

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор акад. В. М. ТИТОВ
Зам. гл. редактора: д.ф.-м.н. В. Е. Зарко, д.т.н. М. Г. Кталхерман
Отв. секретарь к.ф.-м.н. С. М. Караханов

Члены редколлегии

д.ф.-м.н. В. С. Бабкин, д.ф.-м.н. А. А. Васильев, д.ф.-м.н. Л. А. Мержиевский, д.х.н. А. А. Онищук,
д.х.н. В. А. Садыков, д.т.н. В. И. Терехов, д.т.н. П. К. Третьяков, к.х.н. Р. К. Тухтаев,
д.ф.-м.н. А. В. Федоров

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

В. В. Адушкин (Россия), Н. Айзенрайх (Германия), А. П. Алдушин (Россия), И. Г. Ассовский (Россия), А. М. Астахов (Россия), Д. Брэдли (Англия), М. К. Брюстер (США), П. Волански (Польша), И. Гокалп (Франция), А. М. Гришин (Россия), В. М. Гремячкин (Россия), С. А. Жданок (Беларусь), М. В. Жерноклетов (Россия), А. Н. Золотко (Украина), Г. И. Канель (Россия), В. К. Кедринский (Россия), А. Л. Кул (США), В. А. Левин (Россия), Дж. Ли (Канада), А. М. Липанов (Россия), Б. Г. Лобойко (Россия), Л. Т. Де Лука (Италия), З. А. Мансуров (Казахстан), К. Марута (Япония), Г. М. Махвиладзе (Россия), А. Л. Михайлов (Россия), Б. В. Новожилов (Россия), Ю. В. Полежаев (Россия), В. П. Синдицкий (Россия), В. С. Соловьев (Россия), А. М. Старик (Россия), М. Б. Талавар (Индия), П. Ван Тиггелен (Бельгия), М. Е. Топчий (Россия), Р. Ф. Трунин (Россия), В. Е. Фортов (Россия), С. М. Фролов (Россия), Т. Фудживара (Япония), К. Хори (Япония), Р. Ян (Китай), В. Янг (США)

Учредители журнала

Сибирское отделение РАН, Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева,
Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского,
Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича

Со дня основания в 1965 г. журнал переводится на английский язык и в настоящее время издается издательством *Springer Science + Business Media, Inc.* под названием *Combustion, Explosion, and Shock Waves*
www.springerlink.com/content/1573-8345
ISSN 0010-5082

Журнал реферируется и представлен в: *Chemical Abstracts, Current Contents, Science Research Abstracts, Part A, Safety Science Abstracts Journal, ISMEC, Applied Mechanics Reviews, Engineering Index, INSPEC-Physics Abstracts, Electrical and Electronics Abstracts, Physical Science Digest* и *SCOPUS*.
Журнал включен в список изданий, рекомендуемых ВАК для опубликования научных результатов диссертаций

Адрес редакции:

630090 Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 15, редакция журнала «Физика горения и взрыва»
Тел. (383) 330-12-52, e-mail: fgv@sibran.ru; <http://sibran.ru/journals/FGV/>

Зав. редакцией *Н. А. Кубанова*
Корректор *Е. В. Панкратова*

Техническое редактирование *Л. С. Коврижных*
Набор, верстка *Л. С. Коврижных*
Компьютерная обработка рисунков *В. В. Зыков*

Сдано в набор 25.12.13. Подписано к печати 10.04.14. Формат 60 × 84 1/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 15,9. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 305 экз. Свободная цена. Заказ № 148

Журнал зарегистрирован Министерством печати и информации РФ за № 0110100 от 27.01.93
Издательство Сибирского отделения РАН, 630090 Новосибирск, Морской просп., 2
Отпечатано на полиграфическом участке Института гидродинамики им. М. А. Лаврентьева
630090 Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, 15

ФИЗИКА ГОРЕНИЯ И ВЗРЫВА
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит с января 1965 г.	Периодичность 6 номеров в год	Том 50, № 3	Май — июнь 2014 г.
-----------------------------	----------------------------------	----------------	-----------------------

СОДЕРЖАНИЕ

Коробейничев О. П., Шварцберг В. М., Шмаков А. Г. Скелетный механизм ингибирования и гашения водородного пламени добавками триметилфосфата	3
Полианчик Е. В., Глазов С. В. Модель горения углерода в фильтрационном режиме в приближении термодинамически равновесного состава продуктов.....	9
Ао В., Чжоу Цз.-Х., Лю Цз.-Ч., Ян В.-Цз., Ван Ю., Ли Х.-Р. Кинетическая модель воспламенения частицы бора, основанная на механизме диффузии кислорода и $(\text{BO})_n$	21
Гринчук П. С. Влияние стохастичности пространственного распределения частиц газозвеси на распространение фронта горения.....	32
Какуткина Н. А., Коржавин А. А., Манжос Е. В., Рычков А. Д. Зажигание волн фильтрационного горения газа пламенем фильтрующегося газа	43
Чэнь Чж., У С.-Н., Сон В.-Х., Лв Л.-Ю., Ван С.-Д. Анализ пределов применимости математических моделей для определения характеристик пожара разлития.....	51
Сеплярский Б. С., Тарасов А. Г., Кочетков Р. А., Ковалёв И. Д. Закономерности горения смеси $\text{Ti} + \text{TiC}$ в спутном потоке азота.....	61
Симоненко В. Н., Калмыков П. И., Кискин А. Б., Глотов О. Г., Зарко В. Е., Сидоров К. А., Певченко Б. В., Никитин Р. Г. Исследование горения модельных композиций на основе фуразанотетразиндиоксида и динитродиазептана. I. Бинарные системы	68
Батраев И. С., Прохоров Е. С., Ульяницкий В. Ю. Разгон и нагрев порошковых частиц продуктами газовой детонации в каналах с коническим переходом	78

