

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО И ПРОЧНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОХЛАЖДАЕМОЙ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

А. А. Салимзянова¹, А. Х. Рахимов², Г. Ф. Спиридонов³,
К. Л. Изиметов⁴, А. А. Васильев⁵

¹ nikaxa@inbox.ru, ² mr.abdusattor@list.ru, ³ spiridonov.grigorii@mail.ru,
⁴ izimetovk2@mail.ru, ⁵ vasilievanton.a@yandex.ru

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

Аннотация. Рассматриваются результаты исследования теплового и прочностного состояния охлаждаемой рабочей лопатки турбины высокого давления. Исследование проведено с применением программного комплекса Ansys. Показаны преимущества жаропрочного сплава ВЖМ-4, используемого в качестве материала охлаждаемой лопатки.

Ключевые слова: турбина; рабочая лопатка; конвективно-пленочное охлаждение; тепловой расчет; прочностной расчет.

ВВЕДЕНИЕ

Рабочие лопатки 1 ступени турбины, как правило, являются наиболее нагруженными деталями двигателя, от работоспособности которых зависит ресурс двигателя в целом. С тенденцией развития авиадвигателестроения условия работы лопаток турбины становятся более тяжелыми. Это требует применения различных методов повышения надежности лопаток, одним из которых является применение охлаждения, позволяющее значительно уменьшить тепловую нагрузку и повысить ресурс лопатки.

Существует несколько способов охлаждения рабочей лопатки турбины: конвективное, конвективно-пленочное и пористое.

При конвективном охлаждении воздух проходит через корневую часть лопатки, далее по специальным каналам проходит внутри лопатки и выходит в проточную часть турбины. Во внутренних каналах воздух может течь в различных направлениях. Недостатком такого охлаждения является неравномерность температурного поля по перу лопатки. С другой стороны, лопатки с такой схемой охлаждения имеют простую технологию изготовления.

Наиболее нагретыми участками в этой схеме охлаждения являются входная и выходная кромки лопатки.

Применение схемы внутреннего конвективного охлаждения позволяет обеспечить работу лопаток при температуре газа не более 1400 К. При более высоких температурах применяют комбинированные схемы охлаждения, используя как внутреннее, так и внешнее (пленочное) охлаждение.

При внешнем охлаждении, за счет подачи охлаждающего воздуха через перфорационные отверстия вокруг лопатки образуется заградительная пленка, которая способствует уменьшению теплоотдачи от газов к лопатке.

Пористое охлаждение отличается от пленочного мелкими отверстиями и меньшим их количеством. В пористых охлаждениях воздух проходит через мелкие отверстия (перфорацию) в стенке лопатки, и образует теплозащитный слой на наружной поверхности.

В данной статье рассматриваются результаты исследования рабочей лопатки турбины высокого давления с конвективно-пленочным охлаждением. Материал лопатки – сплав ВЖМ-4.

Структура проведения исследования лопатки, включающая проведение теплового и прочностного расчетов с применением программного комплекса ANSYS, приведена на рис. 1.

