

**Исследование нижних концентрационных
пределов воспламеняемости водородо-
кислородной и водородо-воздушной смесей
при пониженных давлениях**

В.Ф. Панин, Д.А. Захаров, В.А. Марасанов, В.Б. Немировский,
Л.К. Парфенов.

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

При разработке мероприятий по обеспечению взрывобезопасности некоторых замкнутых объемов, в которых могут формироваться взрывоопасные водородо-кислородные и водородо-воздушные смеси, важно знать, как влияет изменение общего давления в смеси на нижний концентрационный предел её воспламенения, в частности, для пламени, распространяющегося снизу вверх при давлениях ниже атмосферного.

Известно, что для атмосферного давления водородные пламена характеризуются двумя нижними пределами воспламенения: 9% об. H_2 , соответствующим распространению пламени сверху вниз, и 4% об. H_2 , соответствующим неизотропному пламени, распространяющемуся только снизу вверх, [7] .

В случае 4% об. H_2 возможность распространения пламени в смеси связана с явлениями избирательной диффузии и конвекции, [7] .

Изменение давления в смеси в общем случае ведет к определенному изменению условий как диффузии, так и конвекции и может отразиться на величине НКПН₂. Понижение давления определенным образом сказывается на кинетике реакции горения и также может быть причиной изменения НКПН₂.

Известные из литературы отдельные сведения по результатам измерения НКПН₂ при давлениях, отличных от атмосферного, либо не относятся к интервалу пониженных давлений, [1] , ли-

бо носят качественный характер, [2] , [3] , [4] .

На отсутствие подобных данных указывали авторы [5] , составившие обзор работ по исследованиям горения водорода, выполненным до 1959г.

Эксперименты проводились на установке, состоящей из стальной взрывной камеры диаметром 5 см и высотой 30 см, смешительного сосуда с механической мешалкой, вентилей и манометров. Источником поджигания смеси являлась одиночная электрическая искра длительностью 10^{-3} сек, энергосодержанием ~ 100 мдж. Длина искрового зазора составляла 7 мм, что соответствует гасящему расстоянию для предельных водородных смесей, [6] .

Во всех опытах перед напуском во взрывную камеру смесь перемешивалась в течение 5 минут, взрывная камера и все коммуникации откачивались до давления 10^{-1} мм.рт.ст.

Приготовленной в смесителе смеси было достаточно для производства 6 + 8 напусков в камеру. Как правило, в каждой серии напусков давление во взрывной камере постепенно уменьшали (т.е. брали разрез по давлениям смеси постоянного состава).

Критерием воспламенения смесей было достижение фронтом пламени верхнего торца взрывной камеры. Установление факта поджигания и наблюдение за горением производилось визуально (в условиях только полного затемнения), а также с помощью ртутного открытого манометра. Специально было установлено, что без горения , лишь от действия одной искры, колебание мениска ртути практически не наблюдается. При горении смеси амплитуда импульса давления составляла 5 + 30 мм.рт.ст. и более.

При пониженных давлениях главным источником информации было свечение распространяющегося фронта пламени (свечение достаточно контрастное для наблюдения, амплитуда колебаний мениска весьма мала); при давлениях, близких к атмосферно-

му, наоборот (свечение исчезающе малое, амплитуда колебаний мениска ртути максимальна).

Интервал исследованных давлений составил 760-160 мм.рт.ст.

Прежде всего было проведено несколько серий опытов по установлению области, в которой располагается нижний концентрационный предел. Было установлено, что в области ~

от 300 + 400 мм.рт.ст. до атмосферного давления воспламенения начинались при 4,1 + 4,2 % об. водорода, при давлениях ниже 300 мм.рт.ст. воспламенения смеси и распространение пламени на всю длину камеры отмечались при 4,0% об. водорода и даже при 3,9% об.

В целях систематизации обследования граничной зоны - между взрывоопасной и взрывобезопасной областями - дальнейшие опыты проводились для следующих выбранных давлений: 760; 600; 480; 370; 270; 210 и 160 мм.рт.ст. и для концентраций: 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,3 % об. H_2 - так, чтобы на одну точку, соответствующую некоторому давлению (например, 470 мм.рт.ст.) и некоторой концентрации водорода (например, 4,1 % об. H_2), приходилось по одному достаточно большому числу опытов, порядка десяти.

