

## 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, д.т.н. М. А. Корчагин,  
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), А. Гани (Израиль), В. М. Гремячкин (Россия), А. Ю. Долгобородов (Россия), Э. Дрейзин (США), С. А. Жданок (Беларусь), М. В. Жерноклетов (Россия), Г. И. Канель (Россия), В. К. Кедринский (Россия), А. Л. Кул (США), В. А. Левин (Россия), А. М. Липанов (Россия), Б. Г. Лобойко (Россия), Л. Т. Де Лука (Италия), Ю. М. Максимов (Россия), З. А. Мансуров (Казахстан), К. Марута (Япония), А. Л. Михайлов (Россия), Б. В. Новожилов (Россия), А. Н. Пивкина (Россия), Ю. В. Полежаев (Россия), В. П. Синдицкий (Россия), А. М. Старик (Россия), М. Б. Талавар (Индия), У. Тайпель (Германия), В. И. Таржанов (Россия), Р. Ф. Трунин (Россия), А. В. Уткин (Россия), В. Е. Фортов (Россия), С. М. Фролов (Россия), К. Хори (Япония), Д. А. Ягодников (Россия), 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](http://www.springerlink.com/content/1573-8345)  
ISSN 0010-5082

Журнал реферирован 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](mailto: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 25.02.14. Подписано к печати 03.06.14. Формат 60 × 84 1/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 15,9.  
Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 305 экз. Свободная цена. Заказ № 154

---

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,  
№ 4

Июль — август  
2014 г.

---

**СОДЕРЖАНИЕ**

Баев В. К., Бажайкин А. Н. Влияние примеси $\text{CO}_2$ к топливу на горение газовых струй в воздухе.....	3
Козубкова М., Крутиль Я., Неврлий В. Экспериментальное исследование и численное моделирование горения метана в областях со сложной геометрией.....	8
Замациков В. В., Коржавин А. А., Чиннов Е. А. Исследование горения жидкого топлива в прямоугольном канале.....	15
Прокофьев В. Г., Смоляков В. К. К теории горения и синтеза композиционных материалов в поле массовых сил.....	22
Кочетов Н. А., Сеплярский Б. С. Зависимость скорости горения от размера образца в системе $\text{Ni} + \text{Al}$ .....	29
Амелькович Ю. А., Ильин А. П. Состав продуктов сгорания в воздушной среде смесей нанопорошка алюминия с диоксидами титана и циркония.....	36
Горшков В. А., Санин В. Н., Юхвид В. И. Моделирование критических условий в рабочей ячейке атомного реактора с помощью горения высокоэнергетических СВС-систем.....	42
Самойленко Н. Г., Корсунский Б. Л., Финаева Ю. Н., Кустова Л. В. Тепловой взрыв в полупериодических реакторах.....	48
Шарыпов О. В. Диссипативные эффекты и детонация в запыленных средах.....	54
Е Ц., Цзя Чж.-Чж. Влияние разветвления канала на характеристики распространения детонации в газе.....	61

<b>Пинаев А. В., Пинаев П. А.</b> Влияние начального давления воздуха на детонационную активность аэрозвеси взрывчатых веществ .....	66
<b>Фрем Д.</b> Теоретическое изучение энергетических свойств <i>s</i> -триазинзамещенных производных аминифуразана и аминифуроксана — высокоэффективных энергетических материалов .....	78
<b>Лемперт Д. Б., Дорофеенко Е. М.</b> Оптимальные составы безметалльных энергетических композиций при варьировании содержания окислителя и соотношения в нем нитро- и дифтораминных групп .....	85
<b>Дизаджи Х. Б., Дизаджи Ф. Ф., Бидабади М.</b> Определение термокинетических констант порошков пищевых продуктов для их классификации по взрываемости .....	92
<b>Медведев А. Б.</b> О наличии состояний с отрицательным коэффициентом Грюнайзена в пересжатых продуктах взрыва .....	102
<b>Сильвестров В. В., Юношев А. С., Пластинин А. В., Рафейчик С. И.</b> Ударная сжимаемость эмульсионной матрицы при давлении до 37 ГПа .....	110
<b>Хань Чж.-В., Сэнь С., Се Л.-Ф., Хань Ю.-Ч.</b> Применение эмульсионных взрывчатых веществ для синтеза наночастиц оксида церия .....	117
<b>Черепанов А. Н., Оришич А. М., Мали В. И.</b> Лазерная сварка нержавеющей стали с титановым сплавом с применением многослойной вставки, полученной взрывом .....	124
<b>Линь М.-Цз., Ма Х.-Х., Шень Чж.-У, Ли Л.</b> Детонационные характеристики алюминизированного фольгой взрывчатого вещества при подводных испытаниях .....	130
<b>СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ</b>	
<b>Васильев А. А., Лаптев В. И.</b> О высокоскоростном ударнике кольцевой формы ....	136
<b>Мержиевский Л. А., Чистяков В. П.</b> Высокоскоростной удар стальных частиц по преградам из пористой меди .....	140

