

УДК 536.46

ДАТЧИК МАЛЫХ СИЛ С РАСШИРЕННЫМ ЧАСТОТНЫМ ДИАПАЗОНОМ И КОМПЕНСАЦИЕЙ ВОЗМУЩЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.Б. Кискин¹, В.Е. Зарко¹, А.С. Мамаев²

¹В.В. Воеводский институт химической кинетики и горения СО РАН, Новосибирск, Россия

²Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Новосибирск, Россия

Аннотация

Показано, что, имеющаяся конструкция датчика малых сил обеспечивает возможности определения динамических характеристик горения (реактивной силы продуктов сгорания) при переменных давлениях и может быть использована для экспрессного определения удельного импульса реактивной силы на малых образцах ракетного топлива. Получаемые при этом значения удельного импульса могут служить в качестве предварительной оценки энергетических характеристик новых составов, а также использоваться для целей сравнения характеристик для различных разрабатываемых составов топлива.

Ключевые слова: датчик малых сил, скорость горения, дифференцирование, реактивная сила

Использование в технике процессов горения конденсированных систем (КС) требует знания не только стационарной скорости горения КС, но и динамического поведения процесса горения в переходных режимах: зажигания, передача волны горения от воспламенителя к основному составу, реакция на изменение внешних условий (давление, тангенциальный обдув, излучение). При этом требуется надежно измерять нестационарную скорость горения. Существующие методы кино-видео-регистрации, рентгенографии, микроволновые, ультразвуковые и измерения массы кроме индивидуальных ограничений имеют общий недостаток - необходимость дифференцирования данных для получения величины скорости горения. Операция дифференцирования зашумленного сигнала не способствует повышению точности измерения, не уменьшает уровень шумов и не расширяет частотный диапазон измерений.

В ИХКГ СО РАН для изучения нестационарных процессов горения КС развит метод регистрации реактивной силы F оттекающих от поверхности горения газофазных продуктов [1]. Метод позволяет, как непосредственно определять временные характеристики процесса горения, так и измерять величину, непосредственно связанную с массовой скоростью горения вещества. В рамках одномерной теории можно записать следующие уравнения:

$$F = \frac{(\rho u)^2}{\rho_g} \cdot S, \quad \rho_g = P\mu / (RT_g).$$

$$F = \frac{(\rho u)^2}{\rho_g} \cdot S, \quad \rho_g = \frac{\mu P}{RT_g}$$

Здесь u - скорость горения;

ρ и ρ_g - плотности к-фазы и газа;

T_g - температура горения;

μ - молекулярный вес продуктов горения;

P - давление;

S - площадь сечения образца топлива;

R - универсальная газовая постоянная.

Параметры газовой фазы берутся на достаточном удалении от поверхности горения, где можно считать завершённым протекание химических реакций. На практике используется приближенная зависимость:

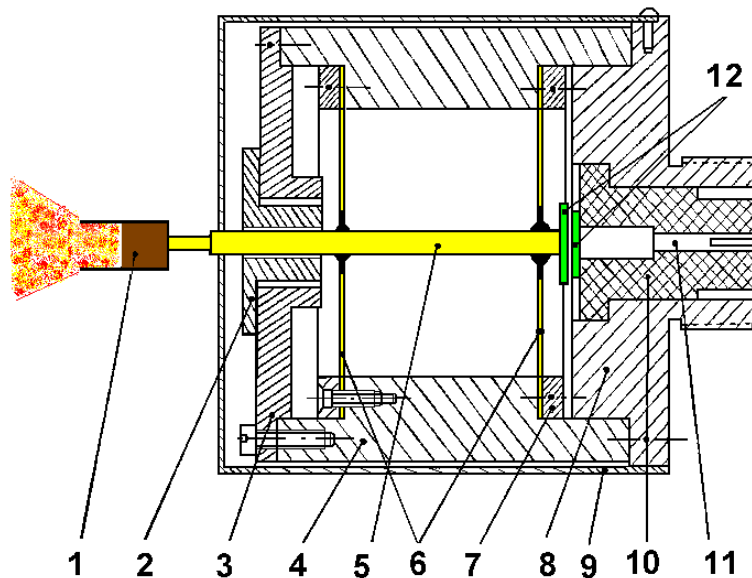
$$F = ku^n \cdot \frac{S}{P},$$

в которой параметры k и n определяются из обработки экспериментов по стационарному горению.

