

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.01 на диссертацию Губарева Федора Александровича «Методы и аппаратура для визуализации и контроля поверхности горения высокоэнергетических материалов на основе нанопорошков металлов в режиме реального времени», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Высокоэнергетические материалы на основе нанопорошков широко применяются в различных приложениях вследствие высоких скоростей реагирования и значительной калорийности. К настоящему времени сформирована довольно богатая база данных со значениями многих характеристиках таких материалов и систем на их основе. Это стало возможным вследствие развития экспериментальных методов исследований соответствующих систем. Автор диссертации сосредоточил свое внимание на изучении поверхности высокоэнергетических материалов в процессе горения. Ниша диссертации Ф.А. Губарева состоит в применении лазерных методов диагностики поверхностей реагирующих нанопорошков металлов и их смесей, а также контроля морфологических изменений поверхности высокоэнергетических материалов в течение горения. Автор разработал методику измерения ключевых характеристик процесса на базе лазерного монитора и лазерной подсветки. Специальный фокус уделяется измерениям в режиме реального времени. **Тематика диссертационных исследований Ф.А. Губарева является, безусловно, актуальной.**

Тема диссертации Ф.А. Губарева соответствует приоритетному направлению развития науки в Российской Федерации (Указ Президента России от 07.07.2011 № 899): «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика», а также находится в сфере критических технологий федерального уровня, получивших высокий рейтинг по перспективам развития: «Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки,

распределения и использования энергии». Актуальность тематики исследований также подтверждает их выполнение в рамках контрактов, программ, грантов различных фондов, перечисленных в диссертации, а также запросов организаций, на которых используются результаты диссертационных исследований.

Диссертация Ф.А. Губарева состоит из введения, 6 глав и заключения, списка литературы и приложения с актами использования результатов диссертационных исследований. Целесообразно выделить хорошую структурированность рукописи диссертации и уместное использование автором совокупности разделов и подразделов в каждой главе.

Во введении автор сформулировал проблему, на решение которой направлены исследования, и обосновывал целесообразность их проведения с акцентом на применение совокупности экспериментальных методик.

В первой главе диссертации представлено описание современных методов и аппаратуры для исследования высокотемпературных процессов. Выделены преимущества и недостатки каждого, обозначены области применения и ограничения. Во второй и третьей главах описаны основные характеристики активных элементов усилителей яркости и распределения излучения. В четвертой главе приведено описание созданного диссертантом лабораторного комплекса для высокоскоростной визуализации и исследования процессов горения материалов. В пятой и шестой главах представлены результаты исследований автора диссертации ключевых характеристик процесса горения материалов. В заключении представлены укрупненные выводы по результатам выполненных исследований.

Практическая направленность диссертации Ф.А. Губарева заключается в создании лабораторного программно-аппаратного комплекса на базе лазерного монитора и лазерной системы подсветки для изучения совокупности характеристик горения высокоэнергетических материалов. К диссертации приложены акты, подтверждающие заинтересованность коллег в

использовании данного комплекса при выполнении научных проектов, решении инженерных задач и реализации образовательных программ.

Научная новизна диссертации Ф.А. Губарева заключается в следующем:

1. Создан программно-аппаратный комплекс для изучения сложных процессов горения высокоэнергетических материалов, отличающийся от известных скоростью обработки данных, а также возможностями контроля поверхности реагирующих материалов.
2. Определены необходимые и достаточные характеристики работы лазерной системы подсветки для решения запланированных задач. Установлены эффективные размеры пучка, характеристики работы объективов и камер, достаточные для решения запланированных задач.
3. Разработана экспериментальная методика для определения количества и продолжительности стадий горения, а также скорости горения нанопорошков металлов на основе метода лазерной спекл-корреляции.

Сформулированные научные положения диссертационных исследований **обоснованы**. В тексте автореферата и диссертации приведены результаты, иллюстрирующие правомерность сделанных автором заключений.

Достоверность полученных автором диссертации результатов основана на использовании современных экспериментальных методик, высокоточного оборудования, сравнении с экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Проводя оценку **научной и практической значимости** основных результатов, положений и выводов, представленных в диссертации, необходимо отметить, что автором выполнена внушительная научно-исследовательская и производственная работа, заслуживающая высокой оценки научного сообщества и специалистов в области методов лазерной диагностики веществ и материалов.

