

## МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ЛОПАТОК ВЕНТИЛЯТОРА

С. Ю. ГРОМОВ<sup>1</sup>, В. К. ГРОМОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>gromova.svyatoslav@gmail.com, <sup>2</sup>vika.zhilkina.1999@mail.ru

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (УУНИТ)

**Аннотация.** Отечественное двигателестроение находится на этапе создания газотурбинных двигателей с полыми широкохордными лопатками вентилятора. Их использование позволит уменьшить массу вентилятора, а, следовательно, и массу самого двигателя. Такая конструкция позволяет снизить удельный расход топлива двигателя и увеличить расход воздуха через вентилятор, что обеспечивает увеличение тяги двигателя. Однако в процессе эксплуатации возникает вероятность появления трещины внутри лопатки вентилятора. Данный дефект может привести к дальнейшему разрушению как лопатки, так и самого двигателя. Применение методов неразрушающего контроля позволяет отследить наличие и развитие подобных дефектов. Для этого используют ультразвуковой и рентгеновский методы, а также метод акустической термографии. Недостатками этих методов являются большие временные и трудовые затраты, невозможность их применения во время оперативного технического обслуживания. Необходимо создание метода диагностики, который будет обладать достаточной точностью и не будет требовать особо сложного оборудования при небольших временных затратах. Целью данной статьи является определение возможности применения термометрии для качественной и количественной оценки дефектов на внутренней поверхности полых широкохордных лопаток вентилятора.

**Ключевые слова:** Авиационный двигатель, лопатка вентилятора, неразрушающий контроль, термометрирование, техническое обслуживание.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование внутренних дефектов полых лопаток вентилятора играет большую роль в техническом обслуживании двигателя. Невидимые для человеческого глаза трещины на внутренней поверхности могут привести к обрыву лопатки и повреждению самого двигателя. Важно не только обнаружить трещину, но и определить ее количественные характеристики (длина, глубина и т.д.). Для таких целей нашли применение следующие методы: ультразвуковой, радиографический, метод акустической термографии.

### ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ

Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователя и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия и вида дефектов [1].

Для проведения ультразвукового контроля в зависимости от конкретных условий (марки материала, его толщины, геометрических особенностей поверхностей контроля, минимально выявляемых размеров дефектов и др.) имеется достаточно широкий ассортимент средств контроля.

К главным преимуществам ультразвукового контроля качества металлов и сварных соединений относятся:

- высокая точность и скорость исследования, а также его низкая стоимость;
- безопасность для человека (в отличие, к примеру, от рентгеновской дефектоскопии);
- высокая мобильность вследствие применения портативных ультразвуковых дефектоскопов;

- возможность проведения ультразвукового контроля (в отдельных случаях) на действующем объекте, то есть на время проведения УЗК не требуется выведения контролируемой детали/объекта из эксплуатации;

- при проведении УЗК исследуемый объект не повреждается.

К основным недостаткам УЗК относятся:

- при ультразвуковой дефектоскопии невозможно дать ответ на вопрос о реальных размерах дефекта, так как размер дефекта определяется его отражательной способностью, и поэтому по результатам контроля дается эквивалентный размер;

- трудности при ультразвуковом контроле металлов с крупнозернистой структурой из-за большого рассеяния и сильного затухания ультразвука;

- подготовка исследуемой поверхности к контролю для ввода ультразвуковых волн в металл;

- необходимость нанесения на контролируемый участок изделия после его зачистки непосредственно перед выполнением контроля контактных жидкостей (специальные гели, глицерин, машинное масло и др.) для обеспечения стабильного акустического контакта.

Радиографический метод заключается в облучении исследуемого объекта гамма-лучами или рентгеновским излучением. Так как однородный металл лучше поглощает лучи, чем пустоты, нарушающие структуру материала, дефектные участки обозначаются светлыми пятнами, соответствующими форме и размерам обнаруженных дефектов [2].

Преимущества:

- высокая точность;

- возможность определения абсолютных размеров дефектов.

Недостатки:

- сложное и дорогое оборудование;

- необходимость высококвалифицированного персонала;

- обеспечение жёсткого контроля над использованием аппаратуры согласно инструкции и расходом материалов, так как при неправильном их применении и сохранности материалы могут оказаться опасными для здоровья, а иногда и жизни работников (загрязнение радиоактивными элементами оборудования, спецодежды, человеческого тела, рабочих мест).

В процессе акустической термографии звуковая энергия применяется для возбуждения лопасти вентилятора. Если в металле существует разрыв, возбуждение приведет к перемещению каждой стороны контактирующего разрыва, что приведет к нагреву при трении. Нагрев от трения обнаруживается на поверхности лопасти вентилятора с помощью тепловизионного датчика.

