

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 536.468

**О КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРЕДЕЛАХ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ
МЕТАНОЛЬНЫХ И ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМЕСЕЙ**

В. А. Бунев, Р. С. Тюльпанов
(Новосибирск)

В работе приводятся экспериментальные данные о концентрационных пределах воспламенения смесей метанол — кислород — азот, формальдегид — кислород — азот и метанол-воздушных смесей с добавками формальдегида в диапазоне температур 20—280°С при атмосферном давлении.

Для определения пределов воспламенения газовых смесей в данной работе был использован метод бомбы постоянного объема. Принципиальные схемы установок представлены на рис. 1 и 2. Основной частью установок является реактор, температура стенок которого поддерживалась постоянной. Все газопроводы и смеситель установки со стеклянным реактором поддерживались при температуре 110—120°С. Воспламенение газовой смеси осуществлялось конденсированной искрой малой продолжительности

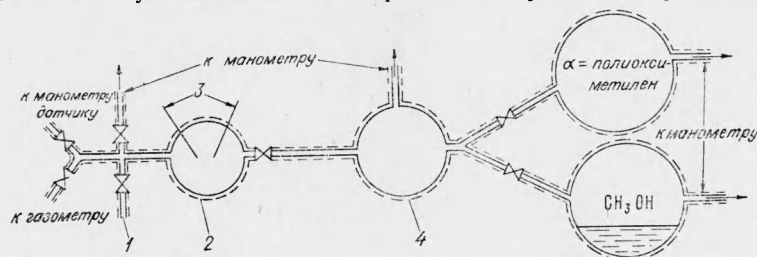


Рис. 1. Принципиальная схема установки со стеклянным реактором.

1 — вакуумный насос; 2 — реактор (диаметр 90 мм); 3 — электроды; 4 — смеситель.

(~10 мксек). Спектр такой искры соответствует спектру смеси, в которой происходит разряд. В этом случае материал электродов не оказывает значительного влияния на энергию зажигания смеси [1]. Расстояние между молибденовыми электродами диаметром 0,7 мм было 3 мм. Энергия заряженных конденсаторов составляла 3 дж при напряжении 6000 в. Дозировка исходных компонентов осуществлялась по давлению, измеряемому V-образным манометром. Такая дозировка точнее и удобнее дозировки жидких компонентов весовым или объемным методом. Она позволяет существенно сократить время смешения компонентов и свести предварительное окисление веществ, особенно при проведении опытов при повышенных температурах. В ряде опытов проводился забор газа из реактора, который показал отсутствие заметного окисления в течение нескольких минут.

Газовая смесь готовилась следующим образом. В предварительно эвакуированный стеклянный реактор подавались пары исследуемого вещества из испарителя, а затем через осушитель — нужная смесь кислорода и азота из газометра, после чего инициировалось воспламенение смеси. Промежуток времени от момента приготовления смеси до ее воспламенения составлял не более 30 сек. Воспламенение регистрировалось специальным датчиком-манометром. В металлический реактор азот и кислород подавались из отдельных баллонов, поэтому содержание паров воды в газовой смеси было незначительным. Температура газовой смеси измерялась при помощи термопары, расположенной внутри реактора вблизи поверхности. Эта же термопара служила датчиком для регистрации воспламенения смеси. Содержание газов в смеси определялось с точностью 3%.

Опыты для метанольных смесей были проведены на установке с металлическим реактором в диапазоне температур от 40 до 280°C при атмосферном давлении. Типичный график представлен на рис. 3. Разброс экспериментальных точек во всех опы-