Для лабораторной реализации методики необходим прибор, позволяющий измерять переменную величину реактивной силы со средним уровнем ~1000 мН. Для этой цели в ИХКГ СО РАН в восьмидесятых годах предыдущего столетия был разработан и применялся в исследованиях датчик реактивной силы с конденсаторным чувствительным элементом

[2]. Одна из пластин конденсатора (поз. 12 на рис.1) закреплена на стержне (5) с присоединенным образцом (1). Стержень подвешен на двух мембранах (6). Таким образом, возника-

ющая при горении реактивная сила смещает пластину конденсатора (12), что и регистрируется электронной схемой.



1 - стержень, 5 - исследуемый образец, 6 - мембраны, 12 - конденсатор

Рис. 1 - Датчик реактивной силы с конденсаторным чувствительным элементом

Практика использования этого устройства наглядно показала, что практически все топлива в постоянных условиях горят квазистационарно. Как правило, наблюдаются колебания реактивной силы более или менее выраженные, что указывает на неоднородность или

очаговость реагирования на поверхности горения (рис.2), либо на нестабильность горения (рис.3). В последнем случае зарегистрированы предсказанные теорией горения автоколебания скорости горения.

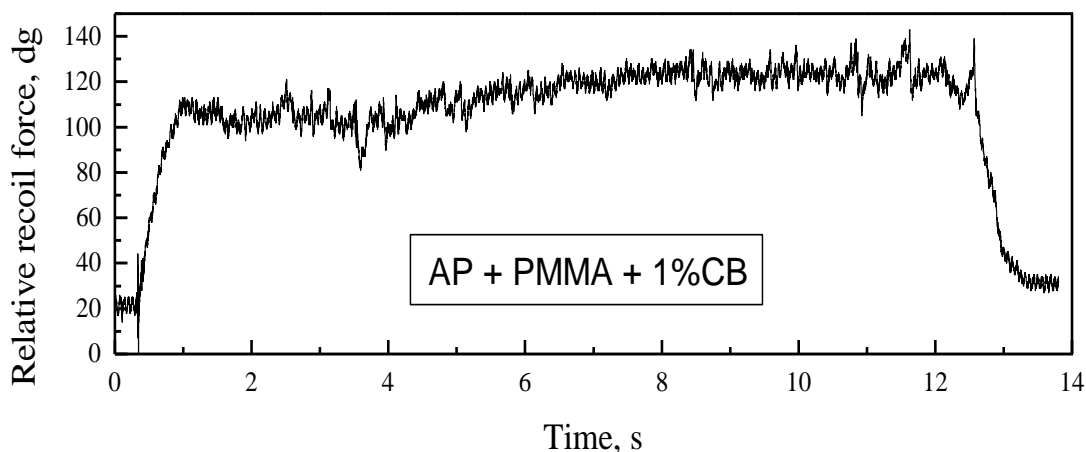
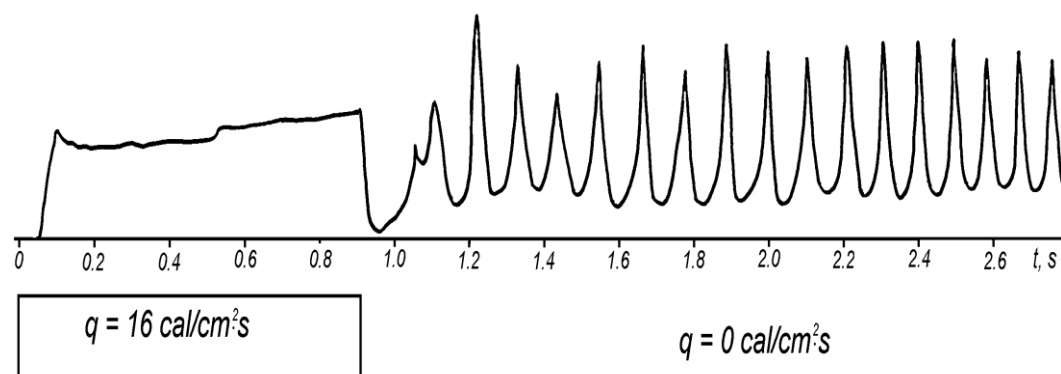