Личный вклад Ф.А. Губарева сформулирован развернуто в тексте диссертации. Представлены благодарности коллегам, с которыми проводились

соответствующие исследования, анализ и обсуждение результатов, готовились публикации в журналах и две монографии.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации Ф.А. Губарева дает основание для формулирования **замечаний и рекомендаций**:

1. В названии и по тексту диссертации встречается нетипичное для теории горения словосочетание «поверхность горения материала». Понятно, что речь идет о гетерогенном горении, но поверхность у материала одна. Поэтому правильнее было писать: «поверхность материала при горении» или «поверхность реагирующего материала». Словосочетание «поверхность горения» не несет реального физического представления об объекте.
2. После прочтения текста диссертации сложно понять, насколько режим реального времени при проведении регистрации позволил более глубоко раскрыть представления о протекающих процессах. Нужно уточнить этот аспект более акцентированно.
3. Известно, что системы измерений, базирующиеся на лазерной подсветке области регистрации, оказывают влияние на протекающие тепловые процессы и модифицируют поверхности реагирующих материалов. В диссертации методически это влияние не выделено. Следует конкретно пояснить, при каких исходных параметрах работы системы регистрации лазерный пучок оказывает слабое влияние на изучаемые характеристики, и наоборот, при каких параметрах его роль является определяющей.
4. Из текста диссертации не совсем понятно, какие новые научные направления исследований могут быть развиты или уже сформированы благодаря применению предложенного соискателем программно-аппаратного измерительного комплекса. Нужно пояснить, какие ранее нерешенные задачи могут быть реализованы при применении созданной методики, какие продвижения возможны.
5. В тексте диссертации не выделены границы применимости лабораторного программно-аппаратного лазерного комплекса, с точки зрения группы энергетических веществ и материалов, систем на их основе, агрегатных

состояний, слоевой структуры, режимов реагирования, фазовых превращений и др.

6. Всем известны дискуссии относительно достоверности применения конкретных значений коэффициентов отражения поверхностей нанопорошков и систем на их основе. Автору следовало выполнить проблемный обзор и сформулировать свое мнение по этому поводу. Этот параметр используется в диссертации, но выбор конкретных значений требует обоснований.
7. По тексту диссертации используются термины «высокотемпературное горение» и «высокоэнергетические материалы». Многие специалисты применяют данные термины для описания существенно отличающихся объектов. Автору диссертации следовало описать границы, по которым он выделяет высокие температуры и высокие энергии. Это особенно важно, так как в заключении описывается область потенциального применения созданных методик, но конкретики материалов и систем не приводится.
8. Применение любой оптической системы на базе лазерного излучения требует высокой квалификации измерителей. Автору диссертации следовало пояснить, какие решения можно использовать менее подготовленным специалистам, например, студентам, магистрантам и аспирантам. Для других измерений важно было описать, какие фундаментальные курсы нужно пройти, чтобы освоить и применять предложенную методику и комплекс в целом.
9. Диссертация защищается по специальности «Приборы и методы экспериментальной физики». Диссертант защищает методики исследований. Для конкретизации вклада важно четко разделить, какие методы развивались, какие методики созданы впервые, какие системы измерений усовершенствованы. Термины «метод», «методика», «способ» и «подход» подразумевают разную интерпретацию и объем проделанной работы. Нужно уточнить, проходила ли предложенная автором система этапы поверки в профильных сертифицированных центрах и лабораториях.

Сделанные замечания **не снижают высокой положительной оценки** диссертационной работы Ф.А. Губарева.

Тема диссертации Ф.А. Губарева «Методы и аппаратура для визуализации и контроля поверхности горения высокоэнергетических материалов на основе нанопорошков металлов в режиме реального времени» **соответствует паспорту специальности** 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики (по части **формулы специальности**: «исследования, направленные на разработку новых принципов и методов физических измерений, а также на создание новых приборов и устройств для изучения физических явлений и процессов»; **области исследований**: «Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики; Разработка и создание экспериментальных установок для проведения экспериментальных исследований в различных областях физики; Разработка и создание средств автоматизации физического эксперимента»).

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

Результаты диссертационного исследования Ф.А. Губарева хорошо апробированы **на научных конференциях различного уровня** (в г. Новосибирск, Саратов, Томск, Москва и в крупных научных центрах других государств) и **публиковались в журналах**, рекомендованных ТПУ для публикации материалов докторских диссертаций (Applied Optics, Review of Scientific Instruments, Optics Communications, Applied Physics B: Lasers and Optics и др.). Всего по тематике диссертационных исследований опубликованы около 20 статей. Получены 9 патентов РФ и 2 свидетельства на регистрацию программы для ЭВМ. По теме работы опубликованы 2 монографии.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации Ф.А. Губарева можно сделать вывод о том, что **диссертационная работа соответствует требованиям п. 8, п. 9, п. 10 «Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (приказ № 93/од от 6 декабря 2018 г.)**, так как является **законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение крупной научно-технической проблемы, имеющей существенное значение** для расширения представлений о методиках изучения характеристик горения высокоэнергетических материалов и систем на их основе.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что **Ф.А. Губарев заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.**

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.01,
д-р физ.-мат. наук, профессор
(01.04.14, физико-математические науки),
профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова
Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Стрижак Павел Александрович
(3822) 606-102
pavelspa@tpu.ru



Handwritten signature in blue ink.

Подпись П.А. Стрижака заверяю
Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета,
кандидат технических наук
Кулинич Екатерина Александровна



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30
т. 8(3822), 701-777, доп. 1910

28.10.2021