

но, что с ростом интенсивности турбулентных пульсаций монотонно снижается длина зоны воспламенения, аналогично влияние пространственного масштаба турбулентности на положение фронта горения. Учет обрального влияния горения на турбулентность приводит к сокращению длины зоны воспламенения для частиц с $r \lesssim 5$ мкм и увеличению для средних и крупных частиц ($r \gtrsim 5$ мкм) по сравнению с расчетом без членов, обусловленных горением. В целом учет турбулентных пульсаций оказывает существенное влияние на протяженность зоны воспламенения при горении мелких частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В. Р., Сабельников В. А. Турбулентность и горение.— М.: Наука, 1986.
2. Турбулентные течения реагирующих газов/Под ред. П. А. Либби и Ф. А. Вильямса.— М.: Мир, 1983.
3. Вилунов В. И., Дик И. Г. ПМТФ. 1976, 2, 61.
4. Канторович Б. В. Основы теории горения и газификации твердого топлива.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.
5. Виленский Т. В., Хзмалян Д. М. Динамика горения пылевидного топлива.— М.: Энергия, 1978.
6. Устименко Б. П., Джакунов К. Б., Кроль В. О. Численное моделирование аэродинамики и горения в топочных и технологических устройствах.— Алма-Ата: Наука, 1986.
7. Шрайбер Л. А., Гавин Л. Б., Наумов В. А. и др. Турбулентные течения газозвезди.— Киев: Наук. думка, 1987.
8. Деревич И. В., Ерошенко В. М., Зайчик Л. И. ИФЖ, 1983, 45, 4, 554.
9. Деревич И. В., Зайчик Л. И. ИФЖ, 1985, 48, 4, 554.
10. Медведев В. А. Промыш. теплотехника, 1987, 9, 4, 50.
11. Гавин Л. Б., Медведев В. А., Наумов В. А. ФГВ, 1988, 24, 3, 12.
12. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред.— М.: Наука, 1978.
13. Джонс У. // Методы расчета турбулентных течений.— М.: Мир, 1984.
14. Роди В. // Там же.
15. Кляцкин В. И. Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах.— М.: Наука, 1980.
16. Чанг Р. М. РТК, 1969, 7, 10 195.
17. Белоусов П. В., Дик И. Г. ФГВ, 1985, 21, 4, 32.
18. Поуп С. Б. // Турбулентные сдвиговые течения.— М.: Машиностроение, 1983.— Ч. 2.
19. Puhl A., Altares V., Nicols G. Phys. Review A, 1988, 37, 8, 3039.

г. Москва

Поступила в редакцию 13/II 1989,
после доработки — 9/I 1990

УДК 536.462

В. А. Новиков, В. М. Полонский, С. И. Яковлев

ПОВЕДЕНИЕ ЛЕГКОИОНИЗИРУЮЩЕЙСЯ ПРИСАДКИ В ВОЛНЕ ГОРЕНИЯ ТВЕРДОГО ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕГО ТОПЛИВА

Рабочим телом импульсных геофизических МГД-генераторов являются продукты сгорания твердых плазмообразующих топлив (ТПТ) [1], в состав которых для обеспечения требуемого уровня удельной электропроводности газа на входе в МГД-канал (50—70 См/м) вводят легкоионизирующуюся присадку (ИП)—обычно нитраты цезия или калия [2]. ИП вводится в состав ТПТ в виде полидисперсного порошка. При горении ТПТ присадка частично (от 5 до 20 % по массе) испаряется непосредственно на горячей поверхности, остальная ее часть диспергирует в виде частиц (расплавленных капель) в объем камеры сгорания генератора плазмы [3]. Для обеспечения расчетного значения удельной электропроводности продуктов сгорания ТПТ на входе в МГД-канал ИП должна быть полностью испарена, ионизована и равномерно распределе-

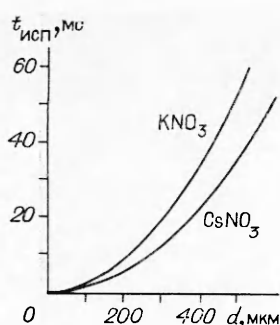


Рис. 1. Зависимость времени полного испарения частиц KNO_3 и CsNO_3 от их диаметра.

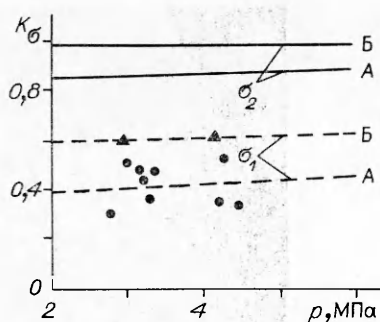


Рис. 2. Зависимость степени реализации удельной электропроводности $K\sigma$ ТПТ А и Б от давления.

на поперечному сечению канала. С учетом того, что время ионизации паров ИП на 1—2 порядка меньше времени полного испарения ее частиц [4], степень реализации расчетной удельной электропроводности продуктов сгорания ТПТ будет определяться степенью завершенности процесса испарения ИП.