Рис. 2 - Самоподдерживающееся горение модельного топлива

Рис. 3- Режим автоколебательного горения октогена ($P=1$ атм, $T_0=80^{\circ}\text{C}$)

Недостатком предыдущей конструкции датчика была заметная чувствительность к изменениям давления и других параметров среды, влияющих на величину диэлектрической проницаемости газ в зазоре конденсатора. В примере на рис. 4 давление в опыте выросло с

8.5 до 11.9 атм, при этом нулевая линия существенно изменилась. Для получения количественной информации в этом случае приходится без достаточных оснований вводить графическую интерполяцию нулевого уровня.

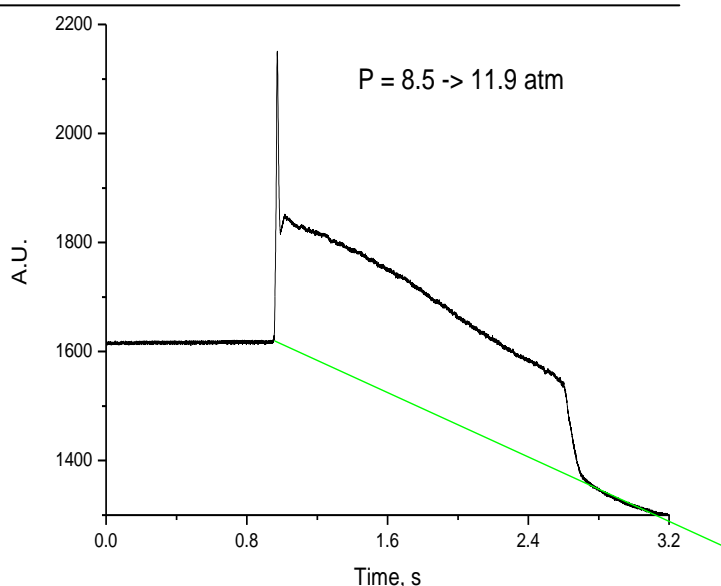
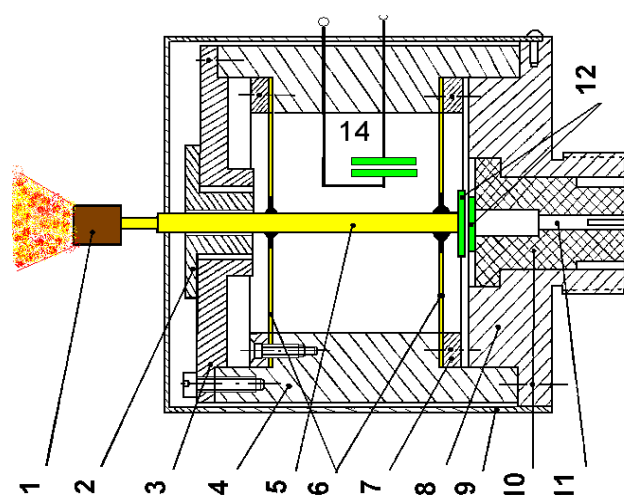


