

Указанные в таблице d и S капилляров относятся к концевой части длиной около 60 мм.

Из данных таблицы видно, что жидкая азотистоводородная кислота устойчиво детонирует в высокоскоростном режиме в капиллярах диаметром 0,079—0,080 мм, и лишь при диаметре капилляра менее 0,079 мм детонация становится неустойчивой. Она затухает, переходя, как и в нитроэфирах, в низкоскоростной режим. Таким образом, величину d_* жидкой азотистоводородной кислоты при комнатной температуре можно считать равной 80 мкм.

По теплоте взрыва HN_3 незначительно превосходит нитроэфиры (нитроглицерин, нитроглицоль), но по критическому диаметру далеко отстоит от них; d_* нитроэфиров составляет 2,2—2,4 мм, т. е. в 30 раз больше, чем d_* азотистоводородной кислоты. Столь малая величина d_* детонации азотистоводородной кислоты обусловлена высокой реакционной способностью, низкой энергией активации [6] химического превращения HN_3 . Величина критического диаметра HN_3 оказалась ниже самых низких известных до сих пор величин d_* (0,25—0,50 мм для смеси нитробензола с тетранитрометаном [7, 8] и 0,15 мм для жидкого озона [9]).

d , мм	s , мм	Наличие детонации	D , км/с
0,268	0,368	+	7,12
0,187	—	+	17,24
0,119	0,080	+	Переменная
0,096	0,034	+	7,43
0,081	0,075	+	Большая
0,080	0,028	+	7,39
0,079	0,031	+	Большая
0,071	0,021	+	Малая 4,04 (малая)
0,070	0,060	+	—
0,062	0,017	—	—
0,040	0,070	—	—

Отделение ИХФ АН СССР,
Черноголовка

Поступила в редакцию
21/VII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Боуден, А. Иоффе. Быстрые реакции в твердых веществах. М., ИЛ, 1962.
2. M. M. Chaudri and J. E. Field. Proc. Roy. Soc., 1974, A340, 113.
3. А. Ф. Беляев, А. Н. Азбужина, Л. Н. Стесик.— В сб.: Физика взрыва, № 3, М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 135.
4. Р. Х. Курбангалина, Е. А. Пацков и др. ПМТФ, 1970, 4.
5. Г. С. Яковлева, А. Я. Апин и др. Докл. АН СССР, 1964, 156, 1.
6. P. Gray, T. Waddington. Nature, 1957, 179, 4559.
7. Р. Х. Курбангалина. Канд. дис., ИФХ АН СССР, 1947.
8. Р. Х. Курбангалина. ЖПХ, 1959, 32, 7.
9. Е. И. Грибова, С. А. Каменецкая и др. ЖФХ, 1960, 34, 7.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ МЕТАНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В БОЛЬШИХ ОБЪЕМАХ

Н. А. Стрельчук, П. Ф. Иващенко, В. С. Румянцев

Экспериментальное изучение распространения пламени газовых смесей, например [1—8], проводилось в камерах малого объема при повышенных начальных давлениях. В этих условиях экспериментально была обнаружена неустойчивость нормального фронта пламени, выража-

ющаяся в искривлении его поверхности и увеличении видимой скорости распространения.

Настоящая работа проведена с целью выявления возможной интенсификации аварийных промышленных взрывов в больших объемах при атмосферных давлении и температуре.

Опыты проводились в стальной цилиндрической камере с внутренним диаметром 2 и длиной 3,5 м при центральном поджигании горючей смеси электрической искрой. Распространяющийся сферический фронт пламени фотографировался скоростной кинокамерой СКС-1М через оптическое стекло размером 1,1×1,2 м, вмонтированное в торец камеры. В другом торце был устроен прямоугольный проем размером 1,7×0,8 м, который закрывался на время проведения опытов листом черной бумаги. Одновременно с киносъемкой регистрировалось изменение давления во времени на осциллографе К-115 с датчиком ДД-10.

Метан подавался в камеру из газгольдера газодувкой, после чего компоненты смеси перемешивались двумя вентиляторами. Качество смешения контролировалось при отладке установки по контрольным пробам смеси из разных точек объема камеры. Были установлены режим и время работы вентиляторов, при которых достигалась однородность горючей смеси, а также автоматическое включение в определенной последовательности кинокамеры, осциллографа и воспламенения смеси.