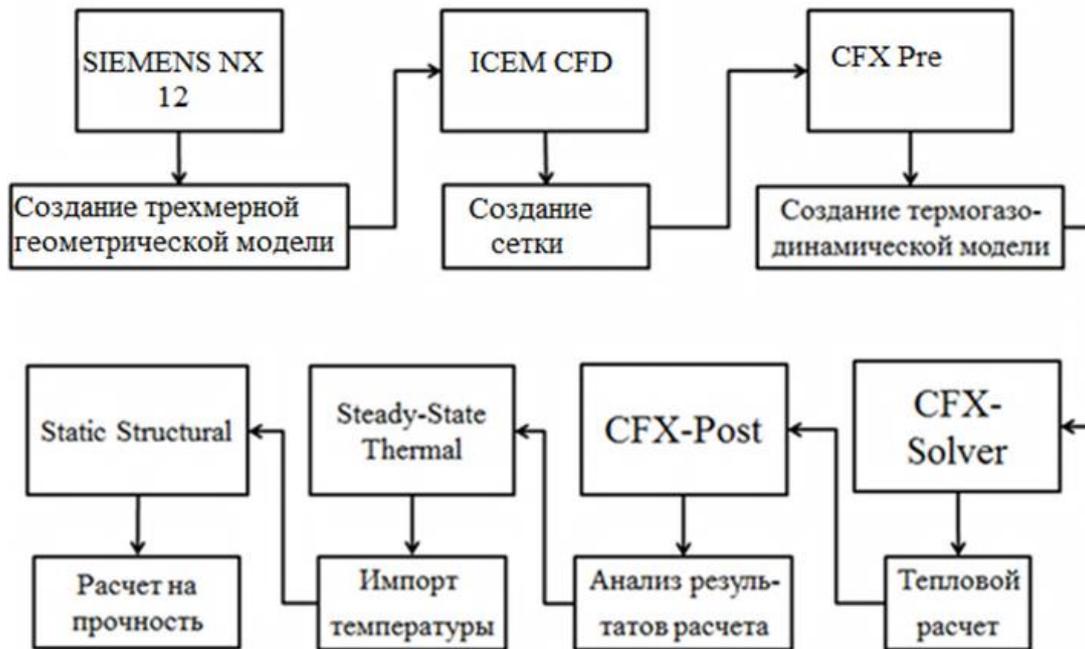


Рис. 1. Структура проведения тепловых и прочностных расчетов лопатки в ПО ANSYS

Исследование проводилось с построением трехмерной модели лопатки. Сетка строилась с помощью подпрограммы ANSYS ICEM CFD. Полученная сеть импортировалась в CFX – Pre, задавались граничные условия и ограничения. Расчет проводился в CFX – Post, далее проводился анализ результатов.

В процессе исследования установлено, что температура со стороны корытца лопатки больше чем со стороны спинки, что объясняется наличием при конвективно-пленочном охлаждении перфорационных отверстий, проходя через которые охлаждающий воздух создает заградительную пленку. В результате теплоотдача от газов к лопатке уменьшается. Расположение перфорационных отверстий на входной кромки лопатки, что положительным образом сказывается на работе лопатки, так как именно на нее в большей степени воздействует температура газов.

Температурное поле лопатки показано на рис. 2 и 3.