- © 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 536.46

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ CO<sub>2</sub> К ТОПЛИВУ НА ГОРЕНИЕ ГАЗОВЫХ СТРУЙ В ВОЗДУХЕ

В. К. Баев, А. Н. Бажайкин

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, 630090 Новосибирск  
baev@itam.nsc.ru

Описаны результаты экспериментального исследования влияния примеси CO<sub>2</sub> к метану и пропан-бутановой смеси на условия стабилизации диффузионного пламени в воздухе. Показано, что с ростом концентрации CO<sub>2</sub> в топливе существенно увеличивается длина отрыва пламени, в основном вследствие изменения скорости и концентрации в районе точек «поджога» и в меньшей степени вследствие увеличения характерного времени горения. Получены данные по влиянию примеси CO<sub>2</sub> к топливу в количествах, превышающих расход топлива до ≈1.5 раз, на характерное время горения.

Ключевые слова: топливная струя, характерное время горения, отрыв, длина отрыва, нормальная скорость пламени, критериальное описание.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования влияния примеси различных газов к углеводородным топливам ведутся многие десятилетия, что связано, несомненно, с практической необходимостью использования топлив сложного химического состава.

В последнее время интерес обострился, возможно, в связи с расширением использования сланцевого газа, биогаза и других горючих газов, содержащих балластные примеси (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>). Поэтому вопрос о влиянии примеси, в частности CO<sub>2</sub>, на макрокинетические характеристики горения топлива, в первую очередь на нормальную скорость пламени  $u_n$ , весьма актуален.

Для практического применения рекомендуется, например, следующая зависимость [1], используемая при содержании балласта более 5 %:

$$u_n = u_{n0}(1 - 0.01[N_2] - 0.012[CO_2]), \quad (1)$$

где  $[N_2]$ ,  $[CO_2]$  — объемное содержание балластных газов в топливе, %,  $u_{n0}$  — нормальная скорость пламени чистого топлива. При этом необходимо знать, как геометрия и устойчивость турбулентного пламени, зачастую в сложных газодинамических условиях и в отсутствие полного перемешивания, зависят от нормальной скорости пламени  $u_n$  или другой макрокинетической характеристики.

В одной из последних работ [2] получена богатая экспериментальная информация и

подчеркнута роль газодинамической структуры потока, но использованная экспериментальная модель (сопло с толстыми кромками) представляется не совсем удачной для интерпретации полученных результатов с точки зрения их влияния на макрокинетические характеристики.

В работе [3] показано, что корректность в организации течения даже затопленных струй, без спутного потока, — весьма важный фактор.

Характерное время горения сложных топлив можно определять экспериментально, как это сделано в [4], можно использовать обобщенные критериальные зависимости либо измерение характерных частот колебаний фронта пламени.

Наиболее удобным представляется измерение длины отрыва диффузионного пламени горячей затопленной струи газообразного топлива в воздушной среде. Правда, при этом характерное время горения определяется при коэффициенте избытка воздуха, близком к минимальному для данных температуры и давления. Но зато опорные зависимости достаточно точны, и можно ожидать, что они применимы и к топливным смесям различного состава при достаточно корректном описании газодинамики и модели турбулентного горения в этих условиях [5].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Установка, схематично изображенная на рис. 1, в отличие от описанной в [3], содер-