



Государственная корпорация  
по космической деятельности "Роскосмос"



Акционерное общество  
"Центральный научно-исследовательский институт  
машиностроения" (АО "ЦНИИмаш")

ул. Пионерская, д. 4, корп. 22  
г.о. Королёв,  
Московская область, 141070

Тел.: +7 (495) 513 5951  
Факс: +7 (495) 512 2100

e-mail: corp@tsniimash.ru  
http://www.tsniimash.ru

ОГРН 1195081054310  
ИНН/КПП 5018200994 / 501801001

08.05.2026 исх. № 09001-9778

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Ученому секретарю  
диссертационного совета 24.2.327.06  
доктору технических наук, доценту  
В.М. Краеву

125993, г. Москва,  
Волоколамское шоссе, д. 4,  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский  
университет)

Уважаемый Вячеслав Михайлович!

Высылаю в Ваш адрес отзыв на автореферат диссертации Ежова Алексея Дмитриевича на тему "Комплексные методы решения задач контактного теплообмена для энергоэффективного управления тепловыми режимами", представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Приложение: «Отзыв на автореферат...» на 7 л. в 2-х экз.

*С уважением,*

Главный ученый секретарь АО «ЦНИИмаш»,  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

В.Ю. Ключников

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«14» 05 2026г.

## УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по  
прикладным исследованиям и проектам в  
области обеспечения безопасности  
деятельности в околоземном космическом  
пространстве (ОКП), д.т.н., профессор

М.М. Пеньков



08.05.2016г.

## ОТЗЫВ

На автореферат диссертационной работы  
*Ежова Алексея Дмитриевича* на тему  
**«Комплексные методы решения задач контактного теплообмена для  
энергоэффективного управления тепловыми режимами»**,  
представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук  
по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

14.05.2016г.

## Отзыв

**Актуальность** Результаты расчетов температурных режимов многослойных конструкций зависят от используемой модели теплопереноса через контактные разрывы между слоями. Достоверное описание переноса тепла через зону контакта особенно важно при прогнозировании тепловых режимов составных элементов конструкций при критических теплосиловых нагрузках. Актуальность исследований теплообмена через контактный разрыв и разработка математических моделей его описания подтверждается также ростом публикаций в научной литературе в последние годы.

В работе Ежова Алексея Дмитриевича на тему "Комплексные методы решения задач контактного теплообмена для энергоэффективного управления тепловыми режимами", на основании скрупулезного анализа открытых работ по теории контактного теплового сопротивления сформулированы проблемы описания контактного теплового сопротивления, представлены авторские результаты по разработке научно-методического и экспериментального обеспечения, необходимого для численного моделирования температурных режимов составных элементов конструкций. Работа выполнена на высоком научном уровне. К сожалению, краткость изложения большого количества решаемых задач в автореферате не позволяет в полной мере оценить все достоинства представленной работы.

В представленной диссертационной работе получены следующие **новые научные и практические результаты**:

1. Разработана методика создания цифровых двойников микрорельефа поверхностей. Методика реализована в виде алгоритмов и программ. Методика основана на фрактальном анализе топологии поверхности, но допускает и простой статистический анализ профилограмм.

Валидация двойника физической шероховатой поверхности, построенной по предложенной в диссертации методике, проводится по согласованию двух параметров: - среднеквадратическому и среднеарифметическому отклонениям

профиля от заданной опорной поверхности, определенным на основании прямых измерений для физической поверхности. Из текста автореферата диссертации не ясно, достаточно ли такого соответствия цифрового двойника реальной поверхности для адекватного описания теплопереноса через контактный разрыв.

2. Разработана физико-математическая модель переноса тепла через контакт шероховатых поверхностей материалов составного элемента конструкции, учитывающая механику контакта поверхностей и реальные особенности переноса тепла через контакт, включая анизотропию свойств материалов, лучистый перенос и перенос через среду в межконтактном пространстве. Модель реализована в виде комплекса программ для расчетов в среде ANSYS. Получены интересные результаты о вкладе пластических и упругих деформаций в формирование микрорельефа поверхности контакта конкретных пар материалов в конкретных условиях теплосилового воздействия. Из текста автореферата не ясно:

- как учитывается анизотропия свойств материалов при толщине контактной зоны меньше или порядка размеров структурных элементов, обуславливающих анизотропию свойств материала;

- использовалось ли в модели только классическое уравнение теплопроводности или использовались также волновое и фрактальное приближения для описания передачи тепла через контактный разрыв;

- почему такое большое внимание уделяется обоснованию правомерности сделанных выводов о необходимости учета лучистого теплопереноса; выводы не противоречат грубой оценке (в рамках классического описания теплопереноса при заданных параметрах термического контакта) по отношению слабо зависящей от температуры эффективной кондуктивной теплопроводности к эффективной теплопроводности лучистого переноса тепла (зависит от куба температуры).

3. Создана экспериментальная база для определения контактного термического сопротивления различных пар материалов в широком диапазоне

условий теплосилового воздействия и параметров шероховатости контактирующих поверхностей. База включает установки для тепловых испытаний, устройства для получения профилограмм поверхностей и программное обеспечение обработки результатов измерений.

