

Результаты расчета профилей скорости, температуры и импульса в ламинарном затопленном и спутном факеле представлены на рис. 2, 3.

Из рис. 2 видно, что увеличение степени перегрева (повышение калорийности газа) приводит к смещению фронта пламени к «внешней» границе пограничного слоя.

Особый интерес представляет аэродинамическая структура факела, развивающегося в спутном потоке. Изменение параметра m (рис. 3) ведет к деформации полей скорости и температуры; фронт пламени с увеличением скорости спутного потока смещается к «внутренней» границе пограничного слоя. Своеобразен характер изменения динамического напора в поперечных сечениях пограничного слоя. Наличие источника — фронта пламени в зоне смещения приводит к образованию «провала» на профилях ρu^2 .

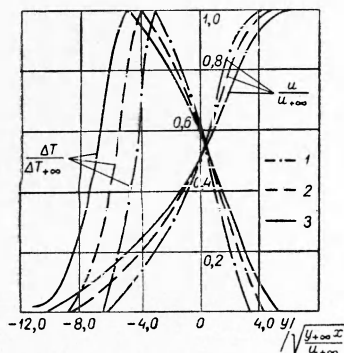


Рис. 2. Распределение температуры и скорости в затопленном ламинарном факеле ($\beta=4,0$; $\sigma=\sigma_1=1,0$).

1 — $\omega=6,0$; 2 — $\omega=8,0$; 3 — $\omega=10,0$ ($\omega=\omega_1$).

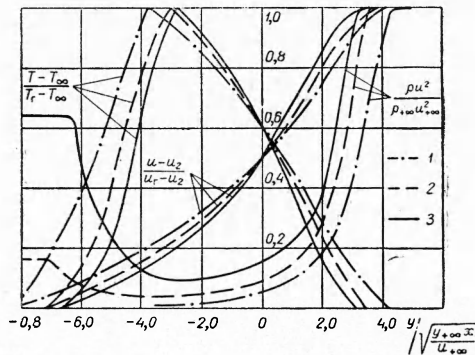


Рис. 3. Распределение температуры, скорости и плотности потока импульса в спутном ламинарном факеле ($\beta=4,0$; $\omega=\omega_1=8,0$; $\sigma=\sigma_1=1,0$).

1 — $m=0$; 2 — $m=0,4$; 3 — $m=0,8$.

Последнее связано с тем, что при изобарическом течении наличие источника приводит к резкому изменению поля плотности, в то время как поле скорости деформируется незначительно. Очевидно, что подобное явление должно наблюдаться и при горении в турбулентном потоке. Действительно, аналогичный характер изменения ρu^2 в пограничном слое был экспериментально обнаружен при изучении аэродинамики турбулентного диффузионного факела, развивающегося в спутном однородном потоке [5].

Авторы выражают благодарность проф. Л. А. Вулису за обсуждение работы и ценные замечания.

Поступила в редакцию
23/XI 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Н. Абрамович. Теория турбулентных струй. Физматиздат, 1960.
2. Г. Хоттел, В. Гаусорн. Диффузия в пламени в ламинарном потоке, Сборник горения, т. I, ИЛ, 1953.
3. Ш. А. Еришин, Л. П. Ярин. Изв. АН КазССР, сер. энергетическая, 1962, 21.
4. Я. Б. Зельдович. ЖТФ, 1949, 19, 10.
5. Ш. А. Еришин, Л. П. Ярин. Вест. АН КазССР, 1962, 4.

Б. А. Иванов, С. М. Когарко
(Москва)

УДК 536.46

ЭНЕРГИЯ ЗАЖИГАНИЯ ЧИСТОГО АЦЕТИЛЕНА И ЕГО СМЕСЕЙ С ВОЗДУХОМ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ НАЧАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЯХ

В работах [1, 2] установлено, что при давлениях ниже 1,6 ата энергия зажигания чистого ацетилена измеряется десятками и сотнями джоулей, т. е. примерно в 1000 раз больше, чем у обычных двухкомпонентных взрывчатых газовых смесей при тех же

давлениях [3]. Проведенные в работе [4] измерения энергии зажигания ацетилена при давлениях 3—13 *ата* показали, что величина энергии, необходимая для зажигания в исследованном интервале давлений, измеряется уже только несколькими десятками миллиджоулей или миллиджоулями.