При постоянных размерах камеры сгорания генератора плазмы и термодинамических характеристиках продуктов сгорания топлива полностью испарения ИП определяет в основном диаметр d частиц ИП, покидающих горящую поверхность ТПТ (рис. 1). Расчеты испарения частиц в камере сгорания генератора плазмы со средним временем пребывания $(4-8) \cdot 10^{-3}$ с и секундно-массовым расходом продуктов сгорания 1 кг/с показывают [5], что полное испарение достигается лишь для частиц с $d = 50 \div 100$ мкм.

Для подтверждения проведенных расчетов в указанной камере сгорания испытаны две топливные композиции А и Б, содержащие KNO_3 с $d = 10 - 300$ и $0 - 15$ мкм соответственно. В экспериментах измеряли удельную электропроводность σ_1 продуктов сгорания ТПТ в диагностическом МГД-канале методом вольт-амперных характеристик. Полученные значения σ_1 сравнивали с расчетными величинами σ_0 , полученными по методике [6] в приближении термодинамического равновесия продуктов сгорания. Определялась степень реализации расчетных электропроводностей продуктов композиций А и Б $K\sigma_1 = \sigma_1/\sigma_0$ и $K\sigma_2 = \sigma_2/\sigma_0$ (рис. 2), где σ_2 — удельная электропроводность, найденная по методике [5] с учетом незавершенности процесса испарения частиц ИП.

Из рис. 1 видно, что для топлива Б должно быть $\sigma_2 = 100\%$, а для А с крупнодисперсными частицами KNO_3 — 85—90%, тогда как экспериментальные значения $K\sigma_1$ для этих топлив почти в 2 раза ниже. Такое расхождение расчета и эксперимента не может быть обусловлено несовершенством расчетной и экспериментальной методик определения σ_2 , поскольку их погрешность не превышает 15—20% [7].

Как известно, в волне горения твердых топлив, содержащих плавящиеся дисперсные компоненты, происходит агломерация исходных частиц вследствие их слияния или спекания, что приводит к увеличению размеров частиц и ухудшению эффективности процессов горения в энергоустановках [8].

С учетом низких температур плавления нитратов цезия и калия (687 и 607 К соответственно), а также достаточно высокого массового содержания присадка в ТПТ (7—10% [2]) аналогичный эффект может проявляться и при горении ТПТ. Слияние частиц ИП в волне горения может приводить к появлению крупных агломератов, время полного испарения которых превышает время их пребывания в камере сгорания, и к снижению вследствие этого удельной электропроводности рабочего тела МГД-генератора.

Наличие агломерации ИП при горении плазмообразующих топлив подтверждается исследованием поверхности образцов топлив А и Б, по-