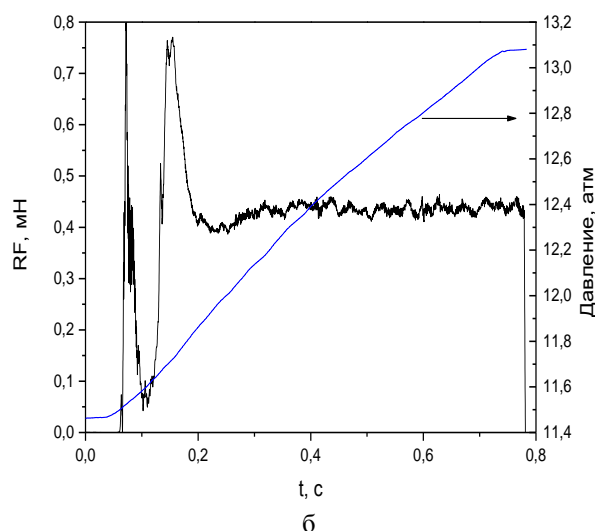
Рис. 4- Реактивная сила при горении топлива в замкнутом сосуде

В данном сообщении представлен модифицированный датчик, получивший более универсальное название датчика малых сил обладающий расширенным до 2 кГц частотным диапазоном (электроника) и средством компенсации возмущений окружающей среды [3]. Для этой цели в конструкцию введён второй статический конденсатор (поз. 14 на рис. 5), который регистрирует изменения диэлектрической проницаемости при изменении параметров газовой среды. Оба конденсатора включены по мостовой схеме, что приводит к автоматической компенсации изменения диэлектрической проницаемости, а, значит, и

влияния внешней среды. Конструкция датчика позволяет включать их независимо с регистрацией сигналов с каждого конденсатора, что позволяет провести компенсацию возмущений после физического эксперимента с помощью компьютерной обработки и выяснить влияние паразитных ёмкостей, нарушающих идеальную мостовую схему. Разработка системы регистрации осуществлена в КТИ ВТ СО РАН. Также доработана механическая конструкция датчика с целью компенсации геометрических изменений при сжатии в условиях повышения либо уменьшения давления.



а



б

Рис. 5- а - модифицированный датчик с референсным конденсатором (14), б - сигнал реактивной силы при горении модельного смесового топлива с содержанием 18% Al в замкнутом сосуде при давлении 10 атм

Модифицированный датчик малых сил позволяет определить единичный импульс для топлив, у которых полная газификация всех компонентов конденсированной фазы и завершение химических реакций в газе происходит вблизи (не далее 1 - 2 см) от поверхности.

На рис. 6 представлены результаты определения единичного импульса для трех значений давления p_k в камере сгорания, осредненные по пяти дублирующим опытам. Здесь же приведены результаты термодинамического расчёта (сплошная линия). Расчётные значения на 10 ÷ 15% превышают измеренные. Это связано с тем, что расчётные данные соответствуют полностью завершённым химическим реакциям и условиям горения без теплотерь. На методику измерения удельного

импульса на малых количествах топлива получен патент [4].

Таким образом, имеющаяся конструкция датчика малых сил обеспечивает возможности определения динамических характеристик горения (реактивной силы продуктов сгорания) при переменных давлениях и может быть использована для экспрессного определения удельного импульса реактивной силы на малых образцах ракетного топлива. Получаемые при этом значения удельного импульса могут служить в качестве предварительной оценки энергетических характеристик новых составов, а также использоваться для целей сравнения характеристик для различных разрабатываемых составов топлива.