На рис. 1 показаны результаты настоящей работы (прямая 1) и данные работ [1, 2] (прямая 4 и Δ). Нетрудно видеть, что прямые, выражающие зависимость энергии зажигания от давления, имеют разный угол наклона, т. е. не могут быть совмещены простым сдвигом. Прямые 1 и 4 могут быть представлены аналитическими выражениями $E = 1140 p^{-2,65}$ мдж и $E = 10^5 p^{-6,66}$ мдж соответственно.

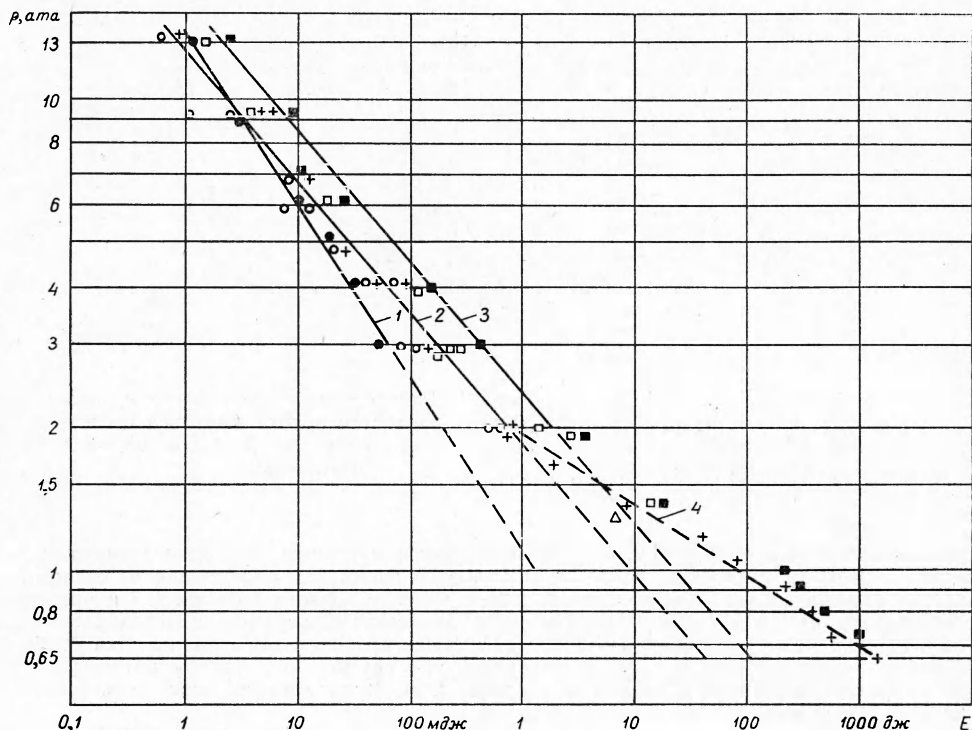


Рис. 1. Энергия зажигания чистого ацетилена и его смеси с воздухом при различных давлениях.

Δ — чистый C_2H_2 [2]; \square — $C_2H_2 + 17\%$ воздуха [1].

Большой практический интерес представляют также эксперименты по выяснению аномального влияния небольших добавок воздуха на энергию зажигания ацетилена при давлениях выше атмосферного. Добавление воздуха к ацетилену в количестве до 23% по объему при давлениях смеси 0,65—1,0 *ата* не понижает энергию зажигания смеси по сравнению с чистым ацетиленом при тех же давлениях [1]. Более того, смеси ацетилена с воздухом при содержании последнего около 17% имеют энергию зажигания в 1,5—2,5 раза выше, чем чистый ацетилен. Для того, чтобы определить величину энергии, необходимую для зажигания ацетилена в интервале давлений, не исследованном в работах [1, 4], выяснить причины расхождения результатов этих работ и исследовать влияние добавок небольшого количества воздуха на энергию зажигания ацетилена при давлениях выше атмосферного, была проведена настоящая экспериментальная работа.