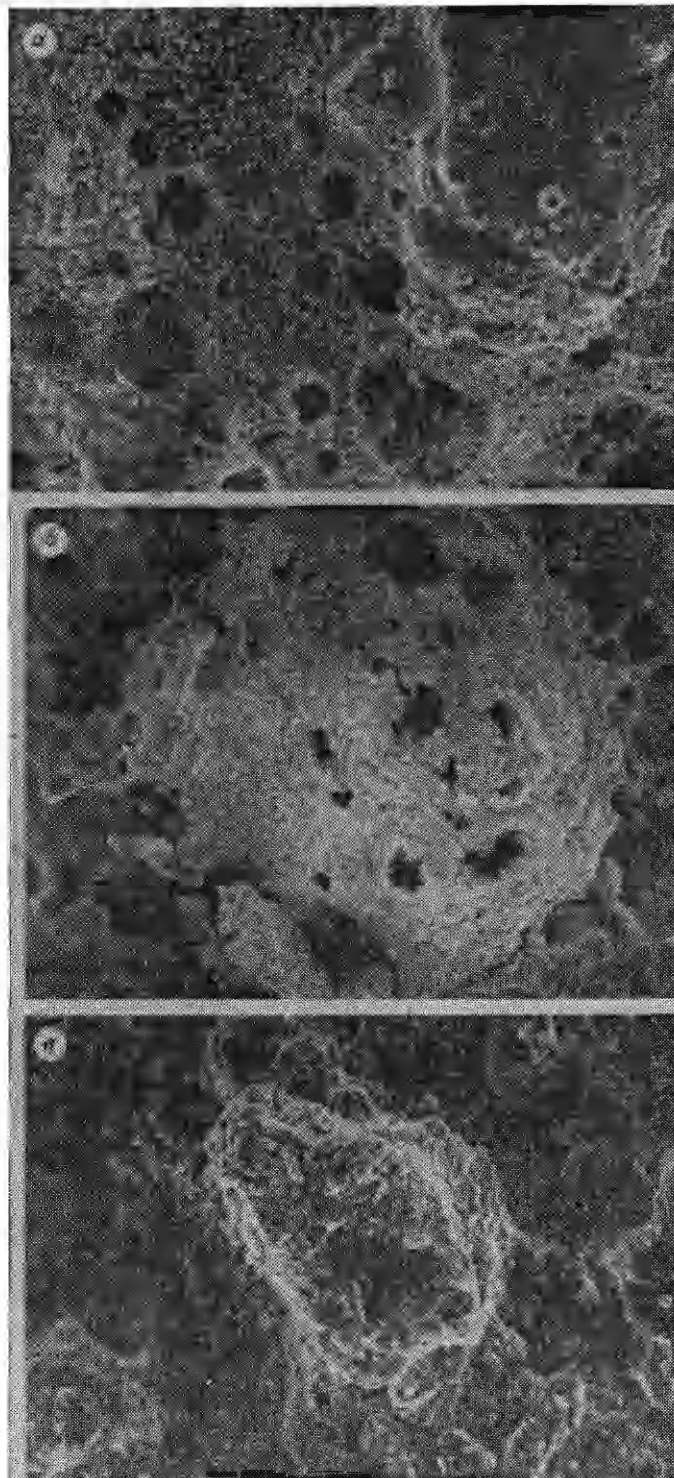


Рис. 3. Погашенная поверхность ТПТ А (а, б) и Б (в).

гашенных на теплоотводящей пластине, либо сбросом давления (рис. 3). Независимо от способа гашения на поверхности топлива присутствуют крупные капли нитратов щелочных металлов размером до 1200—1500 мкм. При давлениях $p < 2$ МПа (рис. 3, а) поверхность ТПТ между отдельными каплями размером 800—1500 мкм покрыта тонкой пленкой расплава KNO_3 . С ростом давления (рис. 3, б, $p = 4$ МПа) слой

расплава между крупными каплями исчезает, а их размеры уменьшаются до 200—900 мкм. Дальнейшее повышение давления до 8 МПа практически не изменяет структуру горячей поверхности и слабо влияет на размер агломератов ИП. Аналогичный эффект агломерации ИП наблюдается и при горении ТПТ Б (рис. 3, в), размер агломератов при $p = 4$ МПа может достигать 100—800 мкм, что приводит к снижению степени испарения ИП в камере сгорания.

Таким образом, экспериментально установлен эффект агломерации частиц легкоионизирующейся присадки KNO_3 на горячей поверхности твердого плазмообразующего топлива, почти в 2 раза снижающий степень реализации расчетной удельной электропроводности продуктов сгорания и соответственно энергетических параметров импульсного МГД-генератора. В связи с этим необходимо использовать специальные меры, исключающие агломерацию присадки. Наиболее радикальна из них — замена нитратов щелочных металлов на другие типы ИП, неплавящиеся или интенсивно разлагающиеся при температуре горячей поверхности ТПТ (600—800 К).

ЛИТЕРАТУРА

1. Морохов И. Д., Велихов Е. П., Волков Ю. М. Атомная энергия, 1978, 44, 3, 213.
2. Bangerter C. D., Peterson A. C., Convent E. E. // Proc. 8th Symp. on Engrg. Aspects of MHD.— Stanford, 1967.
3. Бабаков Ю. П., Иващенко Ю. С., Новиков В. А. и др. // Тез. докл. III Всесоюз. совещания по физике низкотемпературной плазмы с конденсированной дисперсной фазой.— Одесса, 1988.
4. Магнитогидродинамическое преобразование энергии. Открытый цикл/Под ред. Б. Я. Шумяцкого, М. Петрика.— М.: Наука, 1979.
5. Венгерский В. В., Бабаков Ю. П., Бордаков В. Н. и др. Материалы Всесоюз. конф. «Применение аппаратов порошковой технологии и процессов термосинтеза в народном хозяйстве».— Томск, 1987.
6. Чернов Ю. Г., Сахаров Б. Б., Гуревич М. И. и др. Пакет прикладных программ «Плазма».— М., 1981.— (Препр./ИАЭ—3522/16).
7. Недоспасов А. В., Побережский Л. П., Чернов Ю. Г. Состав и свойства рабочих тел МГД-генераторов открытого цикла.— М.: Наука, 1977.
8. Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах.— М.: Наука, 1972.

г. Дзержинский

Поступила в редакцию 5/VII 1989

УДК 621.1.01 : 536.42

Ю. А. Буевич, Н. А. Королева, И. А. Наталуха

ВЛИЯНИЕ МОДУЛЯЦИИ НА ГОРЕНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА

В работе [1] исследованы неустойчивость стационарных процессов горения полидисперсной системы частиц, обусловленная сильно нелинейной зависимостью скорости реакции от температуры, и характеристики возникающих в результате автоколебательных режимов горения. Наличие собственных частот колебаний делает в принципе возможным явления нелинейного параметрического резонанса в рассматриваемой системе: искусственную стабилизацию, параметрическое возбуждение колебаний, возникновение квазипериодических режимов и т. п. Такого рода процессы широко распространены в природе [2, 3] и могут иметь практическое значение для оптимизации ряда технологических процессов (см., например, [4, 5]). Последнего следует ожидать и применительно к топкам с диспергированным топливом [1]; в связи с этим в настоящей работе рассматривается влияние модуляции ряда параметров