

УДК 620.179.13

С.И. МЕЛЬНИК¹, А.Г. ЧУМАКОВ², Б.Н. БАЖЕНОВ²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина²ФГУП «Московское машиностроительное производственное предприятие «Салют»», Россия

ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ ОХЛАЖДАЮЩИХ КАНАЛОВ ЛОПАТОК ТУРБИН

Представлен метод тепловой дефектоскопии локальных дефектов (типа закупорки канала и перепрожога) в охлаждаемых лопатках турбин высокого давления. Проанализировано влияние быстродействия и разрешающей способности тепловизора на эффективность расшифровки внутренней структуры лопатки.

тепловой контроль, томография локальных дефектов, лопатки турбин, качество охлаждения

Введение

Ранее на экспериментальной базе лаборатории тепловидения ФГУП «ММПП «Салют» была реализована и успешно внедрена система контроля качества охлаждения лопаток ТВД на основе оригинальной методики продувки [1]. Однако она дает лишь интегральный показатель качества, не позволяя обнаруживать и идентифицировать локальные дефекты в лопатках. В связи с этим все еще не решенной остается проблема контроля тепловым методом таких дефектов, как «прожиг», трещина, нарушение сплошности и т.п.

Нами разработан ряд алгоритмов для выявления таких дефектов. В отличие от используемой в других аналогичных методах контроля (например, в фирме «Thermosensorik») методики импульсного лазерного нагрева они предназначены для обработки термограмм, полученных при произвольном тепловом режиме. При этом в них учитываются не только временные, но и пространственные распределения [2].

В последнее время благодаря созданию принципиально нового подхода к моделированию теплофизических процессов в лопатке, разработке оригинального алгоритма тепловой томографии и использованию тепловизора «FLIR» нам удалось получить ряд обнадеживающих предварительных результатов

по выявлению локальных дефектов внутренней структуры лопаток. В дальнейшем планируется улучшить как разрешающую способность, так и чувствительность их контроля за счет оптимизации параметров режима продувки и съемки фильма, а также уточнения теплофизических свойств материала лопатки и предполагаемых дефектов.

1. Методика проведения контроля

При проведении контроля была использована автоматизированная установка для инфракрасной диагностики охлаждаемых лопаток турбин (АСТКЛ) предназначена для оценки качества внутреннего охлаждения лопаток турбин (рис. 1).

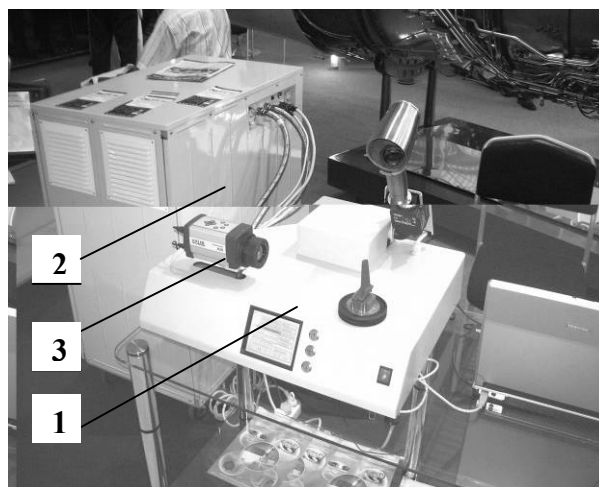


Рис. 1. Общий вид установки

Однако, в отличие от методики контроля интегрального качества охлаждения, было повышено быстродействие тепловизора (до 10 кадров в секунду), что позволило проанализировать начальный (нестационарный режим охлаждения лопатки). Продувка воздухом проводилась импульсно, за минимально достижимое на установке время.

В состав установки входят: стенд (1), компрессорный модуль (2), тепловизор (3) и компьютер для управления установкой и обработкой получаемых результатов.

