Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
им. Н.Н. Семенова
Российской академии наук
(ФИЦ ХФ РАН)
119991 г. Москва, ул. Косыгина, д. 4
Телефон: (499)137-29-51; Факс: (495) 651-21-91
E-mail: icp@chph.ras.ru

26.10.2026 № 68-03/1024

На № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук,
доктор физико-математических наук

_____ В.С. Иванов
«26» октября 2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук на диссертацию **Пономарева Андрея Артемьевича** на тему: «Численное исследование ламинарного пламени в условиях возмущения слабым электрическим полем», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. –Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность темы исследования.

Диссертация Пономарева А.А. посвящена численному исследованию структуры фронта и скорости распространения ламинарного пламени в условиях двух типов внешних возмущений: при наличии дисперсной фазы (капель топлива) и при воздействии слабого электрического поля. Актуальность работы обусловлена как фундаментальной значимостью понимания механизмов горения газокапельных смесей и

электрогидродинамического взаимодействия в пламени, так и практическими задачами повышения эффективности и экологичности энергетических установок. Несмотря на значительное количество экспериментальных и теоретических работ, детальные численные исследования с полным разрешением структуры фронта пламени в многомерных постановках с учетом детальной химической кинетики и ионных процессов остаются крайне востребованными. В этой связи тема диссертации представляется весьма актуальной.

Анализ содержания диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (267 наименований) и приложения. Работа изложена на 131 странице, содержит 48 рисунков и 1 таблицу.

Во **Введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология, достоверность и положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обстоятельный обзор литературы по горению газокапельных смесей и пламенам в слабом электрическом поле. Рассмотрены классические и современные работы, посвященные влиянию размера капель на скорость распространения пламени, механизмам испарения, а также эффектам, возникающим при наложении электрического поля (ионный ветер, изменение структуры пламени, влияние на выбросы). На основе анализа литературы автор формулирует направления собственных исследований.

Во **второй главе** описана математическая модель и результаты численного моделирования ламинарного конусного пламени Бунзена предварительно перемешанной этаноловоздушной смеси с каплями. Подробно представлены уравнения сохранения, модель испарения капель, учёт радиационного теплообмена, граничные условия и анализ сеточной сходимости. Проведено сравнение с экспериментальными данными, полученными методами OH PLIF и PIV, продемонстрировано хорошее согласие. На основе параметрического исследования установлена немонотонная зависимость средней скорости распространения пламени от диаметра монодисперсных капель и предложена модельная кривая с тремя критическими диаметрами.

В **третьей главе** представлены результаты моделирования плоского пламени метановоздушной смеси в продольном электрическом поле.

Реализованы две модели диффузии: эффективная и с индивидуальными коэффициентами. Проведено сравнение с экспериментом по вольтамперным характеристикам и токам насыщения. Показано, что модель эффективной диффузии адекватно предсказывает величину тока, но требует большего напряжения для выхода на насыщение, тогда как модель с индивидуальными коэффициентами диффузии дает лучшее совпадение с экспериментом, но существенно менее устойчива.

В **четвертой главе** описано совместное экспериментальное и численное исследование влияния слабого поперечного электрического поля на ламинарное пламя Бунзена метановоздушной смеси. С использованием модели эффективной диффузии и детального ионного механизма показано, что электрическое поле практически полностью экранируется внутри конуса пламени, а за фронтом образуется нескомпенсированный положительный заряд (в основном H_3O^+). Обнаружен эффект смены знака x-компоненты электрического поля и электрической силы в области вершины конуса, что объясняет наблюдаемые деформацию пламени и локальное увеличение скорости распространения. Проведен анализ чувствительности, выявивший основные причины количественного расхождения с экспериментом.

В **Заключении** сформулированы основные научные результаты и выводы.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

Оценка изложения результатов.

Текст диссертации логично структурирован, постановки задач и описание методов измерений и алгоритмов обработки данных представлены корректно. Работа написана ясным научным языком, иллюстративный материал достаточен для понимания полученных результатов.