На рис. 1 представлены последовательные фотографии процесса распространения пламени в смеси метана с воздухом. Слева на фотографиях видна трубка с электродами поджига. Цифры сбоку кадра означают момент экспозиции от начала воспламенения. На фотографиях видно, что во все время сгорания форма пламени остается сферической. Через 0,028 с после момента воспламенения смеси на гладкой поверхности пламени появляются выпуклости и вогнутости ячейки. Ячеистая структура отчетливо видна на кадрах 4—6. Средний размер ячеек на поверхности пламенной сферы радиуса $r=12$ см (кадр 3) равен 2 см. В дальнейшем с ростом r средний размер ячеек несколько увеличивается и для пламени с $r=37$ см (кадр 6) достигает 5 см.

Разрешающая сила оптической системы скоростной кинокамеры СКС-1М при частоте съемки 140 кадр/с позволяет обнаружить появление ячеистой структуры на поверхности пламени диаметром ≈ 10 см. На рис. 2 приведены фотографии, иллюстрирующие изменение ячеистой структуры одного и того же центрального участка фронта пламени. Ячеистая структура на кадре 1 соответствует сферическому пламени с $r=55$ см и времени от начала процесса горения 0,15 с. Из фотографий видно, что картина расположения ячеек не остается постоянной во времени. Более крупные ячейки продолжают увеличиваться и как бы поглощают отдельные мелкие ячейки, а границы между ними из резко очерченных (рис. 2, 1) переходят в размытые (рис. 2, 4).

Давление в объеме камеры при горении медленно возрастает и в условиях опыта, соответствующих



Рис. 1. Кинокадры процесса сгорания смеси 10% $\text{CH}_4 + 10\%$ воздуха; $p_0 = 100$ кН/м²; $T_0 = 288$ К.

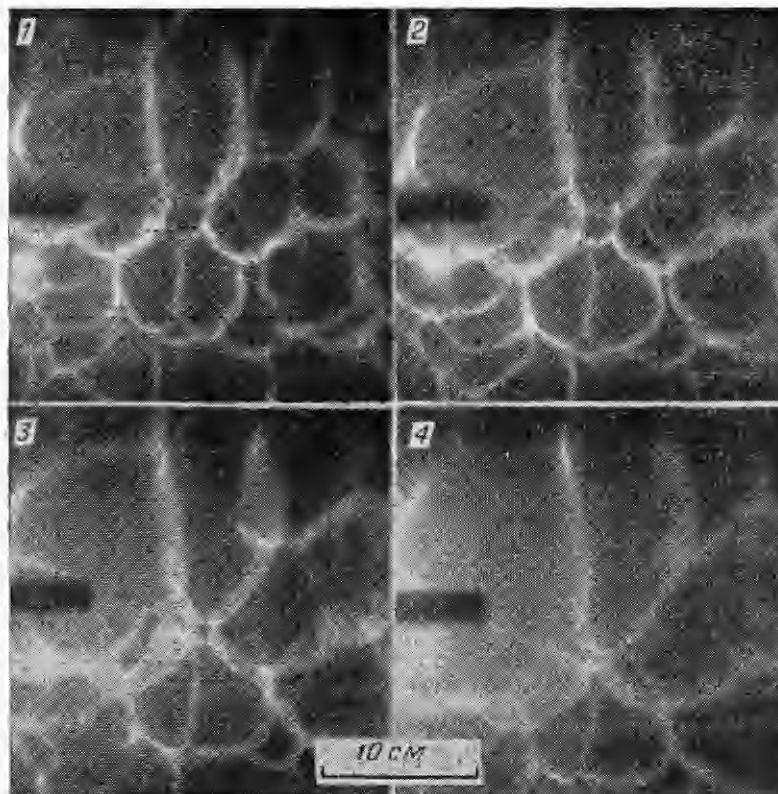


Рис. 2. Структура центрального участка фронта сферического пламени в смеси 10% CH_4 +90% воздуха; время между кадрами 5,7 мс.

рис. 1, через 0,14 с после начала процесса (когда $r=45$ см) достигает своего максимального значения, которое приблизительно на 4% превышает начальное. Поэтому можно считать, что пламя распространяется при практически постоянном давлении.

