

ON CONDITIONS FOR SELF-PULSATING OPEN FLAME COMBUSTION MODE OF PROPANE-BUTANE MIXTURE

M. Yu. Trofimenko, S.K. Aslanov, and V. V. Kalinchak

I.I. Mechnikov Odessa National University

Odessa, Ukraine

e-mail: poserta@rambler.ru

ОБ УСЛОВИЯХ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОГО РЕЖИМА ГОРЕНИЯ ОТКРЫТОГО ФАКЕЛА ПРОПАН-БУТАНОВОЙ СМЕСИ

М. Ю. Трофименко, С. К. Асланов, В. В. Калинин

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова

Украина, г. Одесса e-mail: poserta@rambler.ru

The appearance of stable pulse mode of alcohol propane-butane torch combustion has been investigated. The mechanism of pulsing is connected with creation of small local volumes in the initial inflammable mixture, where the ratio of oxidizer-fuel is different from the average value.

При горении как газообразных, так и жидких или твердых топлив в различных устройствах (авиационные и ракетные двигатели, технологические и промышленные печи и т. д.) при определенных условиях наблюдается пульсационный режим горения. В пульсирующих потоках происходит существенное ускорение различных тепломассообменных процессов и улучшение полноты сгорания топлива по сравнению со стационарным режимом горения [1, 2].

Нами создана экспериментальная установка, схема которой представлена на рис. 1, дающая возможность получения и исследования различных режимов горения газовых пламен [3].

На этой установке был получен пульсационный режим горения открытого факела бытового газа (пропан — 40%, бутан — 60%) вертикально установленной горелки с принудительной подачей реагирующих компонентов (окислитель-воздух) в воздушной атмосфере [4].

В установке используется изготовленная нами горелка [5], состоящая из узла подачи реагирующих компонентов и сменных сопел различных диаметров (11,5, 8,5 и 6 мм) и длин (90-55 мм), в которых осуществляется пригото-