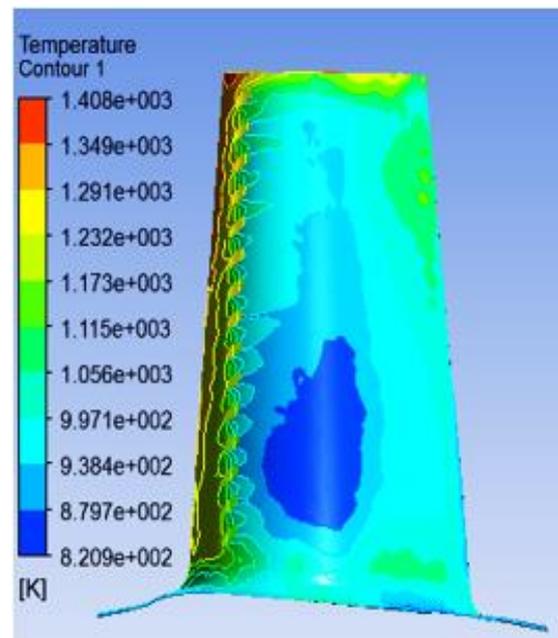


Рис. 2. Температурное поле лопатки

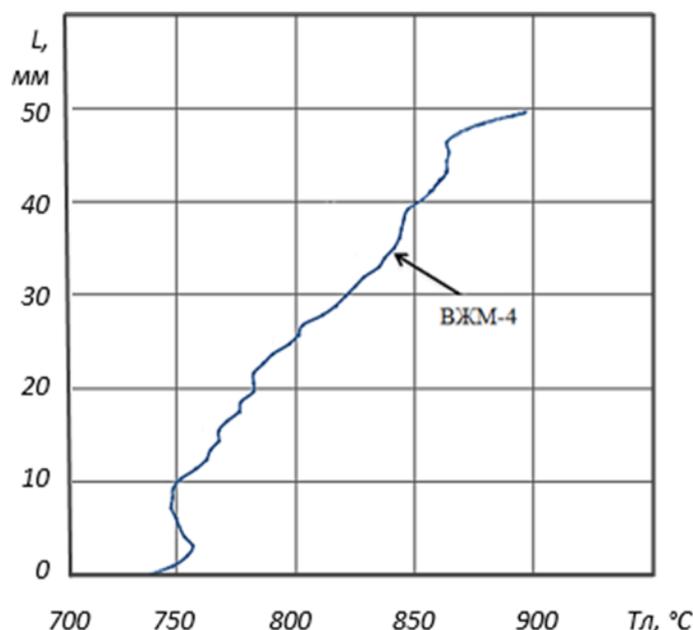


Рис. 3. Распределение температуры по профильной части лопатки

Прочностные характеристики сплава ВЖМ-4 позволяют:

- повысить температуру газов перед турбиной;
- уменьшить расход воздуха на охлаждение лопаток, отбираемый из компрессора;
- увеличить ресурс лопатки.

Распределение эквивалентных напряжений и запаса прочности лопатки приведены на рис. 4.

Результаты расчетов лопатки с измененной геометрией охлаждающих каналов

показали, что представляется возможным повысить интенсивность охлаждения входной кромки лопатки (рис. 5.).

Установлено, что уменьшение расхода охлаждающего воздуха лопатки (сохраняя при этом запас прочности равным $k = 1,5$) возможно с $G_{охл} = 0,034$ кг/с до $G_{охл} = 0,027$ кг/с, т.е. на 20,5 %. С другой стороны, при неизменном расходе охлаждающего воздуха (сохраняя при этом запас прочности равным $k = 1,5$) можно увеличить температуру газов перед турбиной с $T_r^* = 1660^\circ\text{C}$ до $T_r^* = 1700^\circ\text{C}$.

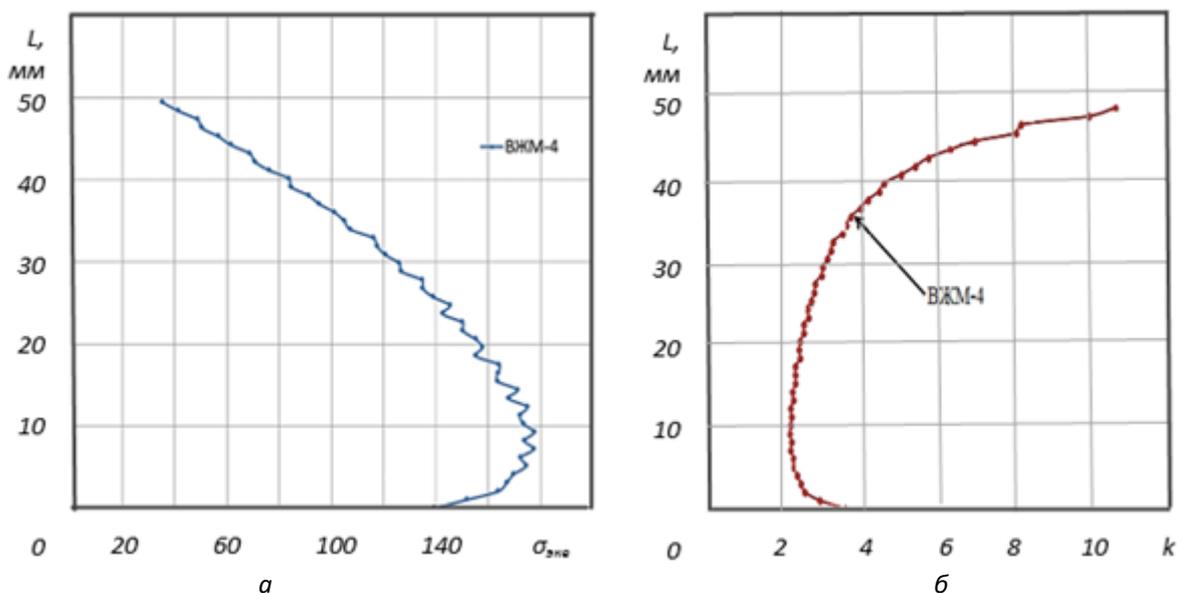


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений (а) и коэффициента запаса прочности (б) по перу лопатки

