

## Влияния свойств материала и геометрии охлаждающих каналов на прочность лопатки турбины

А. А. Салимзянова<sup>1</sup>, А. Х. Рахимов<sup>2</sup>, А. С. Гишваров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> nikaxa@inbox.ru, <sup>2</sup> mr.abdusattor@list.ru, <sup>3</sup> kafedra.ad@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

**Аннотация.** Проведено исследование влияния материалов ЖС-32 и ВЖМ-4, а также геометрии охлаждающих каналов на запас прочности лопатки 1 ступени турбины ТРДД.

**Ключевые слова:** рабочая охлаждаемая лопатка турбины; температурное состояние; жаропрочный сплав; прочность.

### ВВЕДЕНИЕ

Рабочие охлаждаемые лопатки первой ступени турбины высокого давления (ТВД) авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) являются одними из самых нагруженных элементов в тепловом и прочностном отношении, в которых лопатки подвергаются высокому нагреву и механическому нагружению. В связи с этим при проектировании лопаток большое внимание уделяется выбору способа их охлаждения [1].

Рабочие лопатки ТВД подвергаются поломке или разрушению из-за высоких температур, центробежных воздействий на лопатку, а также влияния аэродинамических и вибрационных сил.

Анализ досрочно снятых двигателей показывает, что основными причинами их выхода из строя являются:

- 1) несовершенство конструкции;
- 2) неудачная технология или нестабильность производства;
- 3) низкое качество или нестабильность материала;
- 4) дефекты комплектующих изделий (изделий смежников);
- 5) нарушение правил эксплуатации и обслуживания двигателей.

Это, в свою очередь, приводит:

- а) к повышенной вибрации;
- б) к усталостным разрушениям лопаток;
- в) к дефектам по опорам;

г) к исчерпанию длительной прочности лопаток;

д) к разрушению элементов камеры сгорания.

Поэтому важной является проблема обеспечения надежности лопаток ТВД (рис. 1).

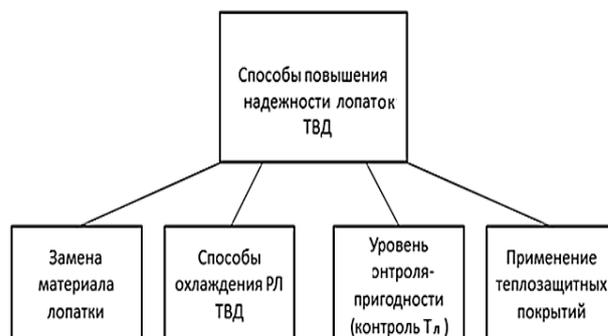


Рис. 1. Способы обеспечения надежности лопаток ТВД

В настоящее время для лопаток турбин двигателей 5-го поколения применяют жаропрочные сплавы ЖС-32 и ВЖМ-4, позволяющие снизить теплонагруженность лопатки и обеспечить требуемый запас прочности.

В данной работе проводилось исследование перечисленных материалов и геометрии охлаждающих каналов на запас прочности охлаждаемых лопаток 1 ступени турбины ТРДД (рис. 2).

Расчет теплового и прочностного состояния лопатки ТВД проводился с применением программного комплекса ANSYS.

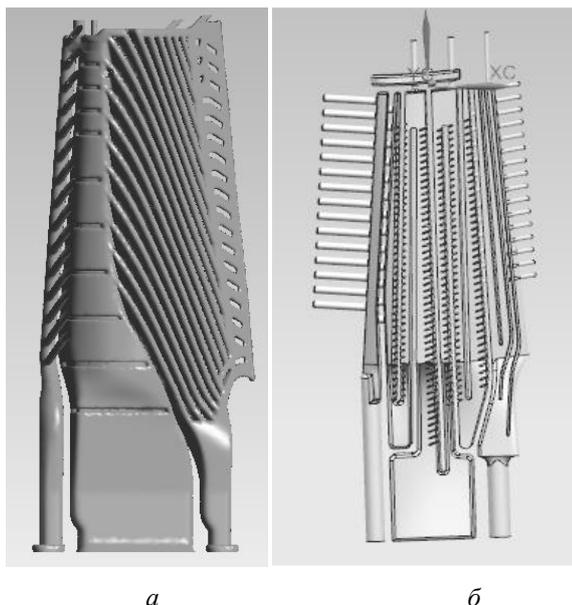


Рис. 2. Трехмерная модель охлаждающих каналов лопатки ТВД:

*а* – циклонно-матричное охлаждение; *б* – комбинированное конвективно-пленочное охлаждение

Для рассматриваемой лопатки применяется комбинированное конвективно-пленочное охлаждение. В каналах установлены полки, тормозящие поток охлаждающего воздуха, тем самым улучшая охлаждение лопатки.