Опыты проводились на установке, принципиальная схема которой показана на рис. 2. Для экспериментов использовался обычный ацетилен из баллона (чистота $\geq 98,5\%$). В опытах с добавками к ацетилену воздуха использовалась смесь с содержанием $\sim 17\%$ воздуха, которая приготавливалась в самом экспериментальном сосуде ($\varnothing 80$ мм, $V=0,4$ л) без предварительного перемешивания раздельной подачей компонент в необходимом количестве. Перемешивание газов происходило во время самого напуска, а также в течение 5—10 мин после него, когда смесь выдерживалась в сосуде и газы дополнительно перемешивались за счет диффузии. В таблице приведены результаты газового анализа состава смеси, получаемого при таком способе пригото-

ния (анализ проводился по поглощению ацетилена водой). Компоненты подавались в соотношении — 1 объем воздуха на 5 объемов ацетилена, т. е. расчетный состав соответствовал 16,7% воздуха + 83,3% ацетилена. Пробы отбирались из центра бомбы через 5—6 мин после напуска компонент. Из данных таблицы следует, что перемешивание компонент происходило почти полностью и смесь была практически гомогенной.

Зажигание чистого ацетилена и его смеси с воздухом производилось разрядом конденсатора через искровой промежуток между электродами (Ø 1 мм), введенными в центр бомбы. Размер промежутка менялся в пределах 0,1—2 мм. Наличие загорания определялось по фоторегистрации распространения пламени от места загорания по всему объему газа или по показанию ионизационного датчика, расположенного у стенки бомбы.

Прямая 2 на рис. 1 показывает результаты измерения энергии загорания чистого ацетилена в интервале давлений 1,7—13 ата, прямая 3 — энергию загорания смеси ацетилена с 17% воздуха при давлениях 1,4—13 ата. Зависимость энергии загорания чистого ацетилена от давления в интервале давлений 2—13 ата хорошо описывается аналитическим выражением вида $E=14800 p^{-3,66}$ мдж, а зависимость энергии загорания смеси ацетилена с ~ 17% воздуха $E=24500 p^{-3,66}$ мдж.

Таким образом, в то время, как любые небольшие добавки кислорода к ацетилену делают смесь более взрывоопасной, чем чистый ацетилен, существует при всех давлениях область добавок воздуха, в которой смесь менее взрывоопасна. Своеобразное влияние добавления воздуха на энергию загорания ацетилена получило объяснение в работе [1]. В принципе оно состоит в следующем. При разбавлении ацетилена воздухом влияние азота и кислорода на энергию загорания направлено в противоположные стороны и в виду их объемного соотношения с воздухом 4 : 1 позволяет до некоторого предела азоту, как инертному разбавителю, оказывать более сильное действие, чем кислороду, облегчающему загорание. Результаты настоящего исследования могут быть использованы для разработки безопасных условий при транспортировании и переработке ацетилена, когда наличие небольшого количества воздуха в ацетилене не мешает проведению технологического процесса.

Известно, что зависимость энергии загорания горючих газовых смесей от давления выражается степенной функцией вида $E = AP^{-n}$, т. е. в логарифмических координатах эта зависимость представляет прямую линию. Для чистого ацетилена и смеси ацетилена с воздухом при давлениях 0,65—2,0 ата, как видно из рис. 2, такая зависимость наблюдается. Однако во всем исследованном с

помощью одной методики интервал давлений 0,65—13 ата, зависимость энергии загорания чистого ацетилена от давления не может быть представлена одной прямой, и экспериментальные данные хорошо описываются двумя прямыми (2 и 4 на рис. 1), имеющими различный угол наклона.

Этим экспериментальным данным может быть дано следующее объяснение. Во-первых, с увеличением энергии загорания уменьшается тепловой к.п.д. искры, так как быстрое локальное выделение большого количества энергии приводит к образованию

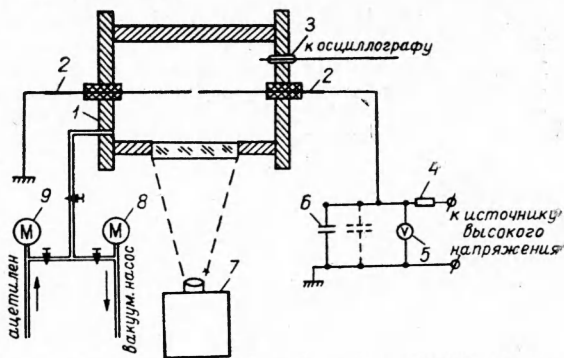


Рис. 2. Принципиальная схема установки.

