

## СВЕДЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.08

**Соискатель:** Ле Тиен Зыонг

**Тема диссертации:** Конструктивные методы обеспечения прочности и повышения эффективности бандажных полок лопаток рабочего колеса турбины газогенератора авиационных ГТД

**Специальность:** 05.07.05 - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:** На заседании 22 апреля 2019 года диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Ле Тиен Зыонг ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** председатель диссертационного совета Равикович Ю.А., ученый секретарь диссертационного совета Зуев Ю.В., члены диссертационного совета: Агульник А.Б., Абашев В.М., Демидов А.С., Козлов А.А., Коротеев А.А., Кочетков Ю.М., Краев В.М., Лесневский Л.Н., Молчанов А.М., Мякочин А.С., Надирадзе А.Б., Назаренко И.П., Ненарокомов А.В., Никитин П.В., Попов Г.А., Силуянова М.В., Тимушев С.Ф., Хартов С.А.

Ученый секретарь диссертационного совета

Д 212.125.08, д.т.н., профессор

Ю.В. Зуев



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.08,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.04.2019 № 6

О присуждении Ле Тиен Зыонг, гражданину Социалистической Республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Конструктивные методы обеспечения прочности и повышения эффективности бандажных полок лопаток рабочего колеса турбины газогенераторов авиационных ГТД» по специальности 05.07.05 – «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» принята к защите 28.01.2019 г. (протокол № 3) диссертационным советом Д 212.125.08, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ Минобрнауки РФ о создании диссертационного совета - №105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Ле Тиен Зыонг, 1986 г. рождения, является слушателем Центра повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В 2011 г. соискатель окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки». В 2017 году окончил аспирантуру «Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Диссертация выполнена на кафедре «Конструкция и проектирование двигателей» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Нестеренко Валерий Григорьевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Конструкция и проектирование двигателей», доцент.

Официальные оппоненты:

- Мамаев Борис Иванович, доктор технических наук, профессор, Опытно-конструкторское бюро им. А. Люльки – филиал ПАО «ОДК – Уфимское моторостроительное производственное объединение», расчетно-исследовательский отдел, главный специалист;

- Вятков Владимир Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева", кафедра «Авиационные двигатели», доцент

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Кривошеевым Игорем Александровичем, доктором технических наук, профессором кафедры «Авиационные двигатели» и утвержденном Криони Николаем Константиновичем, доктором технических наук, профессором, ректором университета, указала, что диссертация Ле Тиен Зыонг представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Автором решена важная научная задача, имеющая практическую значимость для отрасли авиационного двигателестроения. Разработаны конструктивные методы обеспечения прочности повышения эффективности бандажных полок рабочих лопаток ротора ТВД, обеспечивающих повышение КПД этой ступени турбины, который в настоящее время снизился вследствие: не оптимальности наружной формы профильной части лопаток из-за наличия каналов охлаждения; снижения относительной высоты лопаток из-за роста величины степени сжатия в компрессоре; утолщения входных и выходных кромок охлаждаемых лопаток и т.д., увеличения ресурса их работы, вследствие повышенной вибрационной прочности бандажированных лопаток. Работа отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Ле Тиен Зыонг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05. - «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, все по теме диссертации, общим объемом 1,5 п.л., из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ. Из 10 печатных работ: 5 - статьи в научных журналах,

5 - тезисы докладов на научных конференциях; все работы написаны в соавторстве. Эти работы посвящены:

- исследованию конструктивных вариантов проектирования бандажных полок охлаждаемых лопаток турбин;

- исследованию критичных участков бандажных полок и профильной части пера лопатки, прочность и температурное состояние которых определяет возможность установки бандажной полки;

- исследованию возможности снижения перетеканий газа через торец лопаток, в их радиальном зазоре, за счёт новых конструктивных решений, обеспечивающих решение этой проблемы;

- разработке методики численного моделирования теплового, напряжённого состояния и линий тока газа в концевой части бандажированных лопаток турбины в рабочих условиях с использованием системы ANSYS Workbench;

- разработке способа обеспечения прочности и ресурса бандажной полки за счёт оптимизации её конструкции и системы конвективно-плёночного охлаждения.

Авторский вклад заключается в обобщении результатов исследований и подготовке публикаций в рецензируемых журналах.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значительные работы:

1. Ле Т.З., Нестеренко В.Г. Исследование и оптимизации теплового состояния и уровня допустимых напряжений в бандажных полках рабочих лопаток турбин газогенераторов высокотемпературных авиационных ГТД // Труды МАИ. 2018. №102. URL <http://trudymai.ru/published.php?ID=99685> (дата обращения: 15.12.2018).