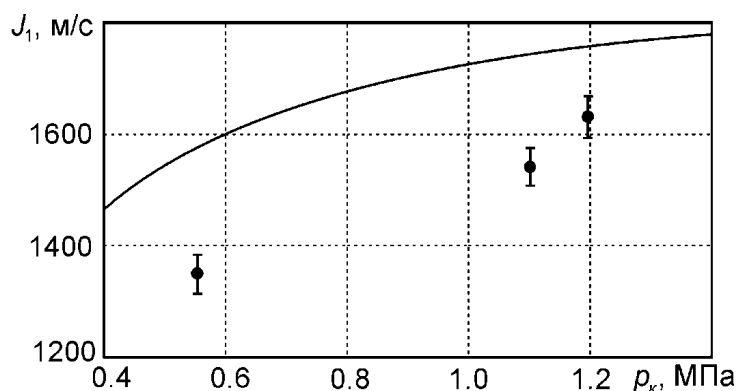


Рис. 6 - Единичный импульс модельного ТРТ в зависимости от давления в камере сгорания.
Сплошная линия - термодинамический расчёт

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-03-00217.

Литература

1. Zarko, V.E., Simonenko, V.N., and Kiskin, A.B.. "Radiation-Driven, Transient Burning: Experimental Results". In: Progress in Astronautics and Aeronautics (De Luca, L., Price, E.W., Summerfield, M., Eds.) Vol.143, Ch.10, 1992.

2. В.Н. Симоненко, В.Е. Зарко. Реактивная сила продуктов сгорания как мера нестационарной скорости горения пороха //Физ. горения и взрыва. - 1981. N 3. - С. 129-131.

3. Зарко В.Е., Кискин А.Б., Колодей В.В. Мамаев А.С. Система измерения массовой скорости горения. // Патент на полезную модель, RU 105451, 12.01.2011.

4. В.А. Архипов, В.Е. Зарко, А.Б. Кискин, А.Г. Коротких. Способ определения единичного импульса твердого топлива //Заявл. 26.12.2011; 2494394 РФ, МПК G01N 33/22. Оpubл. 27.09.2013. Бюл. № 27.

КЕҢЕЙТІЛГЕН ЖИЛІКТІ ДИАПАЗОНЫ ЖӘНЕ ҚОРШАҒАН ОРТА АУЫТҚУ КОМПЕНСАЦИЯСЫ БАР АЗ КҮШТЕР ДАТЧИГИ

А.Б. Кискин¹, В.Е. Зарко¹, А.С. Мамаев²

¹В.В. Воеводский атындағы химиялық кинетика және жану институты РҒА СБ, Новосибирск, Ресей

²Есептегіш техниканың конструкторлық-технологиялық институты РҒА СБ, Новосибирск, Ресей

Аңдатпа

Бұл жұмыста қолда бар құрылғыдағы аз күш датчигі ауыспалы қысым кезінде жанудың динамикалық сипаттамаларын (жану өнімдерінің реактивті күші) анықтауға мүмкіндік береді және аз көлемдегі зымыран отынының реактивті күшінің меншікті импульсін тез анықтау үшін қолданылуы мүмкін. Алынған меншікті импульстің мәндерін жаңа құрамдардың энергетикалық сипаттамаларын алдын ала бағалауға, сонымен қатар әр түрлі жасалып жатқан отын құрамдарын салыстыру үшін қолдануға болады.

Түйінді сөздер: шағын сенсор күштер, жану жылдамдығы, саралау, реактивті күш

SENSOR OF SMALL FORCES WITH EXTENDED FREQUENCY RANGE AND COMPENSATION OF PERTURBATIONS OF THE ENVIRONMENT

A.B. Kiskin¹, V.E. Zarko¹, A.S. Mamaev²

¹B.V. Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Design Technological Institute of Digital Techniques SB RAS, Novosibirsk, Russia

Abstract

It is shown that the existing design of the small force sensor provides the ability to determine the dynamic characteristics of combustion (reactive force of combustion products) at variable pressures and can be used

to express the specific impulse of reactive force on small rocket fuel samples. The resulting values of the specific impulse can serve as a preliminary estimate of the energy characteristics of the new compositions, and also be used for the purpose of comparing the characteristics for various fuel compositions being developed.

Keywords: small sensor forces, burning rate, differentiation, reactive power