1 — экспериментальный сосуд; 2 — электроды загорания; 3 — ионизационный датчик; 4 — сопротивление; 5 — электростатический вольтметр; 6 — емкости; 7 — фоторегистр; 8 — вакуумметр; 9 — манометр.

Начальное давление смеси, ата	Парциальное давление воздуха, ата	Определенный в анализе % воздуха	Средний % воздуха	Абсолютная ошибка от расчетного состава по воздуху
2,0	0,33	16,0	16,1	0,6
2,0	0,33	16,2		
2,0	0,33	16,1	16,25	0,45
3,0	0,5	16,3		
3,0	0,5	16,2	16,07	0,63
3,0	0,5	16,2		
4,0	0,67	17,2	15,73	0,97
4,0	0,67	16,0		
4,0	0,67	1,0	15,5	1,2
6,0	1,0	15,8		
6,0	1,0	15,8		
6,0	1,0	15,6		
10,0	1,67	15,2		
10,0	1,67	15,7		
10,0	1,67	15,6		

сильной ударной волны. Во-вторых, некоторая часть энергии теряется на электромагнитное излучение и нагревание подводящих проводов. В-третьих, значительные тепловые потери происходят из-за нагрева электродов зажигания от нагретого в разряде газа. Последние потери энергии могут быть более значительными, если учесть, что в опытах работы [1] искровой промежуток между электродами (2—5 мм), вполне сравним с шириной зоны пламени ацетилена при исследованных давлениях.

Тем не менее, проведенные оценки главной части тепловых потерь энергии в разряде (теплопередача в электроды и потери на ударную волну), показали, что, несмотря на сильное увеличение величины абсолютных теплотерь с ростом энергии разряда, величина относительных теплотерь оказывается больше для малых энергий разряда. Это позволяет сделать предположение о том, что полученные в настоящей работе данные по величине энергии зажигания чистого ацетилена и его смеси с воздухом как при низких начальных давлениях (большие энергии), так и при высоких (малые энергии) являются несколько завышенными. Причем последние более сильно, чем первые.

Поступила в редакцию
16/XII 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Иванов, С. М. Козарко. ПМТФ, 1963, 3.
2. H. H. Nelson. The effect of pipe diameter on the thermal decomposition of acetylenes. 6th Sympos on Combust, 1957, p. 823.
3. Д. Морган. Принципы зажигания, Машгиз, 1947.
4. Хасигута, Фудзисаки. Кого Кагаку Дзасси. 1958, 61, 5.
5. Я. Б. Зельдович, В. В. Воеводский. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. М., Изд. Моск. мех. ин-та, 1947.

УДК 541.126+536.48

А. Г. Струнина, А. Г. Мержанов, З. Б. Майофис
(Москва)

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА. II. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В УСЛОВИЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

В работе [1] рассмотрены динамические режимы теплового взрыва, связанные с ростом температуры окружающей среды T_0 (нагрев). В данной работе проводится анализ закономерностей теплового взрыва при понижении T_0 (охлаждении).

Постановка задачи

Взрывчатая система и окружающая среда в начальный момент времени имеют температуру T_n , большую критической температуры T_* . Температура окружающей среды T_0 уменьшается во времени по закону $T_0 = T_n - \omega \cdot t$. Задача заключается в нахождении основных характеристик теплового взрыва.

Исходную систему уравнений запишем в виде:

$$\omega \gamma \frac{d\theta}{d\theta_0} = \frac{1}{\alpha_*} (\theta - \theta_0) - e^{\frac{\theta}{1+\beta\theta}} \cdot \varphi(\gamma); \quad (1)$$

$$\omega \frac{d\gamma}{d\theta_0} = - e^{\frac{\theta}{1+\beta\theta}} \cdot \varphi(\gamma). \quad (2)$$

Начальные условия: $\theta_0 = \theta_n$, $\theta = \theta_n$, $\gamma = 0$.
Безразмерные переменные:

$$\theta = \frac{E}{RT_*^2} (T - T_*), \quad \theta_0 = \frac{E}{RT_*^2} (T_0 - T_*).$$