Температурное поле профильной части лопатки для двух типов охлаждения приведено на рис. 3, откуда видно, что лопатка с измененной геометрией охлаждающих каналов более эффективна. Расположение перфорационных отверстий на входной кромке позволяет улучшить охлаждение лопатки.

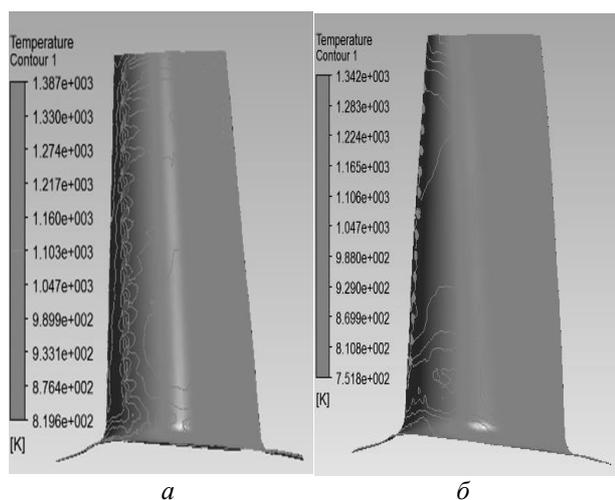


Рис. 3. Температурное поле лопаток:

*а* – исходная лопатка  $T_{л. max} = 1387 \text{ K}$ ;  
*б* – лопатка с новой геометрией охлаждающих каналов  $T_{л. max} = 1342 \text{ K}$

Распределение коэффициента запаса прочности по перу лопатки приведено на

рис. 4, *а* распределение температуры по профильной части лопатки и эквивалентных напряжений по перу лопатки приведено на рис. 5.

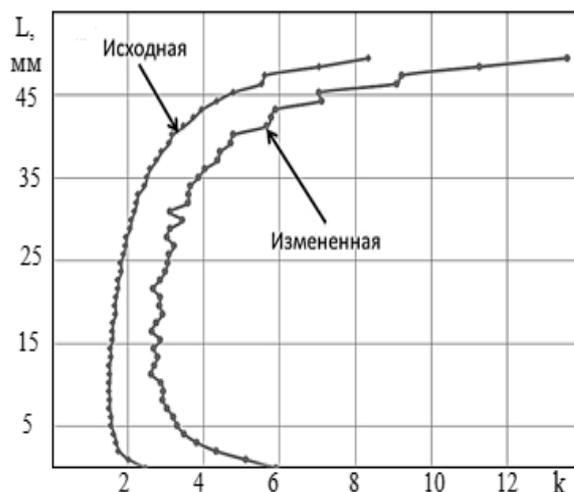


Рис. 4. Распределение коэффициента запаса прочности по высоте лопатки

Видно, что у лопатки с измененной геометрией охлаждающих каналов температура меньше, чем у исходной лопатки.

Оценка повреждаемости лопатки проводилась по формуле:

$$P = \tau / \tau^* \quad (1)$$

где  $\tau$  – время работы лопатки на режиме;  $\tau^*$  – долговечность лопатки (время до разрушения).

Для сплава ЖС-32  $\tau^* = 775$  часов; для сплава ВЖМ-4:  $\tau^* = 1193$  часа.

Если повреждаемость исходной лопатки была равна:

$$P_0 = 0,25,$$

то замена материала лопатки позволила уменьшить повреждаемость до:

$$P_1 = 0,13.$$

Изменение геометрии охлаждающих каналов лопатки, изготовленной из сплава ЖС-32, позволило уменьшить повреждаемость до:

$$P_2 = 0,08,$$

а изменение геометрии охлаждающих каналов лопатки, изготовленной из сплава ВЖМ-4, позволило уменьшить повреждаемость до:

