

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Ежова Алексея Дмитриевича**  
**«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».

Диссертационная работа **Ежова А.Д.** посвящена решению актуальной задачи по разработке научных основ и выполнения моделирования контактного термического сопротивления (КТС) современного энергооборудования.

Контактное термическое сопротивление является одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на эффективность теплообмена в узлах и теплонагруженных элементах механизмов энергоустановок. В условиях непрерывного увеличения рабочих температур и ужесточению требований к снижению массогабаритных характеристик конструкций особую роль приобретают свойства контактных соединений, обусловленных микро- и наногеометрией поверхностей и теплофизическими свойствами материалов. В результате совокупности этих факторов формируется КТС, которое может приводить к локальным перегревам, термическим деформациям теплонагруженных элементов и их преждевременным отказам. Несмотря на многочисленные исследования, неопределенность в расчетах КТС остается крайне высокой – от 50–300%, что делает практически невозможным достоверное прогнозирование тепловых режимов на этапе проектирования конструкций. **Цель работы** заключается в разработке научно-методического и инструментального обеспечения для многопараметрического моделирования, анализа и оптимизации процесса контактного теплообмена в ответственных узлах конструкций перспективных энергооборудования в различных отраслях промышленности.

**Научная новизна** работы заключается в разработке методики создания цифровых двойников микрорельефа поверхности, объединяющей два алгоритма фильтрации: метод вершин и метод локальных экстремумов. Впервые создана комплексная теоретическая модель, интегрирующая механику контакта шероховатых поверхностей с теплообменом в контактной зоне при учете лучистого теплопереноса и влияния анизотропии свойств материалов на теплообмен. Обоснована значимая роль лучистого теплообмена при высоких температурах и низких сжимающих давлениях. Показано, что игнорирование вклада излучения в теплообмен приводит к существенной ошибке (до 46% при 0.14 МПа и 1073 К), что критично для расчетов в безвоздушной среде. Впервые проведено исследование совместного влияния анизотропии свойств композитов и микрогеометрии контакта на величину КТС. Разработаны методики оптимизации конструкции замкового соединения керамических лопаток с металлическим диском газотурбинного двигателя и камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя малой тяги с композитной оболочкой.

**Теоретическая значимость** работы связана с созданием теории КТС с учетом нелинейных и анизотропных эффектов. Разработаны новые математические и алгоритмические методы цифрового моделирования микрогеометрии поверхностей. Разработана методика определения и прогнозирования тепловой проводимости и возникающих напряжений при контактном взаимодействии в теплонагруженных узлах и агрегатах. Определена существенная роль доли лучистого теплообмена в общем теплопереносе в контактных соединениях космических аппаратов.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

23.04.2026.

**Практическая значимость** диссертации заключается в том, что в авиационно-космической промышленности при моделировании тепловых режимов и прогнозировании ресурса ГТД за счет корректного учета контактного термического сопротивления в замковых соединениях рабочих лопаток с металлическим диском. Оптимизировать конструкции камер сгорания жидкостных ракетных двигателей малой тяги. Для нужд энергетики можно будет оптимизировать конструкции ребристо-трубчатых теплообменников за счет снижения контактного термического сопротивления между трубками и ребрами, что увеличивает их КПД на 5-7% и снижает массогабаритные показатели на 12-15%. В микроэлектронике разработанные подходы обеспечивают повышение надежности радиоэлектронных компонентов за счет более эффективного отвода тепла от высокомоощных микросхем с целью предотвращения их перегрева и оптимизации тепловых интерфейсов в системах охлаждения электроники. В транспортном машиностроении полученные результаты позволяют улучшить характеристики тормозных систем автомобилей за счет оптимизации теплового режима в зоне контакта колодок и дисков, что снижает риск перегрева тормозной жидкости и повышает безопасность движения. Разработать композитные тормозные диски с адаптивной теплопроводностью, обеспечивающие высокую эффективность торможения при снижении массы на 30-50% по сравнению с чугунными аналогами.


Эти данные, несомненно, представляют фундаментальный и прикладной интерес.

По работе имеются следующие замечания:

1. В автореферате не указано разрешение и качество микрофотографий реальных шероховатых поверхностей контакта. Также не приведена оценка качества получаемых методом сплайновой интерполяции второго порядка цифровых двойников этой поверхности.
2. Из текста автореферата не ясно какие были использованы методы численной реализации и какая была точность полученных численных результатов, приведенных в Главе 4 (с использованием метода конечных элементов в ANSYS Multiphysics) и в Главе 5 («программа для ЭВМ»).

Сделанные выше замечания не снижают общей высокой оценки работы. Диссертация **Ежова А.Д.** является завершенной квалификационной задачей, выполненной автором на высоком научном уровне. Автором выполнены теоретические и экспериментальные исследования, совокупность которых можно квалифицировать как решение крупной научной и практической разработки модели контактного термического сопротивления для теплонагруженных элементов энергетического оборудования. Анализ автореферата позволяет заключить, что представленная диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, Полученные автором результаты являются новыми, достоверными и обоснованными. Автореферат отражает содержание диссертационной работы, а ее основные результаты опубликованы в научной печати. Выполненное исследование по своим квалификационным признакам соответствует требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям. Диссертация отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК и ее автор **Ежов Алексей Дмитриевич** заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 1.3.14. «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Я, Пахомов Максим Александрович, согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Главный научный сотрудник  
ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук»,  
доктор физико-математических наук, профессор РАН  Пахомов Максим Александрович

17.04.2026

Рабочий адрес: Российская Федерация, 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Лаврентьева, д.1,  
ФГБУН «Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук»

Телефон: +7(383)330-90-40

+7(383)330-84-80

Адрес электронной почты: pma41976@yandex.ru

[http://www.itp.nsc.ru/structura/nauchnye\\_porazdeleniya/22\\_laboratoriya\\_termogazodinamiki.html](http://www.itp.nsc.ru/structura/nauchnye_porazdeleniya/22_laboratoriya_termogazodinamiki.html)

Подпись д.ф.-м.н., проф. РАН Пахомова М.А.

удостоверяю

Ученый секретарь ИТ СО РАН,

к.ф.-м.н.



Ягодницына А.А.