Для исследования всей лопасти вентилятора выпуклые и вогнутые поверхности профиля лопасти вентилятора разделены на зоны, и управляемый компьютером термодатчик снимает изображение каждой зоны при подаче звуковой энергии. После полного сканирования обеих сторон лопасти вентилятора изображения обрабатываются компьютером и затем выводятся на монитор для оценки инспектором. Компьютер может улучшить изображение, чтобы помочь инспектору оценить любые показания. Некоторые неопределенные признаки могут потребовать повторного осмотра. Если на лопасти вентилятора есть признаки, которые инспектор не в состоянии оценить окончательно, инспектор должен направить изображения вместе с лопастью вентилятора инженеру-технологу для дальнейшей оценки и возможного применения альтернативных методов неразрушающего контроля, таких, как ультразвуковой или рентгеновский контроль. Согласно исследованиям, проведенным в [3], выявлено, что трещина является не только концентратором напряжений, но и концентратором теплового потока: значения теплового потока и градиента температурного поля вблизи трещины много больше, чем вдали от

нее. Это значит, что трещина искажает температурное поле, характерное для образца без трещины. Это искажение локализовано вблизи трещины, и размеры области искажения определяются размерами трещины. Отсюда следует важнейший практический вывод: для выявления внутренних дефектов возможна тепловая диагностика, что может стать одним из эффективных методов неразрушающего контроля.

### РАССМАТРИВАЕМЫЙ МЕТОД

Предлагаемый метод диагностики заключается в применении активного одностороннего теплового контроля (рис. 1).

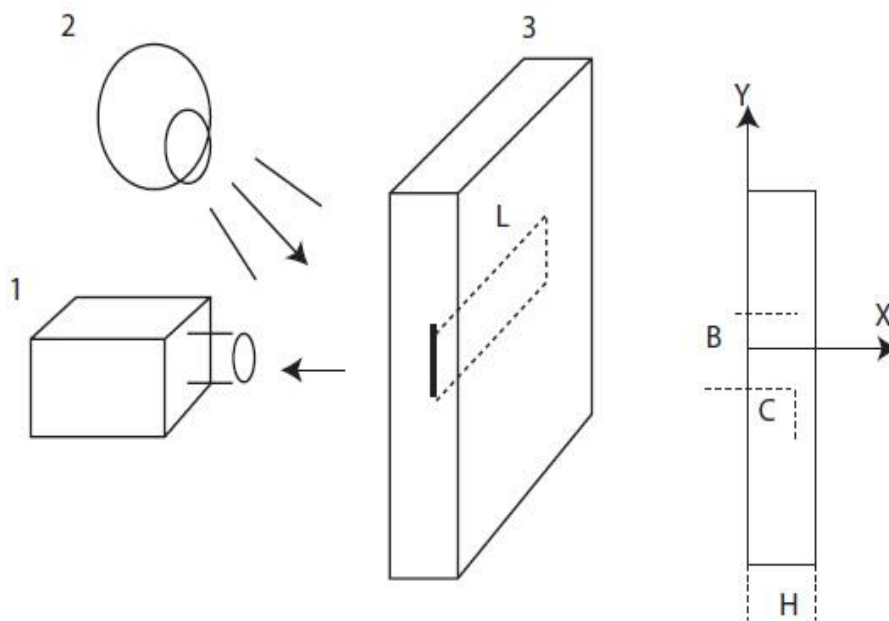


Рис. 1. Схема активного теплового контроля: 1 – приемник теплового излучения; 2 – источник нагрева; 3 – объект контроля с внутренним дефектом; В – ширина дефекта; С – глубина залегания дефекта; L – длина дефекта; Н – толщина объекта контроля

Лопатка вентилятора подвергается предварительному нагреву. Затем с помощью приемника теплового излучения регистрируется температурное поле объекта контроля. После этого происходит сравнение температурного поля эталонной лопатки с температурным полем контролируемой лопатки. При наличии различий делается вывод о наличии дефекта, а степень различия информирует о серьезности дефекта.

Для проверки возможности применения данного метода была создана модель. Ею является пластина с углублениями, имитирующими внутренние трещины.

В качестве граничных условий подается тепловой поток на наружную стенку плотностью  $1000 \text{ Вт/м}^2$  и конвективный теплообмен.

Как видно на распределении температур на внутренней и внешней стенках (рис. 2), вокруг «трещин» наблюдаются искажения поля распределений. Значит, применение данного метода возможно. В дальнейшей работе необходимо уточнить граничные условия: количество подводимого тепла, свойства материала, используемого в лопатках, размеры трещин; рассмотреть влияние размера трещины на изменение температурного поля.