$$P_3 = 0,06.$$

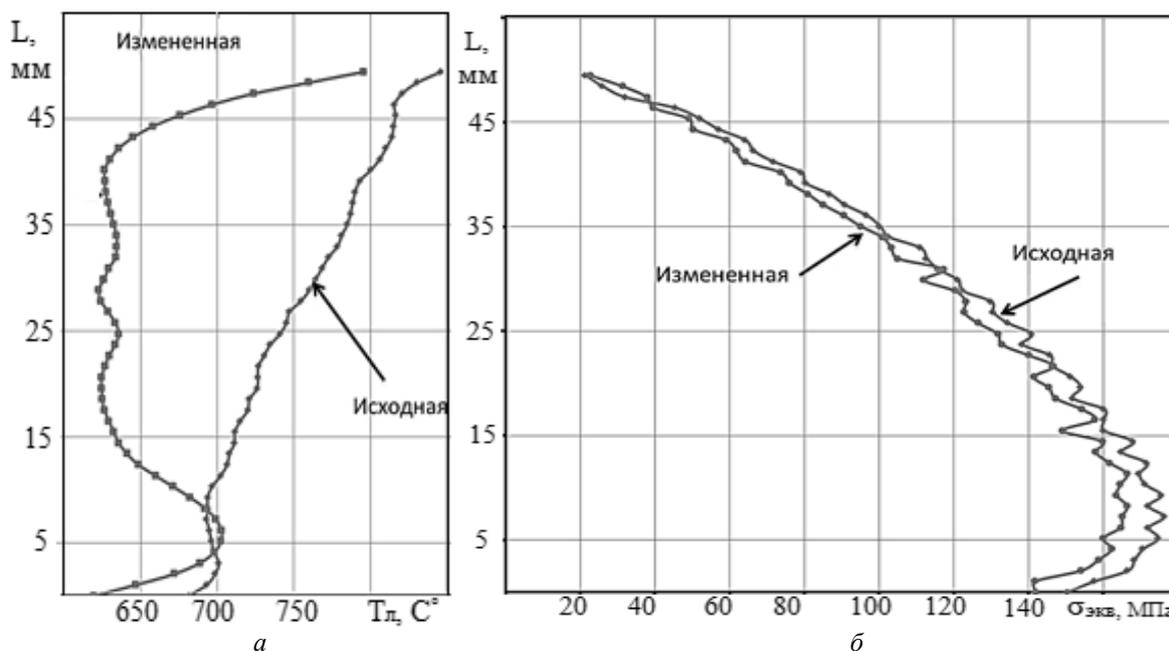


Рис. 5. Распределение температуры (а) по профильной части лопатки и эквивалентных напряжений (б) исходной и измененной лопаток

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, замена материала лопатки на сплав ВЖМ-4 и изменение геометрии охлаждающих каналов позволяет увеличить ресурс лопатки на взлетном режиме с  $\tau_{рес.} = 155$  ч до  $\tau_{рес.} = 298$  ч, т.е. увеличить ресурс в  $\approx 2$  раза.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гишваров А. С., Рахимов А. Х. Влияние параметров охлаждающего воздуха на температурное состояние рабочей лопатки турбины ГТД // Материалы XIII международной научно-практической конференции «Тенденции в современной науке-2017», Великобритания, Шеффилд, 2017 С.28-29. [A. S. Gishvarov, A. H. Rakhimov. The influence of the parameters of the cooling air on the temperature state of the rotor blade of the turbine GTD // Proceedings of XIII International Scientific-Practical Conference "Trends in contemporary science-2017", UK, Sheffield, 2017 p.28-29].

## ОБ АВТОРАХ

**РАХИМОВ Абдусаттор Хасанович** асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по авиастр. (УГАТУ, 2017). Исс. в обл. надежности и ресурса авиац. двиг.

**САЛИМЗЯНОВА Айгуль Альфировна** асп. каф. авиационных двигателей. Дипл. маг. по энер. машин. (УГАТУ, 2014). Исс. в обл. надежности и ресурса ГТД.

**ГИШВАРОВ Анас Саидович**, проф., зав. каф. авиац. двиг. Дипл. инж.-мех. по авиац. двиг. (УАИ, 1973). Д-р техн. наук по тепл. двиг. летательных аппаратов (УГАТУ, 1993). Иссл. в обл. надежности, ресурса, испытаний и прогнозирования состояния техн. систем.

## METADATA

**Title:** Studies strength cooled rotor blade of high pressure turbine.

**Authors:** A. A. Salimzyanova<sup>1</sup>, A. A. Rakhimov<sup>2</sup>, A. S. Gishvarov<sup>3</sup>.

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>nikaxa@inbox.ru, <sup>2</sup> mr.abdusattor@list.ru,

<sup>3</sup> kafedra.ad@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (21), pp. 122-124, 2019. ISSN 2225-9309 (Print).

**Abstract:** studied strength cooled high pressure turbine rotor blade turbopan used as a ground drive turbine.

**Key words:** The working cooled turbine blade, the temperature state, the high-temperature alloys, the strength

**About authors:**

**SALIMZYANOVA, Aigul Alfirovna**, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Power Engineering (USATU, 2014).

**RAHIMOV, Abdusattor Hasanovich**, PhD Stud., Dept. of Aircraft Engines. Accident (USATU, 2017).

**GISHVAROV, Anas Saidovich**, Prof., Dept. of Aircraft Engines. Dipl. engineer (USATU, 1973). Dr. of Tech. Sci. (USATU, 1993).