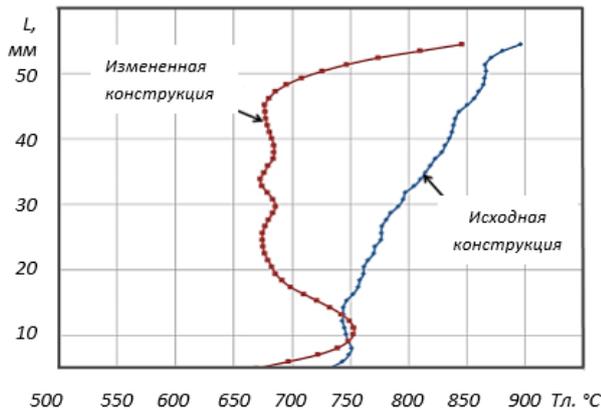


Рис. 5. Распределение температуры лопатки по профильной части

Таблица 1

Расход охлаждающего воздуха лопатки ТВД

$G_{\text{охл}}$, [кг/с]	σ_T^f , [МПа]	k
0.034	310	1.78
0.03	290	1.67
0.028	280	1.61
0.026	220	1.27
0.027	260	1.5

Таблица 2

Зависимость предела длительной прочности и коэффициента запаса прочности от температуры газа

T_g , [°C]	σ_T^f , [МПа]	k
1660	305	1.75
1670	290	1.67
1680	280	1.6
1690	265	1.52
1700	255	1.5

Таким образом, применение конвективно-пленочного охлаждения для рабочих лопаток турбины из сплава ВЖМ-4 позволяет повысить температуру газа перед турбиной, уменьшить расход охлаждающего воздуха и увеличить ресурс рабочей лопатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способы охлаждения лопаток газовых турбин воздухом [Электронный ресурс] URL: <https://studfile.net/preview/6653857/page:25/> (Дата обращения: 12.01.2020)

2. 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. [Gishvarov A. S., Rakhimov A. H. 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

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

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

СПИРИДОНОВ Григорий Федорович, магистрант 1-го курса факультета авиационных двигателей энергетики и транспорта.

ИЗИМЕТОВ Кирилл Леонидович, магистрант 1-го курса факультета авиационных двигателей энергетики и транспорта.

ВАСИЛЬЕВ Антон Александрович, магистрант 2-го курса факультета авиационных двигателей энергетики и транспорта.

METADATA

Title: Investigation of the thermal and strength state of the cooled working blade of a high-pressure turbine

Authors: A. A. Salimzyanova ¹, A. H. Rakhimov ², G. F. Spiridonov ³, K. L. Izimetov ⁴, A. A. Vasiliev ⁵

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ nikaxa@inbox.ru, ² mr.abdusattor@list.ru, ³ spiridonov.grigorii@mail.ru, ⁴ izimetovk2@mail.ru, ⁵ vasilievanton.a@yandex

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 1 (22), pp. 129-132, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: Realization of the Web OLAP providing formation of hypercubes "on the fly" from situation-oriented database (SODB) is discussed. The architecture of an OLAP-application on the basis of SODB is considered. The database ER-model as a basis of the conceptual multidimensional model which is setting a set of potential hypercubes is used. Design of hypercubes dimensions and measures are discussed. The approach is illustrated on an example of multidimensional activity model for dissertational councils of scholar institution.

Key words: Web OLAP; multidimensional data model; ER-model; situation-oriented database.

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).

SPIRIDONOV, Grigorii Fedorovich, mag. USATU.

IZIMETOV, Kirill Leonidovich, mag. USATU.

VASILIEV Anton Aleksandrovich, mag. USATU.