2. Ле Т.З., Нестеренко В.Г. Оптимизация системы конвективно-плёночного охлаждения рабочих лопаток турбины высокого давления

современных и перспективных ГТД // Научно-технический журнал «Двигатель». 2018. №5(119). С. 2–5.

3. Ле Т.З., Нестеренко В.Г. Методика проектирования профильной части бандажированных лопаток ротора турбины высокого давления ГТД // Научно-технический Вестник Поволжья. 2017. №4, С. 54–57.

4. Ле Т.З., Нестеренко В.Г. Особенности проектирования охлаждаемых лопаток высокотемпературных турбин высокого давления с бандажной полкой // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №1(67). С. 84-89.

5. Ле Т.З., Нестеренко В.Г. Разработка и исследование конструктивных способов повышения КПД в концевых участках лопаток ТВД авиационных ГТД // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №1(67). С. 71-84.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора тех. наук, профессора Мамаева Б.И.** содержит замечания:

1. Один из главных положительных результатов от использования полки заключается в возможности уменьшить радиальный зазор и уплотнить его лабиринтом. Вместе с тем, требуется дополнительный расход охлаждающего воздуха, и могут ухудшиться аэродинамические характеристики профилей. Автор не приводит результатов комплексного анализа всех этих процессов, который должен подвести баланс между влияниями изменений КПД и расхода охладителя и показать суммарный эффект в экономичности ГТД.

2. Предлагая систему комбинированного охлаждения полки, автор не приводит ее внутреннюю схему и устройство. Это затрудняет понимание и оценку данного предложения.

3. Установка бандажной полки создает проблемы не только для пера лопатки, но и для его замкового соединения с диском. Возможна потеря

устойчивости наиболее горячего гребешка лабиринта в его утоненной периферийной части при изгибе свисающих краев полки. Эти проблемы не затронуты в диссертации.

4. Методика проектирования бандажной полки (исходные данные, порядок действий, выбор размеров, критерии оптимизации и т. д.) описана не полностью.

5. Нельзя не отметить, что в тексте встречаются грамматические и стилистические ошибки.

**Отзыв на диссертацию официального оппонента, кандидата тех. наук, доцента Вяткова В.В. содержит замечания:**

1. В качестве объекта исследования выбрана рабочая лопатка. Объектом исследования должна быть ступень турбины, поскольку параметры ступени (например - степень реактивности) оказывают определяющее влияние на рабочее колесо. Судить о параметрах ступени можно только по косвенным данным, что осложняет анализ данных, приведенных в диссертационной работе.

2. В диссертационной работе приводится большое количество результатов численных расчетов без указания исходных данных и количественной оценки результатов. Например, при исследовании охлаждения бандажной полки не указаны расходы охладителя, параметры охладителя. Все результаты газодинамических расчетов представлены в виде визуализации линий тока. Нет оценки уровня потерь кинетической энергии, по которому можно судить об адекватности расчетов.

3. Обзор методов снижения интенсивности вторичных течений основан всего на двух работах (атласах решеток профилей от 1965 и 1990 годов). Работ, посвященных снижению интенсивности вторичных течений, за последние десятилетия опубликовано достаточно много как в нашей стране, так и за рубежом.

4. В шестой главе представлен метод снижения вторичных потерь путем установки на спинке саблевидного гребня. Результаты

экспериментального и расчетного исследования, представленные в данной главе, носят отрывочный характер, в диссертации представлены только расчетные и экспериментальные линии тока. По эксперименту не ясно: выполнен ли он автором, или взят из источника. Нет никакой количественной информации по вторичным потерям, хотя численный расчет проводился. Для такого ребра обязательно нужен сопряженный расчет для оценки теплового состояния, провести который на сегодняшний день не вызывает затруднений. Охлаждение ребер анализируется для соплового аппарата, что не согласуется с темой диссертационного исследования. Сделан вывод о конфигурации рабочей лопатки, которая обеспечит повышение КПД ступени, но при этом никакой количественно информации не приводится.

**Отзыв на диссертацию ведущей организации ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» содержит замечания:**

1. Автор приводит схемы плёночного охлаждения вогнутой поверхности подполочного сечения пера лопатки с бандажом (см. Рис.3.7, изделие НК-93) и лопатки без бандажа (см. Рис.5.1), используемые при проектировании отечественных и иностранных ТВД. Однако аналогичная схема, предложенная им для охлаждения серповидного ребра, ограничивающего распространение вторичных токов по направлению к срединной её части, должна была бы быть дополнена информацией, касающейся температурного состояния этого гребня, не имеющего каналов внутреннего охлаждения.

2. Расчеты теплонапряжённого состояния пера и полки лопатки выполнены без учёта наличия теплозащитных покрытий. Их эффективность учитывалась только в виде градиента температуры, который имел место при исследованиях на образцах лопатки, на покрытиях различной толщины. Реальная лопатка в рабочих условиях имеет переменную температуру по высоте и по обводам профиля.