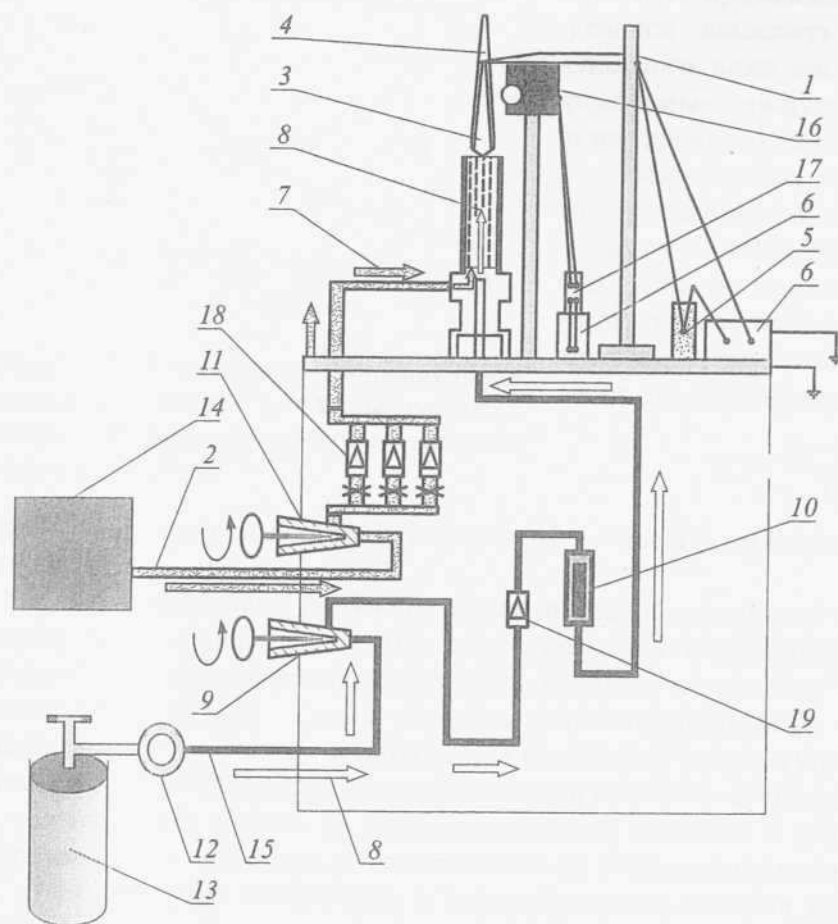


Рис. 1 Схема экспериментальной установки: 1 — препаратоводитель; 2 — трубопровод; 3 — исследуемое пламя; 4 — спай термопары, находящийся в исследуемом пламени; 5 — спай термопары, находящийся во льду; 6 — осциллограф; 7 — направление движения воздуха; 8 — направление движения газа; 9 и 11 — игольчатые клапаны; 10 — пламегаситель (стружки металла); 12 — редуктор грубой регулировки давления газа; 13 — газовый баллон; 14 — компрессор; 15 — трубопровод; 16 — фотодиод; 17 — усилитель; 18 — блок ротаметров, измеряющий расход воздуха; 19 — газовый ротаметр

ление однородной горючей смеси. Контроль количества подаваемых газов (окислителя и горючего) осуществляется ротаметрами, регулировка уровня подачи — игольчатыми кранами.

По структуре полученный факел состоит из двух конусов — внутреннего и внешнего, в каждом из которых происходят периодические процессы. Излучение пламени регистрировалось с помощью фотодиода, помещенного на препаратоводитель, что позволяет фиксировать световые потоки и их изменения из заданной области факела [3]. Таким образом, при относительной

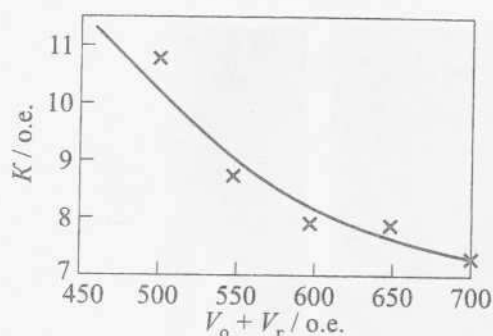


Рис. 2 Зависимость соотношения окислитель–горючее при различных расходах воздуха для диаметра сменного сопла горелки 11,5 мм

простоте применяемой аппаратуры удается выделить из колебаний сложного вида составляющие, характерные для пульсации внешнего и внутреннего конусов.

Зафиксировав поочередно разные расходы подаваемого в горелку воздуха и уменьшая для каждого из них расходы подачи газа, мы получили кривую начала возникновения пульсаций внутреннего конуса пламени, представленную на рис. 2:

$$K = \frac{V_o + V_r}{V_r},$$

где V_o расход окислителя (воздух); V_r — расход горючего (пропан-бута-новая смесь).

Нами также были получены аналогичные соотношения для различных диаметров сменных сопел. Вместе эти результаты укладываются в общую тенденцию, соотношение окислитель—горючее возрастает с увеличением расхода окислителя. Таким образом, появление пульсаций — характерное свойство самого факела, а параметры пульсаций (амплитуда и частота) зависят от диаметра сопла и соотношения окислитель-горючее.

Фотографии факела до начала пульсаций в начале и конце (потухание) пульсаций для диаметра сменного сопла 11,5 мм представлены на рис. 3.

Распределение температур в горизонтальном сечении полученного осесимметричного факела вдоль прямой, проходящей через его центр, представляет собой плавную кривую с понижением температур на оси симметрии для сечения вблизи сопла и прямую линию для сечения, находящегося выше вершины внутреннего конуса.

Изменения интенсивности оптического излучения факела (переменная составляющая) представлены на рис. 4.

