

УДК 621.454

## ПРИМЕНЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ В РЕАКТОРАХ ИДЕАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ

© Игтисамов Р.Р., Крюков В.Г.

e-mail Igtisamovr@yandex.ru

*Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ, г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация*

Известно, что в высокотемпературных агрегатах наблюдается и зачастую используется пульсационное горение. Исследованию этого типа горения посвящено множество работ, относящихся, к колебаниям: в камерах сгорания двигателей [1], в котлах пульсирующего горения, в установках по бездымному сжиганию твердых промышленных отходов [2, 3] и др. В этих работах процесс горения рассматривался как источник механической или тепловой энергии, который под воздействием колебаний газа приобретает периодическую составляющую.

Однако, процесс горения может обладать собственной неустойчивостью, например неустойчивость фронта пламени [4] или кинетическая неустойчивость химических реакций при взаимодействии топлива с окислителем. В работе [5] предлагается «аналитическая модель» расчета неустойчивого (в том числе и пульсационного горения) в реакторе идеального смешения (РИС), а реагирующая среда описывается всего 2-мя последовательными реакциями. Но для реальных реагирующих систем, описываемых сложными механизмами, зоны пульсационного горения теоретически можно выявить только численными исследованиями на базе инвариантных программ расчета горения [6].

Этот прием применен здесь для выявления пульсирующих режимов горения в РИС для реагирующей системы «СН<sub>4</sub> + воздух». Расчеты выполнялись около линии «затухания» и было выявлено несколько таких режимов. Ниже даны описание и анализ одного из них при следующих величинах коэффициента избытка окислителя, времени пребывания и давления:  $\alpha_{ox} = 0.66$ ;  $\tau_{np} = 163 \mu s$ ;  $P = 16$  атм. Показатель подвода тепла ( $Q_s$ ) на единицу массы входного потока реагентов  $Q_s = 153 kJ/kg$  выбирался так, чтобы химически равновесная температура  $T_{eq}$  (т.е. температура в реакторе при  $\tau_{np} \rightarrow \infty$ ) достигла значения  $T_{eq} = 2050^\circ K$ . Реагенты входят в реактор с параметрами:  $T_{in} = 298^\circ K$ ;  $r_{CH_4} = 0.1361$ ;  $r_{O_2} = 0.1814$ ;  $r_{N_2} = 0.6825$ . Механизм реакций, заимствованный, из работы [7], включает 47 реакций и 28 веществ. Начальные состав реагирующей смеси и температура в реакторе задавались химически равновесными при  $T_{eq} = 2050 K$  а затем по мере протекания в нем процессов горения, характеристики продуктов сгорания приближались к стационарным значениям. В этом расчете был получен автоколебательный установившийся режим с периодом колебаний  $\tau_{ps} = 68 \mu s$ .

При сохранении параметров  $\alpha_{ox}$  и  $P$  и изменении времени пребывания  $\tau_{np}$  режим горения может изменяться. На рисунке показано изменение температуры в реакторе  $T_g$  при различных  $\tau_{np}$ .

Как видно из представленных изменений температур:

- при  $\tau_{np} = 150 \mu s$  горение после нескольких осцилляций прекращается;
- пульсационный режим при  $\tau_{np} = 163 \mu s$  попадает уже в область горения (дублирует приведенный пример);

- при увеличении времени пребывания до  $\tau_{np} = 200 \mu s$  (т.е. при перемещении точки горения в реакторе от линии затухания вглубь зоны горения) также устанавливаются пульсации, но значительно меньшей амплитуды;
- при  $\tau_{np} = 300 \mu s$  после окончания этапа установления процесс горения протекает без пульсаций.

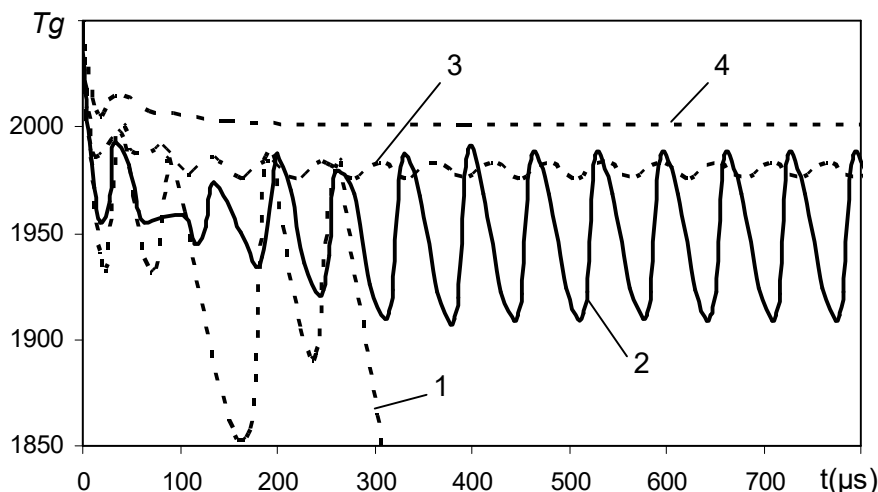


Рис. Характер режимов горения в РИС топлива «CH<sub>4</sub> + воздух» при  $\alpha_{ox} = 0.66$   $P = 16 atm.$  и различных временах пребывания: 1 - ( $\tau_{np} = 150 \mu s$ ); 2 - ( $\tau_{np} = 163 \mu s$ ); 3 - ( $\tau_{np} = 200 \mu s$ ); 4 - ( $\tau_{np} = 300 \mu s$ )

### Библиографический список

1. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989, 464с.
2. Павлов Г.И., Кочергин А.В., Ситников О.Р. и др. Переработка изношенных шин и резинотехнических изделий в инертную крошку при использовании установок пульсирующего горения // Вестник казанского технологического университета», №19, 2011, стр.174-179
3. С.Е. Филипов, В.М. Ларионов, Д.В. Рукавишников. Механизмы возбуждения и теоретическая модель вибрационного горения твердого топлива в трубе. Проблемы энергетики, 2006, № , стр. 20-28
4. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение М. Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. – 500 с.
5. Андрианова, З.С., Деюн Е.В, Самойленко Н. Г., Кустова Л.В. Автоколебания в проточном реакторе идеального смешения с двухстадийной последовательной реакцией, Химическая физика, 2009, Т. 28, № 7, стр. 87.
6. Naumov V.I., Krioukov V.G., Abdullin A.L. Chemical Kinetics Software System for the Propulsion and Power Engineering. Proceedings of 41-st-Aerospace Sciences Meeting and Exhibit., USA, 2003, v.1, 12pp.
7. Glarborg P., Miller J.A., Kee R.J. Kinetic modeling and sensitivity analysis of nitrogen oxide formation in well-stirred reactors. combustion and flame, 1986, Vol.65, PP.177-202.