3. На стр. 14 диссертации указано: «...наш опыт показывает...», что струйное охлаждение бандажной полки воздухом, направляемым через отверстия в плавающей вставке, «...малоэффективно». Необходимо пояснить это заключение примером, какого-либо реального исследования.

4. На той же странице имеется утверждение, что «... в аппарате закрутки температура воздуха также снижается...» и ссылка на Атлас МАИ, а не учебник «Конструкция и проектирование авиационных ГТД».

5. На странице 42 указано, что «...компьютерные технологии позволяют осуществлять сложные экспериментальные исследования...». Очевидна ошибка, должно быть «... сложные расчетные исследования». На странице 68 написано, что «... плёночные отверстия на стороне корыта торцевой (периферийной) части пера лопатки наклонены под большим углом...». Не указано, относительно какой оси, очевидно, имеется в виду ось, перпендикулярная к поверхности пера лопатки.

6. В тексте имеются отдельные грамматические ошибки. Например, на стр. 40 вверху фраза «На Рис.2.13 представлены...» в её окончании не имеет точки.

**Отзыв на автореферат диссертации Новикова Д.К.,** доктора техн. наук, профессора кафедры «Конструкция и проектирование двигателей летательных аппаратов» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева содержит замечания:

1. Не отмечено, что вкладывается в термин «повышение эффективности бандажных полок».

2. Из автореферата непонятно, каким образом решается п.5 задач работы - оптимизация конструкции бандажной полки и системы конвективно-пленочного охлаждения.

3. В автореферате имеются неисправленные грамматические ошибки.

4. В разделе «Научная новизна» имеются стилистические неточности, которые затрудняют понимание этого раздела.

**Отзыв на автореферат диссертации производственного комплекса «Салют» АО «ОДК»,** подписанный главным специалистом по турбинам Ясинским В.В., заместителем генерального конструктора, кандидатом тех. наук Макаровым П.В., генеральным конструктором Скирдовым Д.П. и утвержденный руководителем производственного комплекса Громовым А.Н., содержит замечание:

1. Для большей полноты в работе следовало бы больше уделить внимания экспериментальному подтверждению выдвинутых предложений, т.к. некоторые аспекты имеют спорный характер.

**Отзыв на автореферат диссертации ОКБ им. А.Люльки - филиала ПАО «ОДК-УМПО»,** подписанный начальником расчетно-исследовательского отдела Стародумовым А.В. и утвержденный генеральным конструктором - директором, доктором техн. наук, профессором Марчуковым Е.Ю., содержит замечания:

1. В автореферате не приводится имеющаяся в диссертации информация по разработанной автором зависимости повышения КПД ступени турбины при постановке бандажной полки (см. Рис. 4.2, стр. 57 и Рис. 5.9, 5.10, Таблица 5.1).

2. Автореферат издан в чёрно-белом исполнении, поэтому результаты расчётных исследований, выполненных в системе ANSYS (Рис 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9) можно анализировать только по тексту автореферата и диссертации автора, имеющимся в соответствии с установленным порядком в Интернете.

**Отзыв на автореферат диссертации АО «ОДК-Климов»,** подписанный ведущим инженером-конструктором, доктором техн. наук Кортиковым Н.Н. и утвержденный генеральным конструктором, кандидатом тех. наук Григорьевым А.В., содержит замечания:

1. В тексте автореферата нигде не отражены этапы верификации и валидации математических моделей и методов численного моделирования, которые должны присутствовать и соответствовать ГОСТ Р57188 – 2016.

2. Не приведены результаты расчётов, отражающие снижение потерь кинетической энергии в рабочем колесе турбины газогенератора при установке бандажной полки с ребром и без него.

3. Следует отметить использование неправильных терминов по тексту автореферата, в частности, “потери энергии” на стр. 3 автореферата; “уравнение теплопередачи” при записи уравнения теплопроводности (4) на стр. 9.

**Отзыв на автореферат диссертации Нихамкина М.Ш.**, доктора технических наук, профессора кафедры «Авиационные двигатели» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», содержит замечания:

1. В автореферате отсутствует подтверждение достоверности полученных результатов расчетов теплового и напряженного состояния лопаток по экспериментальным данным или данным других авторов.

2. В автореферате не представлены данные, свидетельствующие о сходимости результатов расчетов теплового и напряженного состояния лопаток с изменением параметров конечно-элементных сеток.

3. В тексте автореферата имеются отдельные орфографические и стилистические ошибки.