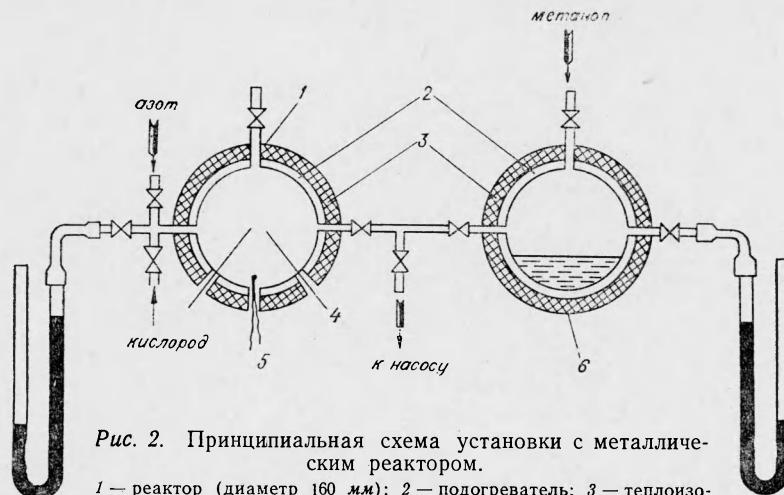


Рис. 2. Принципиальная схема установки с металлическим реактором.

1 — реактор (диаметр 160 мм); 2 — подогреватель; 3 — теплоизоляция; 4 — электрод; 5 — термопара; 6 — испаритель.

тах не превышал 0,2% и определялся в основном точностью состава газовой смеси. На рис. 4 приведен обобщенный график по результатам серии опытов. Из рисунка видно, что кривые верхнего и нижнего пределов воспламенения с увеличением процентного содержания азота в смеси постепенно сближаются и при определенном «критическом» содержании азота воспламенение невозможно при любой концентрации метанола. Эта «критическая» точка для всех температур лежит вблизи прямой, характеризующей стехиометрическое соотношение метанола и кислорода ($\alpha=1$).

С увеличением температуры область воспламенения расширяется, причем, если кривая нижнего предела воспламенения в меньшей степени зависит от температуры, то кривая верхнего предела существенно поднимается. Особенно большое влияние температуры сказывается в месте смыкания кривых верхнего и нижнего пределов воспламенения. Область воспламенения смесей метанола вытягивается вдоль линии стехиометрических соотношений. Это приводит к тому, что при повышенных температурах значения концентраций метанола, дающих воспламеняемую смесь, понижается с уменьшением кислорода в смеси. Это явление отмечалось ранее для некоторых углеводородов, в частности метана, при разбавлении метано-воздушных смесей аргоном [2]. Пределы воспламенения метанол-воздушных смесей при температурах 20—40°C, полученные в работе (6,8 и 33% CH_3OH), в общем совпадают со значениями, приведенными Говардом и Джонсоном. В некоторых работах значение нижнего предела воспламенения дается несколько выше — 7,3% CH_3OH [2]. Пределы воспламенения метанол-воздушных смесей, полученных на установке со стеклянным реактором, совпадают со значениями, полученными на установке с металлическим реактором.

Исследование пределов воспламенения смесей формальдегид — кислород — азот проводилось на установке со стеклянным реактором. Получение формальдегида осуществлялось нагреванием полимера формальдегида- α -полиоксиметилена. Содержание газов в смеси определялись с точностью 3%.

Аналогично метанольным смесям (рис. 5) для формальдегидных смесей наблюдается смыкание ветвей нижнего и верхнего пределов вблизи линии, характеризующей стехиометрическое соотношение. Нижний предел воспламенения для смесей формаль-

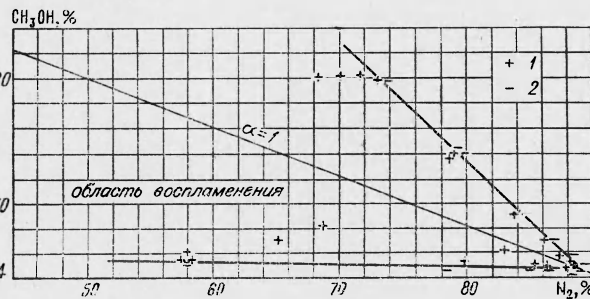


Рис. 3. Кривая концентрационных пределов воспламенения метанольных смесей при $t=280^\circ\text{C}$.

1 — воспламенение; 2 — отсутствие воспламенения.