Сергеев О. В., Янилкин А. В. Молекулярно-динамическое моделирование движения фронта горения в монокристалле тэна	87
Каленский А. В., Звеков А. А., Ананьева М. В., Зыков И. Ю., Кригер В. Г., Адуев Б. П. Влияние длины волны лазерного излучения на критическую плотность энергии инициирования энергетических материалов	98
Бордзиловский С. А., Караханов С. М., Сильвестров В. В. Оптическое излучение ударно-сжатой эпоксидной смолы со стеклянными микросферами	105
Борисёнок В. А., Жерноклетов М. В., Ковалёв А. Е., Подурец А. М., Симаков В. Г., Ткаченко М. И. Фазовые переходы в титане в ударных волнах в области давления до 150 ГПа	113
Фань Чж.-Ц., Ма Х.-Х., Шень Чж.-У, Линь М.-Цз. Передача давления через алюминиевую пену при подводном взрыве	122
Воеводка А., Витковски Т. Моделирование формирования струи в линейных кумулятивных зарядах	130

© Сибирское отделение РАН, 2014
 © Ин-т гидродинамики СО РАН, 2014
 © Ин-т химической кинетики
 и горения СО РАН, 2014
 © Ин-т теоретической и прикладной
 механики СО РАН, 2014

УДК 544.47

СКЕЛЕТНЫЙ МЕХАНИЗМ ИНГИБИРОВАНИЯ И ГАШЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ПЛАМЕНИ ДОБАВКАМИ ТРИМЕТИЛФОСФАТА

О. П. Коробейничев¹, В. М. Шварцберг¹, А. Г. Шмаков^{1,2}

¹Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН, 630090 Новосибирск
vshvarts@kinetics.nsc.ru

²Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск

Разработан скелетный механизм ингибирования и гашения пламен $H_2/O_2/N_2$ добавкой триметилфосфата, включающий в себя механизм окисления водорода Мауса (13 элементарных стадий с участием 7 компонентов) и две элементарные реакции с участием триметилфосфата и продукта его превращения. Данный скелетный механизм удовлетворительно предсказывает скорость распространения пламен с добавкой ингибитора в исследуемом диапазоне коэффициента избытка горючего и может быть применен при моделировании гашения пожаров.

Ключевые слова: скелетный механизм, ингибирование, гашение пожара, триметилфосфат, скорость распространения пламени.

Горение твердых, жидких и газообразных веществ служит источником пожаров. Глобальной проблемой являются лесные пожары, наносящие серьезный ущерб человечеству. Разработка физической и математической модели их возникновения, распространения и гашения, которая обладала бы предсказательной способностью, имеет важное научное и практическое значение.

В настоящее время бурно развиваются методы численного газодинамического моделирования, позволяющие исследовать трехмерную динамику процессов, происходящих при распространении и гашении пожаров, в том числе при использовании различных ингибиторов и пламегасителей. Модели для таких расчетов включают в себя уравнения движения среды, а также уравнения, учитывающие химические и фазовые превращения веществ. Без последних невозможно успешное применение данных моделей. Как показал выполненный в работе [1] анализ статистики по 16 детальным и скелетным механизмам горения углеводородов C_1 – C_8 , кинетические модели химических реакций могут состоять из сотен и тысяч элементарных реакций с участием десятков и сотен соединений. При этом переход к дизельным и авиационным топливам, несомненно, еще больше усложнит механизмы. Следует отметить, что применение таких схем реакций не всегда оправданно, а зачастую и невозможно практи-

чески, поскольку требует больших затрат времени на проведение численных расчетов. Поэтому для увеличения производительности вычислений с сохранением приемлемой точности используют скелетные и сокращенные механизмы химических реакций.

В настоящее время разработано довольно много скелетных и сокращенных механизмов горения ряда топлив. Упомянем лишь некоторые из них. В первую очередь, это скелетные и сокращенные механизмы окисления водорода и метана, представленные в работах [2, 3]. В [4] предложен четырехстадийный механизм горения водорода, а в [5] на его основе создан четырехстадийный механизм горения синтез-газа.

Если в настоящее время сокращенные механизмы горения водорода и многих углеводородов уже имеются, то о сокращенных механизмах ингибирования и гашения их пламен этого сказать нельзя. В работах [6–11] на основе всестороннего исследования характеристик пламен водорода, метана и пропана с добавками фосфорорганических соединений (ФОС), таких как структура ламинарного перемешанного и диффузионного пламени, скорость и пределы его распространения, были разработаны детальные механизмы ингибирования пламен добавками ФОС.

Цель данной работы состоит в том, чтобы на основе ранее разработанного детального механизма ингибирования пламени водорода добавками ФОС [8, 12] предложить скелетный механизм ингибирования и гашения пла-