**Отзыв на автореферат диссертации Дмитриева С.С.**, кандидата технических наук, доцента кафедры «Паровых и газовых турбин» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», содержит замечания:

1. В первой главе автор проанализировал различные конструкции охлаждаемых рабочих лопаток турбин с бандажной полкой и без бандажной полки, однако достаточно большое число авиационных и энергетических турбин наземного применения имеют бандажные связи в виде трубок, соединяющих отдельные лопатки рабочего колеса турбины между собой. Особенности их проектирования автором не рассмотрены.

2. В автореферате представлен конструктивный способ ограничения распространения вторичных линий тока серповидным гребнем, устанавливаемым на спинке профиля в пристеночной области решётки профилей, образованной бандажными полками и профилем пера лопатки рабочего колеса турбины. Показано, что аналогичная конструкция применима и для соплового аппарата турбины. Однако система охлаждения этих гребней не аналогична, поскольку у них разная температура газа, в сопловом аппарате она намного выше.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в отрасли науки, к которой относится диссертационная работа Ле Тиен Зыонг, что подтверждается их научными публикациями в данной области.

Выбор Мамаева Б.И., доктора технических наук, профессора, главного специалиста Опытного-конструкторского бюро им. А. Люльки – филиала ПАО «ОДК – Уфимское моторостроительное производственное объединение» в качестве официального оппонента обосновывается его широкой известностью своими достижениями в области науки по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», наличием публикаций в области газодинамического проектирования проточной части турбины, профилирования лопаточных венцов турбины, проектирования бандажированных лопаток ТВД и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Выбор Вяткова В.В., кандидата технических наук, доцента кафедры «Авиационные двигатели» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева" в качестве официального оппонента обосновывается тем, что он является известным специалистом в области исследования вторичных течений, аэродинамического совершенствования газовых турбин, и имеет большое количество работ по тематике, близкой к теме диссертации.

Выбор ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» обусловлен наличием публикаций и широкой известностью достижений работающих в ней специалистов, в том числе составляющих отзв, в области авиационных газотурбинных двигателей.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая конструктивная схема конвективно-плёночного охлаждения бандажной полки лопатки рабочего колеса высокотемпературной турбины высокого давления авиационного ГТД, в которой совмещены охлаждение её наружной и внутренней поверхностей;

**предложены** конструктивные методы обеспечения требуемого уровня длительной прочности и интенсивности охлаждения критичных элементов конструкции охлаждаемых лопаток при установке бандажных полок;

**доказана** возможность установки бандажных полок на рабочую лопатку высокотемпературной турбины газогенератора при внедрении предлагаемой системы конвективно-плёночного охлаждения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**применительно к проблематике диссертации** результативно использован комплекс программы численного моделирования ANSYS;

**изложены** результаты аналитического исследования напряжения растяжения и численного моделирования теплового и напряженного состояния бандажированной лопатки турбин;

**изучены** конструктивные варианты конвективно-плёночного охлаждения бандажных полок рабочей лопатки ТВД.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана** новая конструктивная схема конвективно-плёночного охлаждения бандажной полки лопатки рабочего колеса

высокотемпературной турбины высокого давления авиационного ГТД, которая позволяет обеспечить требуемый уровень температуры и действующих напряжений;

**установлено**, что при проектировании бандажированных рабочих лопаток высоко температурой турбины, бандажная полка должна иметь систему конвективно-плёночного охлаждения её критичных участков.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**корректное использование** сертифицированной программы ANSYS для решения сопряженных задач газовой динамики, теплопередачи и напряженного состояния в газовой турбине;

**теория** базируется на использовании проверенных на практике уравнений, описывающих газовую динамику течений и теплообмен в межлопаточных каналах охлаждаемых турбинных лопаток;

**использованы** современные методики расчета, реализованные в известных программно-математических комплексах;

**установлено** соответствие направленности и ограниченности зоны распространения вторичных линий тока под бандажной полкой, при установке на спинке профиля серповидного гребня, а также линий тока, полученных в области распространения вторичных течений газа, с результатами испытаний решётки профилей, моделирующих периферийное сечение пера лопатки, где этот гребень был установлен на спинке профиля в его концевой части.

**Личный вклад автора состоит в:**

- исследовании конструктивных параметров профильной части пера и конфигураций бандажных полок лопаток ТВД, рекомендациях по их форме и размерам;

- исследовании и анализе различных схем конвективно-плёночного охлаждения бандажных полок лопаток ТВД;

- разработке конструкции бандажной части лопаток ТВД с гребнем в выходной части решётки, установленным на спинке профильной

поверхности пера лопатки, препятствующим распространению вторичных токов газа в направлении к центральной части пера лопатки.

На заседании 22 апреля 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Ле Тиен Зыонг ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета  
Д 212.125.08  
д. техн. наук, профессор

Равикович Юрий Александрович

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.125.08  
д. техн. наук, профессор

Зуев Юрий Владимирович

22 апреля 2019 г.



Начальник отдела УДС МАИ

*Г. Анжимо*