Полученный с фотодиода сигнал из различных по высоте областей факела подавался на лучевой осциллограф, экран которого фотографировался на фотопленку. На протяжении всего факела в момент начала пульсаций (см. рис. 3, б) присутствуют пульсации (названные нами «низкочастотными») с частотой 20 Гц (см. рис. 4, а). Амплитуды «низкочастотных» пульсаций в верхней, средней и нижней частях факела относятся как 8 : 5 : 1. В нижней части факела на фоне «низкочастотных» пульсаций видны названные нами «высокочастотными» пульсации с частотой приблизительно 75 Гц (рис. 4, б). При дальнейшем уменьшении подачи газа (объем подачи воздуха зафиксирован) частота «низкочастотных» пульсаций составляет 23 Гц, «высокочастотных» 100 Гц. Соотношение амплитуд «низкочастотных» пуль-

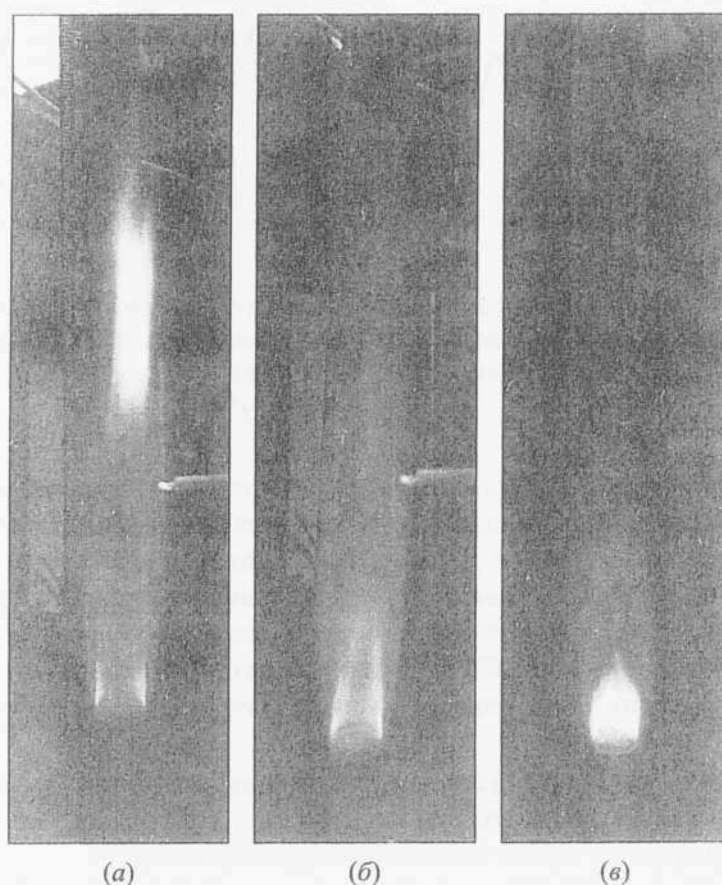


Рис. 3 Фотографии факела пропан-бутановой смеси для диаметра сменного сопла горелки 11,5 мм: (а) до начала пульсации; (б) начало пульсационного режима; (в) конец пульсационного режима, потухание факела

саций в средней и нижней частях факела 5 : 1 , амплитуд «низкочастотных» и «высокочастотных» пульсаций в нижней части факела (область внутреннего конуса) 5 : 1 (см. рис. 4, е). Непосредственно перед потуханием пламени (см. рис. 3, б) частота «низкочастотных» пульсаций в факеле составляет 26 Гц, «высокочастотных» — 180 Гц. Соотношение амплитуд «низкочастотных» пульсаций в средней и нижней частях факела 5 : 1 , амплитуд «низкочастотных» и «высокочастотных» пульсаций 2 : 1 (см. рис. 4, з).

Пульсационные (вибрационные) режимы горения наблюдались при горении как газообразных, так и жидких и твердых топлив. Пульсации с частотой более -1000 Гц в газовых закрытых (в топке, стеклянной трубке) или открытых факелах связывают с акустическими эффектами [6] или вих- реобразованием [7]. Пульсации факела твердого топлива в двигателе описываются введением характеристических времен, связанных с нахождением частиц в определенных зонах факела [8].