Научная новизна исследования заключается в следующем: (1) впервые численно установлена немонотонная зависимость средней скорости распространения пламени от размера монодисперсных капель для богатых этаноловоздушных смесей и предложена модельная кривая, описывающая три характерных режима; (2) реализованы и сопоставлены две численные модели для описания динамики пламени в слабом электрическом поле (модель эффективной диффузии и модель с индивидуальными коэффициентами диффузии); (3) впервые численно описан эффект деформации пламени Бунзена при воздействии поперечного электрического поля, включая эффект

экранирования поля внутри конуса и возникновение нескомпенсированного положительного заряда за фронтом;

Степень достоверности результатов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием апробированных численных методов (прямое численное моделирование с детальной химической кинетикой), валидацией по экспериментальным данным, полученным современными оптическими методами диагностики (PIV, OH PLIF), а также по вольтамперным характеристикам и токам насыщения. Все начальные и граничные условия задавались в соответствии с экспериментальными данными. Результаты прошли апробацию на многочисленных всероссийских и международных конференциях и опубликованы в строго рецензируемых журналах.

Полнота изложения материалов диссертации в публикациях.

По теме диссертации опубликовано 6 работ в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, в том числе 4 статьи в журналах 1-го уровня «Белого списка» РЦНИ и 1 статья в журнале 2-го уровня «Белого списка» РЦНИ.

Значимость полученных результатов для развития отрасли науки.

Результаты диссертационной работы А.А. Пономарева в совокупности представляют собой решение актуальной научной задачи в области физики горения, касающейся численного моделирования структуры и динамики ламинарного пламени в условиях возмущений дисперсной фазой и слабым электрическим полем. Полученные данные расширяют понимание механизмов влияния капель и электрического поля на горение и могут служить основой для разработки методов управления режимами горения и подавления неустойчивостей.

Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.

Полученные результаты могут быть рекомендованы к использованию в организациях, занимающихся исследованиями в области горения и энергетики:
– в ИТ СО РАН, ИХФ РАН, ИТПМ СО РАН, МГУ, СПбПУ, МЭИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана и др. для валидации CFD-моделей горения газокапельных смесей и пламен в электрическом поле;
– при проектировании систем управления горением в силовых установках;

– в учебном процессе при подготовке специалистов в области физики горения и вычислительной гидродинамики.

Замечания по работе.

При прочтении диссертации возникли следующие замечания:

1. Из текста диссертации (уравнение 16) не совсем понятно учитывается ли то, что поглощение теплового излучения происходит в основном каплями, находящимися в непосредственной близости к горячей области, что существенно экранирует излучения для капель, находящихся на удалении от фронта пламени.
2. В третьей главе автор обосновывает выбор расчетной геометрии отличной от эксперимента необходимостью удаления стенки от сопла для достижения стабильного решения, однако из текста неясно проводились ли расчеты с применением геометрии, соответствующей эксперименту.

Заключение.

Диссертация Пономарева Андрея Артемьевича является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту научной специальности 1.3.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки) и профилю ведущей организации. Выявленные автором закономерности влияния капель топлива и слабого электрического поля на структуру и скорость распространения ламинарного пламени, а также разработанные численные модели представляют собой решение актуальной научной задачи, имеющей существенное значение для развития теплофизики. Диссертация полностью соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (пункты 9, 10, 11, 13, 14), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации Пономарев Андрей Артемьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании Ученого совета Отдела горения и взрыва ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семенова РАН (Протокол № 1 от «21» октября

2026 г.). Присутствовало 16 чел. «За» 16 чел.; «против» – нет; «воздержалось» – нет.

Отзыв составил:

Доктор физико-математических наук,
заместитель заведующего Отделом горения и взрыва Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН)

_____ Крупкин Владимир Герцович
« 26» октября 2026 г.

Составитель отзыва дает согласие на обработку своих персональных данных, связанных с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Пономарева А.А.

Подпись Крупкина В.Г. заверяю, ученый секретарь ФГБУН ФИЦ ХФ им. Семенова РАН

_____ Михалева М.Г.
«26» октября 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН)
119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.4
Телефон: +7 499 137-29-51
Электронная почта: icp@chph.ras.ru
Сайт: www.chph.ras.ru