

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Шмакова Андрея Геннадьевича "Механизм и кинетика химических процессов в пламенах 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 А.Г. посвящена исследованию механизма и кинетики химических процессов горения при наличии добавок химически активных ингибиторов и пламегасителей.

**Актуальность** исследований безусловна, так как пожары и взрывы происходят в природе и на различных производственных объектах. Они зачастую приводят к человеческим жертвам и наносят значительный материальный ущерб. Эта проблема является актуальной для всего мирового сообщества. В этой связи разработка новых и совершенствование существующих средств и методов борьбы с пожарами и взрывами является чрезвычайно важной задачей. Для ее эффективного решения необходима детальная информация о механизме воздействия огнетушащих веществ на процессы горения на молекулярном уровне, что позволяет прогнозировать эффект добавок ингибиторов и пламегасителей на различные типы очагов пожаров, а также находить новые эффективные пламегасители и способы их использования.

Полученные соискателем результаты обладают всеми признаками **научной новизны**, так как в работе впервые были получены данные по тепловой и химической структуре пламен с добавками фосфор- и металлсодержащих соединений при атмосферном давлении, включая результаты пространственного распределения концентраций атомов Н и радикалов ОН. Также в данной работе впервые были изучены эффекты добавок фосфор- и металлсодержащих ингибиторов на скорость распространения пламени в предварительно перемешанных горючих смесях, на пределы распространения предварительно перемешанных и диффузионных пламен, на условия их гашения. Шмаковым А.Г. впервые были экспериментально изучены комбинированные пламегасители, состоящие из химически активных фосфорсодержащих ингибиторов и инертных разбавителей, а также впервые найдены эффективные пожаротушащие композиции на основе фосфорсодержащих веществ с сильным синергетическим взаимодействием их компонентов. К новым результатам также относятся данные исследований структуры диффузионных пламен высокоскоростных микроструй водорода, включая эффект добавок инертных и реагирующих газов в водород и в воздух на условия стабильного горения этих пламен.

**Научная и практическая значимость** работы обусловлена тем, что в ней было получено большое количество экспериментальных данных по химической и тепловой структуре, предельным явлениям в пламенах с добавками фосфор- и металлсодержащих ингибиторов. Эти данные в будущем позволят проверять и уточнять химико-кинетические механизмы реакций различных фосфор- и металлсодержащих пламегасителей и ингибиторов. На основе полученных в данной работе экспериментальных данных также было проведено уточнение ряда констант скоростей элементарных химических реакций превращения фосфорсодержащих веществ в пламени, разработаны сокращенные механизмы

ингибирования пламен, которые могут быть использованы, например, для проведения 3D моделирования процессов распространения и тушения пожаров. На основе проведенных исследований химических и физических процессов в пламенах, включая системы с добавками различных фосфор- и металлсодержащих соединений, были получены 4 патента на изобретения, в том числе на средства и способы тушения пожаров.

Выносимые на защиту положения сформулированы достаточно емко и в целом отражают суть полученных результатов, а именно: разработанный механизм действия химически активных фосфор- и металлсодержащих ингибиторов горения на различные параметры пламен смесей водорода и углеводородов с кислородом; предложенный механизм действия добавок инертных и химически активных ингибиторов горения на устойчивость горения пламен высокоскоростных микроструй водорода; предложенные новые огнетушащие составы и способы их применения для тушения очагов пожаров.

Следует отметить, что в данной диссертационной работе впервые было получено достаточно много важных результатов, а именно:

- выполнено уточнение существующего в литературе химико-кинетического механизма ингибирования горения водородо-воздушных пламен добавками фосфорорганических соединений (ФОС), такими как триметилфосфат (ТМФ);

- достоверно установлено, 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, PO<sub>2</sub>, HOP, HOP<sub>2</sub>;

- выяснено влияние стехиометрического состава водородо-воздушных и углеводородо-воздушных горючих смесей на эффект ингибирования добавками ФОС;

- установлены особенности механизма ингибирования пламен водородо-воздушных смесей различного стехиометрического состава добавками железосодержащих соединений;

- экспериментально и численно изучен эффект добавок аэрозолей калийсодержащих соединений на скорость и условия гашения пламен предварительно перемешанных смесей водород/воздух и метан/воздух;

- разработаны и протестированы скелетные (компактные) химико-кинетические механизмы ингибирования водородо-воздушных и углеводородо-воздушных пламени добавками ФОС;

- найдены эффективные синергетические смеси пламегасителей на основе ФОС;

- изучена структура и диапазон условий устойчивого горения высокоскоростных микроструй H<sub>2</sub>, а также установлен механизм влияния добавок различных газов на режимы устойчивого горения микроструй H<sub>2</sub>.

- показана возможность эффективного тушения низового лесного пожара и модельного очага пожара класса 0.5А (горящая древесина) с помощью аэрозолей раствора калийсодержащих ингибиторов.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается внутренней непротиворечивостью данных, полученных соискателем, корректным использованием современных измерительных методов, использованием калиброванного измерительного оборудования, а также повторяемостью и согласованностью результатов измерений.

**Личный вклад** в выполненные исследования отражен в автореферате лаконично и не допускает неоднозначной трактовки. Список работ соискателя в соавторстве по теме

диссертации значителен и подтверждает, что полученные результаты прошли разностороннюю апробацию и опубликованы в рецензируемых изданиях.

В качестве замечания можно отметить следующее: из представленных в автореферате данных неясно соответствует ли приведенная скорость истечения водорода (стр. 33) скорости потока на срезе сопла и какова скорость струи в зоне 3 (рис: 28, стр. 34).

На мой взгляд, в диссертации решена важнейшая практическая и научная проблема, связанная с разработкой новых перспективных способов тушения пожаров, основанная на научно обоснованных принципах и знаниях о механизмах и кинетике химических процессов в пламенах с добавками химически активных ингибиторов и пламегасителей.

Считаю, что диссертационная работа «Механизм и кинетика химических процессов в пламенах с добавками химически активных ингибиторов и пламегасителей» соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, в том числе отвечает критериям п. 9 Положения о присуждении ученых 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 ее автор, Шмаков Андрей Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени доктор химических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Лобода Егор Леонидович

Доктор физико-математических наук, доцент  
Специальность 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы  
Заведующий кафедрой физической и вычислительной механики

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, [www.tsu.ru](http://www.tsu.ru),  
тел. (3822) 529-669,  
Электронная почта: [loboda@mail.tsu.ru](mailto:loboda@mail.tsu.ru),  
03.12.2021 г.

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

Подпись

УДОСТОВЕРЯЮ

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГУ

Н. А. САЗОНОВА