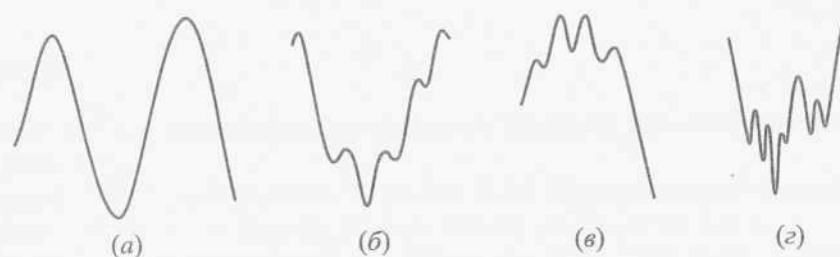


Рис. 4 Форма оптических пульсаций яркости пламени: (а) низкочастотные пульсации; (б) начало пульсационного режима; (в) среднее значение уровня подачи газа при пульсационном режиме; (г) конец пульсационного режима

Нам представляется, что объяснение наблюдаемого пульсационного режима горения газового факела возможно в предположении, что изменения яркости излучения пламени связаны с тем, что в поступающей в горелку исходной смеси находятся локальные газовые объемы, где соотношение воздух - пропан-бутановая смесь отличаются от среднего в потоке. При этом частоты пульсаций будут определяться пребыванием этих объемов в областях внутреннего («высокочастотные») и внешнего («низкочастотные») конусов.

Измерения, проведенные с помощью ротаметров [5] и непосредственно оптическими методами [3], подтверждают это предположение. Появление пульсаций наблюдается при горении бедной смеси пропан—бутана с воздухом, когда ощущается недостаток горючего. В этом случае появление локальных газовых объемов, где содержание газа выше среднего в исходной смеси, приводит к интенсивному выгоранию таких объемов и дальнейшему поддержанию горения в них путем диффузии исходных компонентов.

Диффузия кислорода происходит быстрее, чем диффузия пропана или бутана, и соотношение окислитель—горючее в локальном объеме стремится к среднему. Вместе с тем, кислород оттягивается быстрее, чем газ из окрестности горящего локального объема в сам объем, создавая в окружающей области лучшие условия для горения и приводя к увеличению роли кинетической составляющей горения. Таким образом, реализуются пульсации (волны) горения с частотами, близкими к временам пребывания локальных газовых объемов в областях внешнего и внутреннего конусов.

Резюмируя, можно сделать вывод, что при горении открытого пламени пропан-бутановой смеси в воздушной атмосфере с принудительной подачей исходных компонентов наблюдается пульсационный режим горения, механизм которого определяется появлением в исходной смеси локальных объемов с отличающимся от среднего отношением окислитель—горючее, а времена пульсаций пламени коррелируют с временами пребывания указанных локальных объемов в областях внешнего и внутреннего конусов.

Литература

1. Нестационарное распространение пламени / Под ред. Дж. Маркштейна. — М.: Мир, 1968. 438 с.
2. Подымов В. Н., Северянин В. С., Щелоков Я. М. Прикладные исследования вибрационного горения. — Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1978. 219 с.
3. Трофименко М.Ю., Асланов С. К., Калинин В. В., Зуй О.Н., Олешко Г. М. Исследование пульсационного горения пропан-бутановой смеси вблизи пределов его существования // Сб. Физика аэродисперсных систем. 42, Одесса, 2005. Вып. 42. С. 104-111.
4. Трофименко М. Ю., Асланов С. К., Калинин В. В., Зуй О. Н., Олешко Г. М. Исследование пульсационного горения пропан-бутанового пламени // Дисперсные системы. XXII Научная конференция стран СНГ. — Одесса, 2006. С. 330.
5. Трофименко М. Ю., Асланов С. К., Калинин В. В., Смагленко Т. Ф. Влияние геометрии горелки на условия пульсационного режима горения пропан-бутановой смеси // Дисперсные системы. XXIII Научная конференция стран СНГ. — Одесса, 2008. С. 351-352.
6. Рогинский О. Г. О вибрационном горении // Акустический журнал, 1961. Т. VII. Вып. 2. С. 131-153.
7. Ларионов В. М., Заринов Р. Г. Автоколебания газа в установках с горением. — Казань: КГУ, 2003. 227 с.
8. Асланов С. К. Теория неустойчивых колебаний в твердотопливной камере сгорания // Физика аэродисперсных систем, 1997. Вып. 36. С. 15-20.