4. На основе результатов систематических численных и физических исследований разработаны базы данных и программы упрощенного определения коэффициента термического сопротивления. Разработана и верифицирована нейросетевая модель для быстрого прогнозирования коэффициента термического сопротивления.

5. Разработан инструмент для определения коэффициента термического сопротивления и численного прогнозирования теплового и термонапряженного состояния сложных элементов конструкций, в том числе из анизотропных материалов, что необходимо для оценки работоспособности конструкций при теплосиловом воздействии в условиях эксплуатации.

6. Теоретические наработки и практические результаты, полученные диссертантом при исследовании коэффициента термического сопротивления, представляют интерес для расширения базы знаний по направлению «теплотехника».

**Теоретическая значимость диссертации** заключается главным образом:

- в развитии теории контактного теплообмена за счет более точного описания и учета обуславливающих его физических процессов;

- в методах оценки коэффициента термического сопротивления на основе эмпирических, аналитических (на базе фрактальной теории) формул и результатах численных решений;

- в методах цифрового моделирования шероховатых поверхностей, в том числе с применением фрактального описания шероховатости.

В совокупности теоретические достижения обусловили большую **практическую значимость работы**, а именно:

- предложена и обоснована доработка конструкция узла стыковки камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги с композитной оболочкой, которая позволила снизить термонапряжения до приемлемого уровня;

- проведенная оценка теплонапряжённого состояния замкового соединения керамической лопатки и металлического диска газотурбинного двигателя (с учётом реального коэффициента термического сопротивления), подтвердила надёжность и ресурс конструкции;

- результаты исследований внедрены в ряд учебных дисциплин МАИ.

**Достоверность** полученных научных результатов обеспечивается в рамках допустимости использованных физических моделей переноса тепла и механики контакта шероховатых поверхностей применением классических математических подходов к решению корректно поставленных задач, верификацией методов расчетов и валидацией физико-математических моделей.

Материалы диссертации опубликованы в 75 печатных работах. Из них: 25 статей в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК и приравненных к ним по научной специальности диссертации, получены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, опубликованы тезисы 52 докладов на научных конференциях.

Результаты диссертационных исследований включены в отчеты по НИР для различных заказчиков и в методические материалы ряда учебных дисциплин МАИ.

**В качестве замечаний к автореферату** можно отметить следующие:

1. Отсутствие анализа применимости использованных физико-математических моделей переноса тепла и деформации поверхности при теплосиловом воздействии при малых толщинах зоны контакта.

2. Отсутствие разделения верификации разработанных программ численного решения задач и валидации полной физико-математической

постановки с комплексом входящих в нее параметров для решения конкретных практических задач.

3. Отсутствие оценки погрешностей результатов измерений, как случайных, так и систематических, при экспериментальном определении КТС и характеристик поверхности, использованных для валидации методов расчетов.

4. Отсутствие обоснования достаточности предложенного метода валидации цифрового двойника по двум параметрам (среднеарифметическому и среднеквадратическому отклонению) на заданной базовой поверхности для задач переноса тепла через контактный разрыв.

5. По мнению рецензента, автореферат избыточен в части описания состояния вопроса (две главы) и фрактального анализа (три главы) в ущерб обоснованию подходов и результатов. Так, из описания пятой главы не ясно, о каком времени релаксации при установившемся режиме идет речь, не понятно, удалось ли получить зависимости размерности фрактала, параметров модельной шероховатости, прочностных характеристик материала и др. и эффективной площади контакта. Косвенно о связи между размерностью фрактала и эффективной площадью контакта можно судить по формуле 16 автореферата.

Перечисленные недостатки не снижают теоретической ценности и практической значимости полученных результатов.

Автореферат обладает внутренним единством, написан лаконичным и грамотным языком, дает достаточно полное представление о диссертационной работе. Тема исследования актуальна, представленные на защиту положения обладают научной новизной, достоверность результатов не вызывает сомнения, работа обладает практической ценностью. Основные результаты работы опубликованы и докладывались на научно-технических конференциях и семинарах.

#### **Выводы:**

Представленная работа Ежова А.Д. является завершенной научно-квалификационной работой, содержит решение актуальной научной проблемы,

имеет значение для развития теории и практики прогнозирования работоспособности конструкций при критичном теплосиловом воздействии.

Представленная работа соответствует паспорту специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника и требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г., а её автор *Ежов Алексей Дмитриевич* достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Ведущий научный сотрудник отдела 20011

Комплекса теплообмена и аэрогазодинамики

АО "ЦНИИмаш", кандидат физико-математи-

ческих наук, старший научный сотрудник



Сенкевич Е.А.

Я, Сенкевич Екатерина Аркадьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Зверева В.Г., и их дальнейшую обработку.

141070, Московская обл., г. Королёв, ул. Пионерская, д. 4,

Тел. (495)513-59-51, Факс (495)512-21-99

e-mail: corp@tsniimash.ru