Результаты опытов приведены на рис. 1 и 2. Цифры, стоящие рядом с кружками, указывают на число отказов в каждой из выбранных точек; цифры рядом с крестиками указывают число воспламенений в этих точках.

Из рис. 1 следует, что в области от 760 до 400 мм.рт.ст. воспламенение смеси маловероятно при концентрациях водорода, меньших 4,1% об. С другой стороны, обнаруживается тенденция к улучшению условий воспламенения смеси при понижении давления (при 4,1% об. H_2 , при $P = 760$ мм.рт.ст. - 4 отказа, при $P = 600$ мм.рт.ст. - 2 отказа, при $P = 480$ мм.рт.ст. - 3 отказа, $P = 370$ мм.рт.ст. - 1 отказ). Учитывая, что средняя частота воспламенений смеси при 4,1 % об. водорода в указанной области составляет $\frac{7}{10} + \frac{8}{10}$, можно считать, что для области 760-350 мм.рт.ст. HHH_2 составляет ~ 4,1% об, что

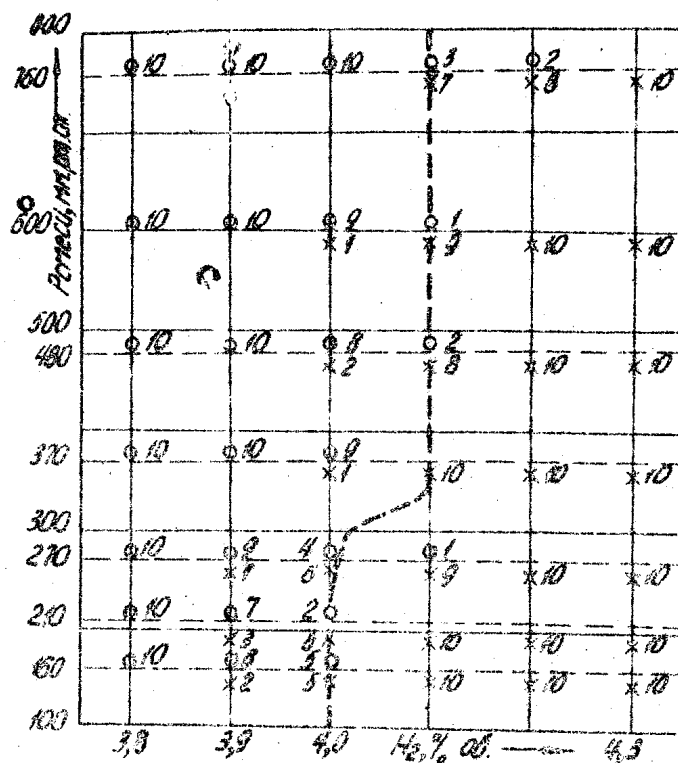


Рис. 1. Зависимость НКПН₂ от общего давления в водородо-кислородной смеси.