Во всех опытах наблюдалось ускорение фронта пламени. Увеличение скорости распространения пламени фиксировалось от момента воспламенения смеси до вскрытия торцевого проема. За это время пламя проходило отрезок пути, равный 45 см. Скорость распространения пламени (рис. 3) в смеси 10% метана с воздухом возрастала на этом участке на 60% по сравнению с видимой скоростью пламени до начала ускорения (горизонтальный участок кривой 1), а в смеси 7% метана с воздухом скорость возросла на 12%.

Ячеистая структура фронта пламени и изменение со временем скорости его распространения, по-видимому, указывают на гидродинамическую неустойчивость фронта нормально-го пламени. В пользу этого можно привести следующие соображения:

а) диффузионно-тепловая неустойчивость лучше всего наблюдается вблизи пределов распространения пламени [9, 10] в случаях, когда коэффициенты теплопроводности и диффузии особенно резко различаются. В этих же опытах коэффициенты диффузии и теплопроводности метана и кислорода различаются незначительно, а максимальная неустойчивость наблюда-

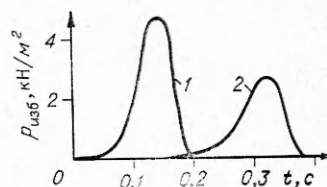


Рис. 3. Изменение скорости распространения фронта пламени с увеличением его радиуса.

1 — 10% CH_4 +90% воздуха; 2 — 7% CH_4 +93% воздуха.

лась в смеси с максимальной нормальной скоростью горения, что характерно для гидродинамической неустойчивости;

б) действие пристеночной турбулентности на формирование ячеистой структуры пламени исключается вследствие большого объема камеры (пламя теряет устойчивость по прохождении 5% своего пути от точки воспламенения смеси до стенки камеры);

в) на возникновение неустойчивости сферического пламени могло бы влиять увеличение давления в камере [6, 7]. Но, как показали измерения, распространение пламени в объеме камеры происходит практически при постоянном атмосферном давлении.

Увеличение скорости распространения пламени (см. рис. 3) обязательно, по-видимому, появлению ячеистой структуры фронта пламени. Действительная поверхность сферического пламени с такой структурой будет больше по сравнению с идеально гладкой сферой, что должно приводить к ускорению горения.

Московский инженерно-строительный институт
им. В. В. Куйбышева

Поступила в редакцию
13/Х 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, А. И. Розловский. Докл. АН СССР, 1947, 57, 365.
2. Х. А. Ракипова, Я. К. Трошин, К. И. Щелкин. ЖТФ, 1947, 17.
3. Я. К. Трошин, К. И. Щелкин. Изв. АН СССР, ОТН, 1955, 9, 100.
4. К. А. Кашкарлы и др. Докл. АН АзССР, 1955, 12, 819.
5. В. П. Карпов. ФГВ, 1965, 1, 3, 68.
6. С. М. Когарко, В. В. Адушкин, А. Г. Лямин. НТПГВ, 1965, 1, 2.
7. Л. А. Гуссак, Е. Н. Спринцина, К. И. Щелкин. ФГВ, 1968, 4, 3, 358.
8. А. Л. Подгребенков, Б. Е. Гельфанд и др. Докл. АН СССР, 1969, 184, 4, 883.
9. Н. П. Дроздов, Я. Б. Зельдович. ЖФХ, 1943, 17, 134.
10. Л. Д. Ландау. ЖЭТФ, 1944, 14, 240.

К АПЕРИОДИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССОВ В РАКЕТНОМ ДВИГАТЕЛЕ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

*Ю. А. Гостинцев, В. Н. Маршаков, Л. А. Суханов,
П. И. Лебедев*

В [1—3] на основании феноменологической теории нестационарного горения пороха была исследована возможность возникновения аperiodической неустойчивости процесса в ракетном двигателе. Представлялось интересным проверить выводы теории экспериментально. Количественное сопоставление результатов возможно лишь при условии, что все параметры, входящие в теорию, известны. В пределах феноменологической модели нестационарного горения их значения должны определяться из независимых экспериментов или из детальной теории стационарного горения. К сожалению, зависимости температур пламени и поверхности от давления и начальной температуры для порохов в настоящее время изучены не настолько подробно, чтобы их можно было использовать для получения достаточно достоверных значений параметров зоны горения, определяющих устойчивость процесса. Поэтому в общем случае точное количественное сопоставление теории с опытом пока невозможно, и речь может идти лишь о качественном описании того или иного действительного процесса.