

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Д.Е. Черепанова «Экспериментальные методы исследования повреждения термическими ударами материалов первой стенки термоядерных реакторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертационная работа Д.Е. Черепанова посвящена изучению стойкости к термическим ударам ряда перспективных материалов по термоядерной тематике и разработке оригинальных экспериментальных методик для проведения этих исследований. Выбор исследуемых материалов (вольфрам, карбид бора, карбид кремния) оправдан тем, что они либо уже применяются для облицовки первой стенки современных плазменных установок или являются кандидатными для использования в будущих термоядерных реакторах. Адекватная имитация тепловых нагрузок, ожидаемых на стенки в реакторах, в условиях лабораторного эксперимента является не простой задачей, но позволяет при определенных усилиях более детально и заблаговременно выявить механизмы и особенности повреждения материалов и выработать подходы к минимизации ущерба. Именно эти задачи являлись целью диссертации и успешно решались в процессе работы. В этой связи представленная работа является востребованной, имеет **практическую значимость** и, безусловно, **актуальна** как для российских термоядерных проектов (токамаки Т-15МД, ТРТ, ДЕМО-ТИН), так и для зарубежных (проект ИТЭР и другие).

**Научная новизна** работы состоит в постановке оригинальной оптической методики наблюдения *in situ* и в динамике особенностей тепловой эрозии исследуемых материалов в процессе импульсного теплового воздействия большой мощности на поверхность. Также предложенная методика оценки остаточных напряжений в вольфраме по изгибу образца в процессе термоудара позволила получить данные, подтверждающие ранее существующую теоретическую модель процесса.

**Степень обоснованности** научных положений, выводов и **достоверности** полученных результатов подтверждается, в частности, использованием современных и протестированных экспериментальных методик и оборудования, сопровождающими расчетами, совпадением

расчетных и экспериментальных данных. Полученные результаты логичны и не противоречат существующим научным представлениям. Широко и уместно используются методы математической статистики при анализе результатов эксперимента. Видно, что данная практика органично присуща автору работы.

Работа соответствует уровню современной науки по сложности решаемой задачи (междисциплинарные исследования и методики, реализуемые в конкурентной международной среде), современности используемого оборудования, востребованности получаемых результатов, принимаемых солидными научными журналами. Результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях, а также были изложены в 3-х статьях в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК.

По представленной работе можно сделать ряд замечаний:

- отсутствует единый подход к выбору геометрии исследуемых образцов и формы пучка, используемого для термического удара. При использовании цилиндрической геометрии базовой теоретической модели повреждения материалов, с которой сравниваются экспериментальные результаты, не вполне логично использование квадратных образцов в экспериментах с круглым пучком электронов на вольфраме. Далее, для таких же квадратных образцов керамики естественный круглый пучок лазера путем дополнительных усилий преобразуется в квадратный, что затрудняет сравнительный анализ экспериментов с вольфрамом и керамикой;
- в разделе 2.3.3, где обсуждается поведение вольфрамового образца в случае многократных термоударов сделан поспешный (впрочем, выходящий за рамки решаемых в работе задач) вывод о том, что «металл способен выдержать любое количество термических ударов при условии, что ни один из них не приведет к появлению остаточных механических напряжений, величина которых близка или превышает предел прочности». Это утверждение противоречит на наш взгляд известному явлению циклической усталости;
- в работе продемонстрированы «безграничные» возможности бесконтактной диагностики тепловых процессов с использованием только оптических методик, которые для перерасчета падающей и поглощенной образцом энергии требуют использования ряда предположений и справочных данных, точность значений которых не всегда хорошо известна.

Для большей убедительности в достоверности полученных данных о параметрах исходного теплового воздействия в качестве поверки были бы уместны также более традиционные измерения (электрометрическими и калориметрическими методами) этих параметров. Информация о применении этих методов или обоснование их ограниченности в данных экспериментах могла бы дополнительно украсить работу.

Сделанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования.

Содержание автореферата корректно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Черепанова Д.Е. «Экспериментальные методы исследования повреждения термическими ударами материалов первой стенки термоядерных реакторов» соответствует критериям (пп. 9-14), установленным Положением о присуждении ученых степеней №842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции) к кандидатским диссертациям, а Черепанов Дмитрий Евгеньевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.2 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Я, Мазуль Игорь Всеволодович, согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело соискателя и их дальнейшую обработку

Официальный оппонент:

Мазуль Игорь Всеволодович - доктор технических наук,

Специальность: 01.04.13 Электрофизика, электрофизические установки, главный научный сотрудник научно-исследовательского отделения «Энергонагруженные многослойные компоненты» НТЦ «Синтез», АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова»

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В.Ефремова, Госкорпорация «Росатом».

Адрес: 196641, Санкт-Петербург, поселок Металлострой, дорога на Металлострой, дом 3  
Телефон: +7(921)7710056

E-mail: mazuliv@niiefa.spb.su

Дата: 24.12.2024

/Мазуль Игорь Всеволодович/

Подпись Мазуля И.В. заверяю

Ведущий специалист  
должность



Маслова Екатерина Владимировна  
ФИО полностью