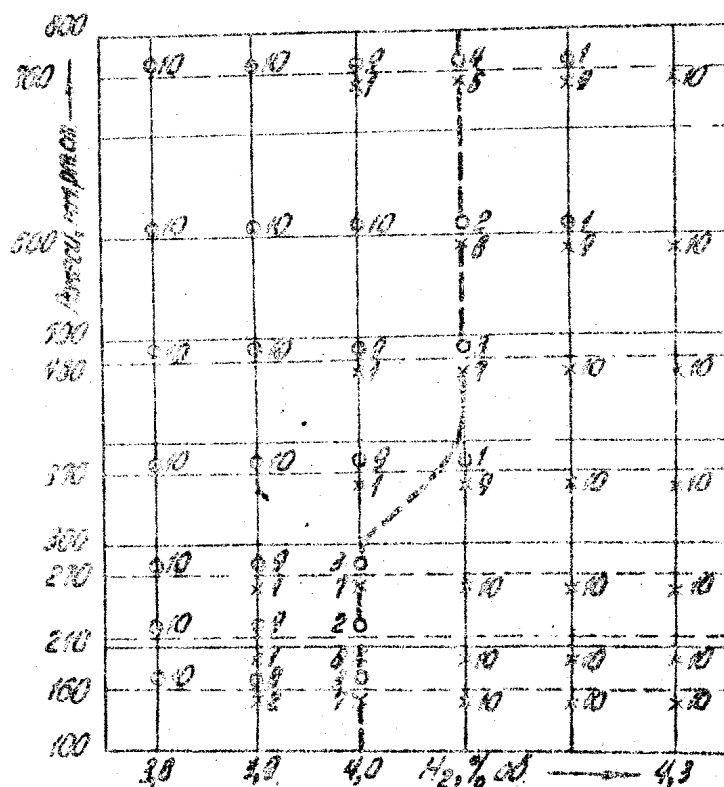


Рис. 2. Зависимость НКПН₂ от общего давления в водородо-кислородо-азотной системе (80% O₂, N₂).

соответствует данным многих литературных источников для водородо-кислородной смеси, исследуемой при атмосферном давлении, [4,5] и др..

Тенденция к улучшению воспламеняемости смеси при понижении давления усиливается при уменьшении давления до 160 мм.рт.ст.: в этой области при 4,1% об. H_2 отказов не отмечалось. Более того, в области $P = 300-160$ мм.рт.ст. воспламенения весьма часто наблюдались при 4,0% об и 3,9% об. водорода. Из рис. 1 следует, что в области около 350 мм.рт.ст. наступает сдвиг НКПН₂ в сторону уменьшения, на $\sim 0,1\%$ об.

Из рис. 2 следует, что зависимость НКПН₂ от давления для водородо-воздушной смеси (в смеси содержалось несколько больше азота, нежели в воздухе, а именно: 80% об.) остается фактически такой же, как и для водородо-кислородной: в области 760-350 мм.рт.ст. просматривается значение НКПН₂, равное 4,1% об., в области 300-160 мм.рт.ст. - около 4,0% об.; примерно при той же частоте воспламенений, что и в случае системы $H_2 - O_2$.

Что касается величины НКПН₂ в области атмосферного давления (4,1% об.), то ее и следовало ожидать, согласно литературным данным, [3] и др.. В отношении же НКПН₂ в области пониженных давлений можно, таким образом, констатировать, что разбавление системы $H_2 - O_2$ азотом на 80% об. практически не влияет на ход зависимости НКПН₂ от давления: как и в случае чистой водородо-кислородной смеси, НКП в области давлений 300 + 160 мм.рт.ст. уменьшается примерно на 0,1% об H_2 и составляет $\sim 4,0\%$ об.

ВЫВОДЫ

1. Исследовано влияние понижения давления ниже 760 мм.рт.ст. на концентрационные пределы воспламенения смесей $H_2 - O_2$ и $H_2 - O_2 - N_2$.

2. Установлено, что при понижении давления до некоторой величины (400-350 мм.рт.ст.) нижний предел воспламенения

остается тем же, что и при атмосферном давлении ($\sim 4,1\%$ об H_2), при дальнейшем уменьшении давления до 160 мм.рт.ст. предел несколько уменьшается и становится равным 4,0 % H_2 .

3. Разбавление предельной водородо-кислородной смеси азотом до 80% об. практически не влияет на ход зависимости НКПН $_2$ смеси от давления в исследованном диапазоне давлений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. С.А. Янтовский, М.В. Черняк, "Концентрационная область взрываемости водородо-кислородных и водородо-воздушных смесей при давлениях выше атмосферного", ЖФХ, Т.Х, вып. II, 1966, стр. 2899.
2. Л.Н. Хитрин, "Физика горения и взрыва", 1957, изд. МГУ.
3. Coward H.F. and Jones G.W., "U.S. Bureau of Mines Bull.", 503, 1952.
4. А. Эджертон, "Пределы воспламенения", 4-ый Международный симпозиум по вопросам горения и детонационных волн, Оборониздат, 1958.
5. J.L. Drell, F.E. Belles, "Survey of hydrogen combustion properties," Rep. NASA, 1383.
6. Б. Льюис и Г. Эльбе, "Горение, пламя и взрывы в газах", М., 1968.
7. Г. Маркштейн, "Явление неустойчивости фронта пламени", 4-ый Международный симпозиум по вопросам горения и детонационных волн, Оборониздат, 1958.