

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертационной работы Шмакова Андрея Геннадьевича
«Механизм и кинетика химических процессов в пламёнах с добавками химически
активных ингибиторов и пламегасителей»,
представленной на соискание ученой степени доктора химических наук по
специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика
экстремальных состояний вещества**

Диссертационная работа Шмакова Андрея Геннадьевича посвящена исследованию горения газовых смесей на основе метана, пропана, синтез-газа и водорода с кислородом воздуха, поиску эффективных комбинированных огнетушащих составов на основе химически активных ингибиторов и инертных разбавителей, а также решению актуальной проблемы, связанной с разработкой новых методов и совершенствованием существующих средств борьбы с пожарами и взрывами, которые могут найти практическое применение в водородной энергетике, нефте-, газо-, угледобывающей и перерабатывающей промышленности. Известно, что механизм действия ингибиторов горения связан с химическим взаимодействием с атомами и радикалами горючего вещества, уменьшением концентрации активных молекул и температуры в зоне химических реакций горения. В настоящее время существует большое количество химически активных ингибиторов горения (хладон, водные растворы солей, бромсодержащие алкены, фтор- и бромфторамины, фосфорорганические соединения – ФОС и др.), эффективность применения которых может отличаться в несколько раз. Наиболее эффективными ингибиторами горения являются соединения, которые содержат в своем составе атомы галогенов, щелочных металлов и фосфора.

В работе рассматривается влияние добавок фосфор-, бром-, йод- и металлосодержащих ингибиторов горения на химическую и тепловую структуру, концентрационные пределы и скорость распространения пламён предварительно перемешанных газовых смесей H_2/O_2 , CH_4/O_2 , $CO/H_2/O_2$, C_3H_8/O_2 . Изучаются особенности горения высокоскоростных струй водорода, истекающих из микросопел, режимы устойчивого горения микроструй водорода в воздухе, условия гашения диффузионных пламён при варьировании соотношения горючее/окислитель и влияние добавок различных газов в водород или воздух на режимы их горения. Представлены методики исследования, включающие применение автоматизированного масс-спектрометрического комплекса с молекулярно-пучковым зондовым отбором пробы, Pt-Pt10%Rh микротермопар диаметром 20-50 мкм, экспериментальных стендов для определения скорости распространения пламён предварительно перемешанных смесей, минимальной гасящей концентрации ингибиторов и условий гашения диффузионных пламён. Структура пламени струи водорода регистрировалась теневым методом с

применением микрозондового отбора пробы и масс-спектрометрического анализа состава газообразных продуктов. Численное моделирование химической структуры и скорости распространения и условий погасания пламён горючих смесей с добавкой и без добавки ингибиторов проводилось с помощью пакета программ CHEMKIN-II. Экспериментально и численно показано, что ингибирующий эффект добавок ФОС в водородо-воздушные и углеводородо-воздушные горючие смеси связан с рекомбинацией ключевых радикалов в пламени – H, OH, O в реакциях с продуктами превращения ФОС, такими как PO, PO₂, НОРО, НОРО₂. Экспериментально показано, что с увеличением скорости потока водорода от 100 до 1000 м/с зона пламени вблизи сопла разделяется на сферическую и конусообразную формы, отличающиеся ламинарным и турбулентным режимами. Двухзонная структура пламени обеспечивает устойчивость горения смеси в широком диапазоне скорости истечения водорода. Установлены особенности механизма ингибирования горения водородо-воздушных смесей различного стехиометрического состава добавками железосодержащих соединений на основе экспериментальных результатов измерений распределения концентраций железосодержащих продуктов превращения пентакарбонила железа в зоне химических реакций.

Научная новизна исследования обусловлена тем, что получены экспериментальные данные по тепловой и химической структуре пламён смесей водорода и углеводородов с кислородом с добавлением ФОС и металлсодержащих соединений при атмосферном давлении, изучена структура диффузионных пламён микроструй водорода, истекающих в воздух с околосвуковой скоростью, исследовано влияние добавок инертных и реагирующих газов в потоке водорода и воздуха на режим горения газовой смеси. На основе полученных результатов разработаны способ стабилизации диффузионного горения водорода в газовой микрогорелке, новые огнетушащие средства на основе аэрозолей растворов калийсодержащих ингибиторов горения и способ их применения при тушении пожаров.

Полученные результаты исследования обсуждались на Всероссийских и международных научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 111 научных работ, в том числе 4 патента РФ на изобретение и 43 статьи, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

В качестве замечания к автореферату диссертации можно указать следующее. В тексте отсутствуют результаты термодинамических измерений распределения температуры в зоне химических реакций (тепловая структура пламени) исследуемых газовых смесей горючего и окислителя, а также не представлено влияние добавки ингибитора, соотношения горючего и окислителя смеси на температуру их горения. Указанное замечание

существенно не влияет на положительную оценку работы, представляющую собой законченное научное исследование.

Считаю, что диссертационная работа «Механизм и кинетика химических процессов в пламёнах с добавками химически активных ингибиторов и пламегасителей» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, в том числе отвечает критериям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в ред. Постановлений Правительства РФ от 21.04.2016 № 335, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024, от 01.10.2018 № 1168, от 20.03.2021 № 426, 11.09.2021 № 1539), а её автор, Шмаков Андрей Геннадьевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Коротких Александр Геннадьевич

доктор физико-математических наук, доцент
специальность 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества
профессор научно-образовательного центра И.Н. Бутакова инженерной школы энергетики

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30, ТПУ, ИШЭ

Сайт организации: <https://tpu.ru/>

тел.: 8 (3822) 701-777, доп. 1680, e-mail: korotkikh@tpu.ru

17.01.2022 г.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись А.Г. Коротких заверяю

Учёный секретарь Национального исследовательского Томского политехнического университета

К.т.н.
18.01.2022 г.

Кулинич Екатерина Александровна