дегида в большей степени зависит от температуры, чем для метанольных смесей. Кроме того, меняется характер зависимости нижнего

предела от концентрации азота при переходе от температуры 110 к 280°С. При 110°С нижний предел имеет тенденцию к возрастанию с увеличением концентрации азота, в то время как при температуре 280°С он несколько падает.

На установке со стеклянным реактором была также проведена серия опытов по исследованию влияния добавок формальдегида к метанол-воздушным смесям. С смесь метанола с

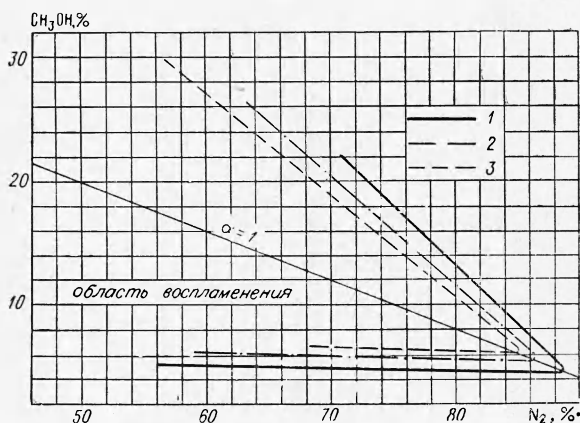


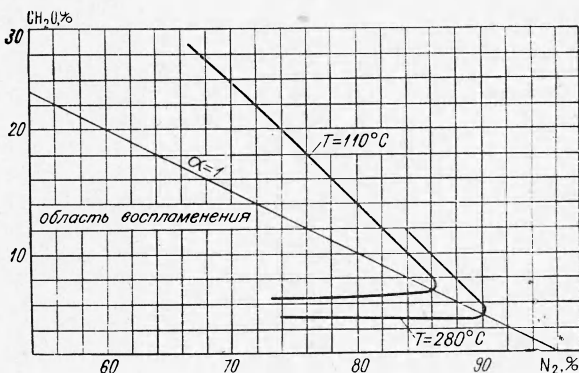
Рис. 4. Кривые концентрационных пределов воспламенения метанольных смесей.

1 — $t=280^\circ\text{C}$; 2 — $t=100^\circ\text{C}$; 3 — $t=45^\circ\text{C}$.

формальдегидом готовилась в смесителе — обогреваемой колбе, откуда смесь подавалась в стеклянный реактор по обогреваемым газопроводам. Для того чтобы избежать полимеризации формальдегида, стенки смесителя и газопроводов подерживались при температуре 110—120°С [3]. На рис. 6 представлены кривые зависимости нижнего предела воспламенения смесей метанола, формальдегида и воздуха. В области малых добавок формальдегида (до 10% в смеси $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_2\text{O}$) нижний предел практически не зависит от величины добавки.

Существует мнение, что формальдегид является активным промежуточным продуктом в пламенных реакциях окисления, дающим при высо-

Рис. 5. Кривые концентрационных пределов воспламенения формальдегидных смесей при различных температурах.



ких температурах дополнительные разветвления [3, 4]. С другой стороны, некоторые свойства пламени являются свойствами углеводородных пламен, даже если углеводород присутствует в смеси $\text{CH}_2\text{O} - \text{O}_2 - \text{N}_2$ в небольших количествах (2—3% от CH_2O) [5]. Влияние добавок формальдегида на свойства пламен окончательно не выяснено, однако данные, представленные на рис. 6, позволяют думать, что нижний предел воспламенения для воздушных смесей $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_2\text{O}$ определяется суммой их содержания.

Полученный экспериментальный материал дает основание для рационального выбора

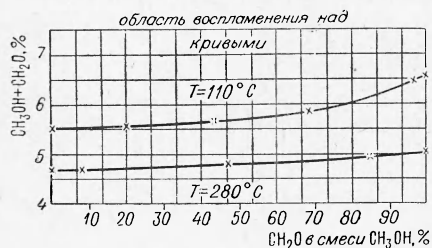


Рис. 6. Кривые зависимости нижнего предела воспламенения метанол-воздушных смесей от величины добавки формальдегида.

