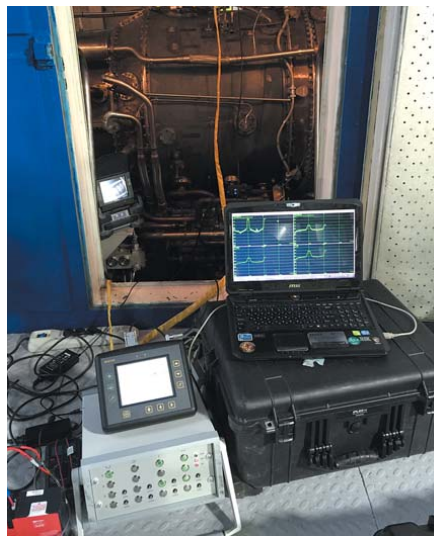


Рис. 1. Размещение оборудования в период обследования лопаток ТВД



Рис. 2. Наблюдение за работой датчика и визуальный контроль поверхности лопаток ТВД

С использованием данного оборудования выполнен контроль лопаток ТВД более 30 двигателей типа АЛ-31СТ в ООО «Газпром трансгаз Уфа». Как правило, контроль комплекта лопаток одного двигателя занимает 3–4 ч. На основании опыта выполнения работ и анализа скорости развития трещин определена требуемая периодичность контроля (250–300 ч).

На втором этапе работ планируется выполнять контроль лопаток с использо-

ванием ультразвуковых датчиков в целях выявления развивающихся из внутренней полости трещин на более ранних стадиях развития. Это позволит увеличить надежность выявления трещин.

На поисковом этапе проведены сравнительные испытания эффективности контроля лопаток вихретоковым и ультразвуковым методами.

Разработчик АСВК НПЦ «Кропус» по заданию ОАО «Оргэнергогаз» разработал прототип миниатюрного ультразвукового датчика. Датчик был апробирован на комплекте лопаток ТВД, демонтированных с аварийного двигателя и поставленных УМПО. В результате контроля комплекта лопаток вихретоковым датчиком выявлены две лопатки с подозрениями на наличие дефектов, а ультразвуковым датчиком – пять лопаток (включая две лопатки, отобранные по результатам вихретокового контроля).

В целях подтверждения результатов инструментального дефектоскопического контроля силами УМПО было проведено препарирование лопаток с раскрытием сечений предполагаемого расположения трещин. В результате установлено, что вихретоковым контролем выявлены две лопатки с трещинами, выходящими на поверхность, а ультразвуковым контролем – еще три лопатки с подповерхностными трещинами на различных стадиях развития.

Таким образом, при контроле РЛ ТВД ГТД типа АЛ 31СТ ультразвуковой метод контроля показал большую эффективность, чем вихретоковый, и позволил выявить трещины на более ранней стадии развития.

На основании полученных результатов предполагаемая периодичность осмотров с использованием ультразвукового метода контроля будет составлять примерно 1000 ч, что обеспечит высокую выявляемость дефектов и повысит надежность эксплуатации двигателей АЛ-31СТ.

High-pressure turbine blades monitoring: Compressor station experience

Akimov V.I., Bakiyev T.A., Skrynnikov S.V. (OOO Gazprom Transgaz Ufa, RF, Ufa), Balyuk Yu.A. (OAO Orgenergogaz, RF, Moscow)

E-mail: vakimov@ufa-tr.gazprom.ru

Non-destructive testing of gas turbine components is a critical tool when identifying and projecting equipment status over its service life. Turbine blades are the essential part of machinery diagnostics efforts. In accordance with Reliability improvement programme for AL-31ST engines running within GPA-16R Ufa compressor package it was assumed to perform instrumental monitoring of high-pressure turbine blades at compressor station floor, without engine dismantling. Such monitoring aims

at locating fatigue cracks inside structural elements. This project is undertaken by Orgenergogaz in cooperation with Gazprom Transgaz Ufa and UMPPO. Instrumentation and equipment for HP turbine blade diagnostics were designed and manufactured by Kropus Science Centre (Noginsk, Russia).

Keywords: non-destructive testing, gas turbine, engine, reliability, blades, high pressure machines, gas compressor.