2. Результаты обработки термофильмов

Ниже приведены один из кадров необработанных термофильмов и результаты его расшифровки (рис. 2 – 4). В основу метода обработки термофильма положена оригинальная методика, позволяющая одновременно учитывать как динамические, так и пространственные особенности температурного распределения. В этом и состоит ее основное отличие от известного метода тепловой томографии, в котором учтены только динамические зависимости отклика (в частности, сдвиг фазы между потоком излучения при периодическом импульсном нагреве и температурой поверхности) [3].

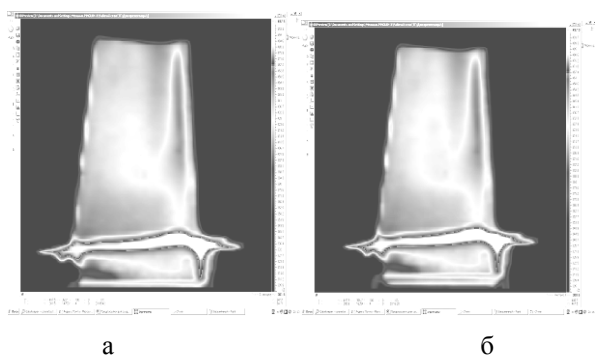


Рис. 2. Термограммы лопатки до (а) и после (б) внесения искусственного засорения визуально практически не различимы (выходные отверстия каналов охлаждения находятся с противоположной стороны лопатки)

В качестве критерия качества охлаждения был принят эффективный коэффициент теплоотдачи на заданной глубине. Было проведено сравнение тер-

мограмм лопатки, снятых до и после внесения искусственного засорения одного из охлаждающих каналов.

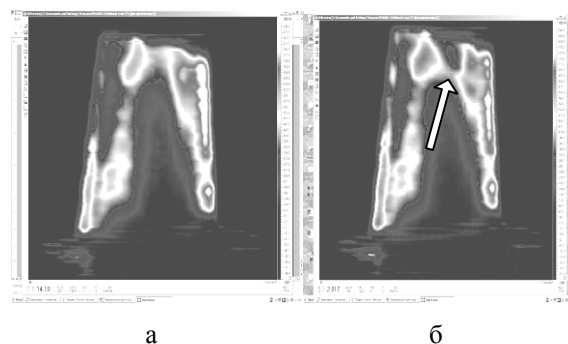


Рис. 3. В результате обработки по специальному алгоритму выявлена область засорения – наклонный канал в районе выходного отверстия, в котором значительно уменьшен эффективный коэффициент теплоотдачи

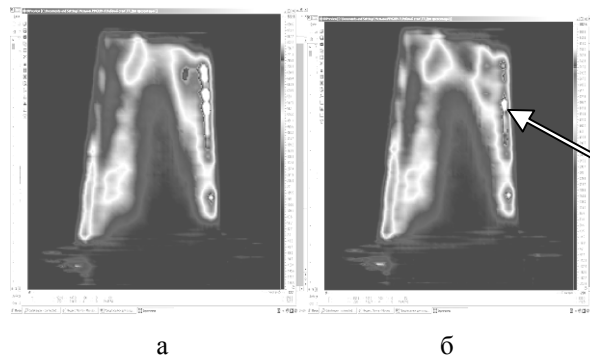


Рис. 4. В результате обработки по специальному алгоритму выявлено, что в результате засорения одного из каналов эффективность охлаждения значительно снизилась и в выше расположенных выходных отверстиях; визуальный контроль выявил «прожог» (утонение стенки) вблизи одного из отверстий

Повторный многократный контроль как исходной, так и «засоренной» лопаток, дал практически идентичные результаты (рис. 5). Это свидетельствует о высокой устойчивости алгоритма к случайным помехам.

Наиболее отчетливо отверстия видны на втором кадре при съемке «спинки» и на третьем – «корыта». На последующих кадрах (4-7) эффект сглаживается и исчезает (рис. 6). Это соответствует теоретическим оценкам времени установления регулярного режима и принципиальной необходимости оптимизировать режим съемки и обработки термофильма.