параметров с точки зрения безопасности работы аппаратуры в технологических процессах получения формальдегида.

Авторы считают своим долгом выразить признательность Д. Г. Черных, Л. С. Мироновой, принимавшим активное участие в проведении экспериментов.

Поступила в редакцию
5/III 66

ЛИТЕРАТУРА

1. «Основы горения углеводородных топлив». ИЛ, 1960.
2. B. Lewis, G. Elbe. Acad. Pres. Inc. N. Y. and London, 1961.
3. Miss M. P. Brunild, R. Pelbourgo and P. Laffitte. Combustion and Flame, 1961, 5(2), 191.
4. T. Asaba, K. Vonedo, N. Kakihara, T. Hikita. 9-th Symposium on Combustion (International), 1965.
5. R. G. W. Norrish. 10-th Symposium on Combustion (International), 1965.

УДК 536.46+532.507

КРИТЕРИЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ

С. К. Асланов
(Одесса)

Вибрационный режим горения в камерах двигателей, увеличивая полноту сгорания топлива, может быть полезным, если колебания не очень интенсивны и, оставаясь в ограниченных пределах, безопасны для конструкции двигателя. Однако появляющиеся в силу тех или иных случайных причин слабые возмущения будут подпитываться энергией сгорания и кинетической энергией потока газа в камере. Поэтому, естественно, возникает вопрос, могут ли указанные возмущения наращивать свою интенсивность и грозить последующим разрушением элементов конструкции двигателя. При этом механизм усиления вибраций за счет взаимодействия малых возмущений с зоной турбулентного горения является наиболее важным и трудно устранимым и свидетельствует о внутренней неустойчивости процесса в целом. Устойчивость турбулентного пламени относительно пересекающих его слабых ударных волн рассматривалась впервые К. И. Щелкиным [1], получившим из качественных соображений соответствующий критерий. В настоящей работе исследована внутренняя устойчивость турбулентного горения относительно малых возмущений аналитическим путем и установлен в общем виде достаточный критерий неустойчивости.

Рассмотрим одномерную модель зоны турбулентного горения ширины L_m , располагающейся в невозмущенном состоянии между плоскостями $x \approx 0$ и $x \approx L_m$ в системе координат, которая перемещается вместе с пламенем. Однородная, хорошо перемешанная смесь горючее — окислитель, текущая в положительном направлении оси x в условиях изотропной турбулентности, занимает область $x \leq 0$ и имеет средние параметры $p_1, \rho_1, v_1, a_1, S_1, \kappa_1$ (давление, плотность, скорость течения, скорость звука, энтропия и отношение теплоемкостей). В области $x \geq L_m$ имеют место продукты сгорания с осредненными параметрами $p_2, \rho_2, v_2, a_2, S_2, \kappa_2$. Средние параметры зоны турбулентного горения, локализуемой в области $0 \leq x \leq L_m$, обозначим теми же буквами без индексов. Описанная модель горения гомогенной смеси в потоке с изотропной турбулентностью представляет предмет всех теоретических исследований турбулентного распространения химических реакций [1—4]. Такого рода сгорание в более или менее чистом виде наблюдается в камерах двигателей (особенно прямооточных), когда вследствие высокой температуры обеспечено достаточно быстрое испарение топлива и смесеобразование. Поэтому, если отвлечься от конструктивных особенностей, описываемая модель может служить весьма идеализированной схемой процесса турбулентного горения в камере сгорания (с характерной длиной L_k) двигателя.

Следуя К. И. Щелкину [1] (§ 14), для скорости распространения турбулентного пламени u_m можно записать с точностью до мелкомасштабной турбулентности

$$u_m = u_n + B u', \quad (1)$$

где B — постоянная порядка единицы; u_n — скорость нормального горения; а u' — средняя скорость турбулентных пульсаций (среднеквадратичное значение пульсационной скорости по достаточно длительному промежутку времени). Влияние одной мелкомасштабной турбулентности приводит для u к следующей формуле [1—4]:

$$u_m = u_n \sqrt{1 + u' l / \chi}, \quad (2)$$