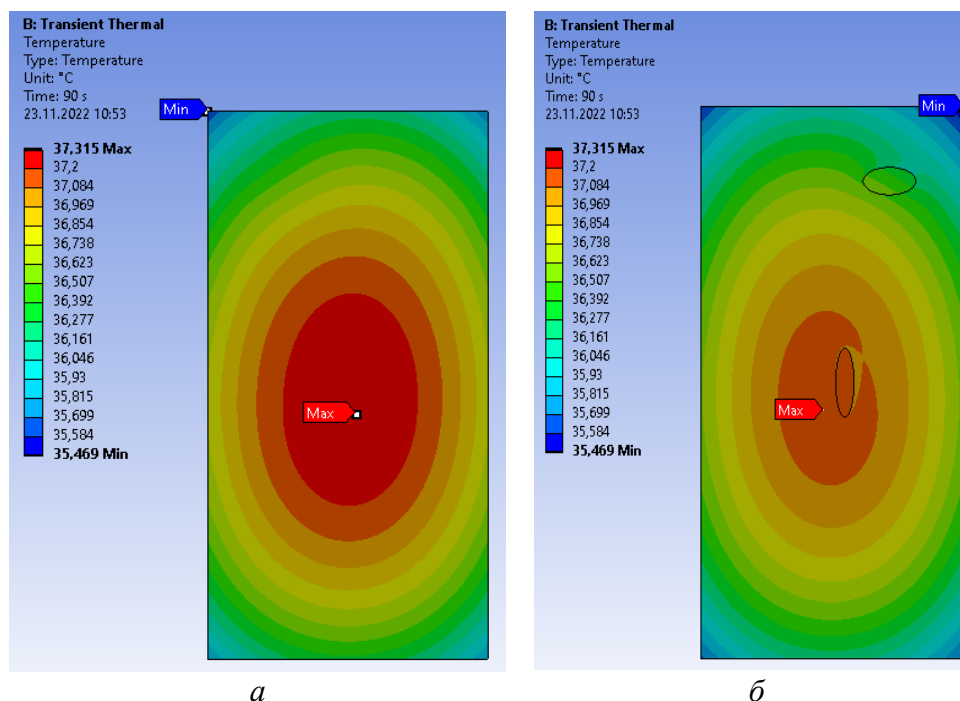


Рис. 2. Результаты расчета: а – распределение температур на внешней стенке; б – распределение температур на внутренней стенке

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие методы диагностики внутренних дефектов требуют больших временных затрат, а в случае радиографического метода диагностики может оказывать негативное влияние на людей, проводящих дефектоскопию. Предлагаемый метод позволит производить диагностику быстрее, так как можно будет нагревать лопатку полностью. Однако необходимо продолжать работу над данным методом, так как важно выявить зависимость искажения температурного поля от: количества подводимого тепла, свойств материала, размер трещин. Также необходимо установить, при каких размерах трещины будет существенно изменяться температурное поле лопатки, чтобы можно было с высокой степенью вероятности утверждать, что в этой лопатке действительно находится трещина. Данные исследования будут производиться в дальнейшей работе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ультразвуковой контроль (УЗК) [Электронный ресурс]. Режим открытого доступа. URL: [http://www.zaorkti.spb.ru/services07\\_46.html](http://www.zaorkti.spb.ru/services07_46.html) (дата обращения 21.11.2022).
2. Дефектоскопия рентгеновская [Электронный ресурс]. URL: <https://suet-ndt.ru/c11520007910/rentgenovskaya> (дата обращения 21.11.2022).
3. Валишин А.А. Возмущение температурного поля трещиной в полимерных материалах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. Вып. 11.

### ОБ АВТОРАХ

ГРОМОВ Святослав Юрьевич, студент каф. АД.  
ГРОМОВА Виктория Константиновна, студент каф. АД.

### METADATA

**Title:** Method of diagnostics of fan blades.  
**Authors:** S. Y. Gromov 1, V. K. Gromova2  
**Affiliation:** Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.  
**Email:** <sup>1</sup>gromov.svyatoslav@gmail.com, <sup>2</sup>vika.zhilkina.1999@mail.ru  
**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), no. 2 (28), pp. 55-59, 2023. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** Domestic engine building is at the stage of creating gas turbine engines with hollow wide-chord fan blades. Their use will reduce the mass of the fan, and, consequently, the mass of the engine itself. This design allows you to reduce the specific fuel consumption of the engine and increase the air flow through the fan, which provides an increase in engine thrust. However, during operation, there is a possibility of a crack inside the fan blade. This defect can lead to further destruction of both the blade and the engine itself. The use of non-destructive testing methods allows you to track the presence and development of such defects. For this purpose, ultrasonic and X-ray methods are used, as well as the method of thermal acoustic imaging. The disadvantages of these methods are large time and labor costs, the impossibility of their use during operational maintenance. It is necessary to create a diagnostic method that will have sufficient accuracy and will not require particularly complex equipment at low time costs. The purpose of this article is to determine the possibility of using thermometry for qualitative and quantitative evaluation of defects on the inner surface of a hollow wide-chord fan blade.

**Key words:** aircraft engine, fan blade, non-destructive testing, maintenance, thermometry.

**About authors:**

**GROMOV, Svyatoslav Yurievich**, Postgrad. Student, Dept. of Aircraft Engines.

**GROMOVA, Viktoria Konstantinovna**, Postgrad. Student, Dept. of Aircraft Engines.