Возможности современных тепловизоров позволяют обеспечить требуемое быстродействие (время кадра порядка 0,01 с). Аналогичные результаты (после обработки по специальному алгоритму также отчетливо «видны» отверстия со стороны спинки) получены на установке фирмы «Thermosensoryk» при использовании технологии импульсного лазерного нагрева частоты порядка 100 Гц. Отметим, что такая картина может быть получена только на 3-4 кадрах термофильма, что соответствует теоретической оценке времени нерегулярного режима охлаждения лопатки (0,3 – 0,5 с).

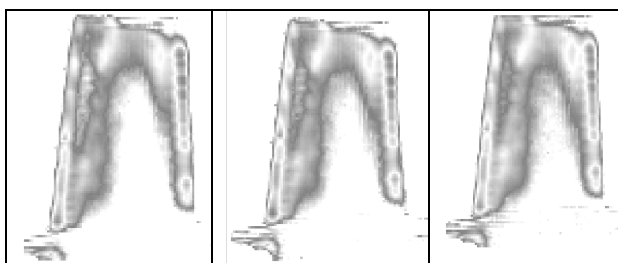


Рис. 5. Обработка повторно снятых фильмов одной и той же лопатки позволяет установить высокую воспроизводимость полученных результатов

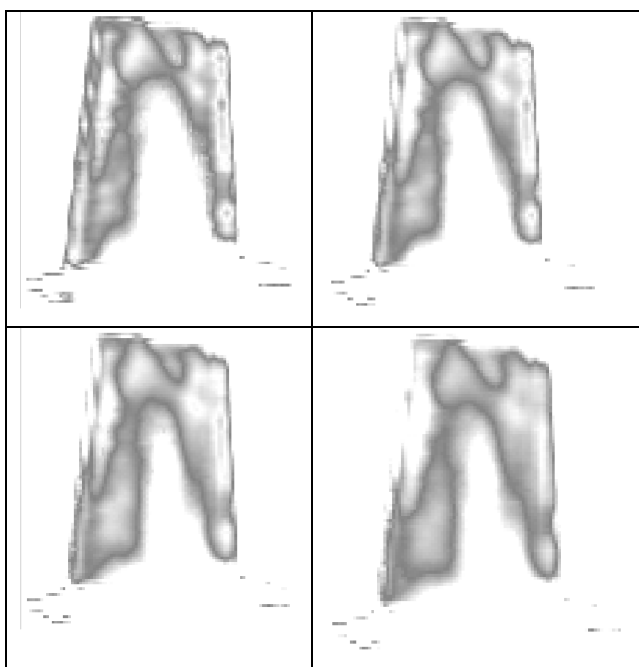


Рис. 6. «Размывание» изображения при переходе к регулярному режиму охлаждения (кадры 4-7)

Оптимизация режима съемки термофильма, а также увеличение быстродействия и пространствен-

ного разрешения тепловизионной съемки позволяют существенно улучшить качество тепловой томограммы.

Отметим, что алгоритм тепловой томографии является достаточно универсальным и пригоден практически для любых промышленных изделий при соответствующей оптимизации режимов теплового контроля и съемки термофильмов.

Выводы

Представленные предварительные результаты показывают, что можно рассчитывать на реализацию «тепловой томографии» лопаток ТВД как при использовании методики продувки, так и других методах теплового контроля. Ее сущность опирается как на возможности современной тепловизионной техники, так и на реализацию принципиально нового подхода к моделированию тепловых процессов в охлаждаемой лопатке.

Литература

1. Основные результаты, полученные в лаборатории теплового контроля НПО «Салют» и НТЦ «Термоконтроль» ХНУРЭ (Харьков) по проблеме теплового контроля дефектов элементов конструкции двигателя (техническая справка) // ФГУП «ММПП» Салют». – М., 2002. – 240 с.
2. Контроль качества охлаждаемых лопаток турбин методом продувки / С.И. Мельник, В.А. Стороженко, А.Г. Чумаков, А.Н. Шутов // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. научн. тр. – Х.: ХАИ, 2002. – Вып. 21. – С. 37-41.
3. Вавилов В.П. Тепловые методы неразрушающего контроля: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 240 с.

Поступила в редакцию 1.06.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.М. Любчик, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.