

К ВОПРОСУ О ВЕЛИЧИНЕ КРИТИЧЕСКОГО ДИАМЕТРА ТРУБКИ, СМОЧЕННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

С. М. Когарко,
А. Г. Лямин, В. А. Михайлов

(Москва)

Эффективная работа огнепреградителя с сухой насадкой, предназначенного для подавления процесса распространения пламени, установленного на линии любой взрывчатой газовой смеси, осуществляется при соблюдении двух главных условий.

Во-первых, каналы, образованные в огнепреграждающей насадке, должны иметь размеры меньше критических для условий, в которых находится взрывчатая смесь в момент подхода к огнепреградителю фронта пламени. Во-вторых, в насадке должно обеспечиваться охлаждение движущейся зоны смещения свежей взрывчатой смеси с продуктами реакции до температуры, при которой практически прекращается протекание реакции в объеме.

Эти два условия в равной степени являются необходимыми. При несоблюдении первого из них происходит беспрепятственное прохождение пламени через огнепреграждающую насадку. Недостаточное охлаждение зоны смещения приводит к тому, что при выходе ее из огнепреградителя в трубопровод, где резко уменьшается теплоотдача от газа в стенки, возможно развитие теплового взрыва, т. е. вторичного самовоспламенения.

С другой стороны, как показано в работах [1, 2], при орошении или увлажнении насадки жидкостью огнепреградитель с каналами, даже значительно большими, чем критические для сухого огнепреградителя в данных условиях опыта, работает эффективно, т. е. препятствует прохождению пламени. Так, насадка из колец Рашига диаметром 40 мм с высотой слоя 0,5—1,0 м, орошаемая или увлажненная водой, предотвращала распространение зоны реакции (пламени) разложения ацетилена в защищаемый участок трубопровода при детонационном режиме разложения в иницируемом участке и начальном давлении в системе вплоть до $p_{\text{абс}} = 6 \text{ ат}$. Согласно же данным [3], критический диаметр, обеспечивающий прекращение самопроизвольного распространения зоны реакции разложения в ацетилене в сухой трубке при давлении $p_{\text{абс}} = 6 \text{ ат}$ составляет 6—8 мм. На первый взгляд результаты этих опытов находятся в противоречии с первым условием, необходимым для обеспечения эффективной работы огнепреградителя. Однако при более подробном рассмотрении процессов, происходящих в каналах насадки, это кажущееся противоречие устраняется.

Как показали исследования [4], проведенные с применением шлирен-съемки, при прохождении даже сравнительно слабых ударных волн по газу, заключенному в трубу, стенки которой покрыты пленкой жид-

кости, происходит срыв и распыл этой пленки за время порядка нескольких долей миллисекунды.

В других работах [5, 6] было показано, что в трубах, стенки которых покрыты пленкой горючей жидкости и заполненных газообразным кислородом или воздухом, за фронтом сильной ударной волны, проходящей по газу, происходят срыв и распыл этой пленки и возникает детонация в образовавшейся гетерогенной смеси. Как видно, процесс срыва и дробления капель жидкости до мельчайших частиц протекает весьма быстро. Однако в топливо-кислородных смесях, стехиометрического состава или близкого к нему, имеющих очень узкую зону реакции в детонационной волне, существенное проникновение частиц жидкости в газ, по-видимому, происходит за плоскостью Жуге и не влияет на устойчивое распространение детонационной волны. Действительно, в работе [7] осуществлялся переход горения в детонацию и распространение стационарной детонационной волны в пропано-кислородной смеси в трубке диаметром 10 мм, первоначально заполненной водой.

Действие жидкой пленки, находящейся на стенке трубки, применительно к детонационной волне или пламени распада ацетилена, в силу большой протяженности в нем зоны химической реакции должно оказывать значительно большее влияние на устойчивость распространения указанных процессов. Мельчайшие капли жидкости, проникая в зону реакции и испаряясь, отнимают тепло от реагирующего газа, понижают температуру в зоне реакции. Вследствие этого, а также из-за разбавления реагирующего газа инертной добавкой уменьшается скорость химической реакции, что, в свою очередь, приводит к еще большему увеличению ширины зоны реакции. Из-за увеличения ширины зоны реакции дополнительно возрастают потери тепла и в конце концов зона реакции разрушается и прекращается самопроизвольное ее распространение.

Как известно, под критическим диаметром принято понимать диаметр такой трубки, в которой становится невозможным самопроизвольное распространение пламени или детонационной волны по газообразной взрывчатой смеси или индивидуальному взрывчатому газу. Это происходит ввиду того, что тепловые потери из зоны реакции в стенки трубки превышают некоторое допустимое критическое значение. Если стенки трубки покрыты жидкой пленкой, то вследствие указанных выше процессов потери тепла из зоны химической реакции в стенки и на испарение жидких капель будут значительно больше, чем в сухой трубке того же диаметра. Чтобы сделать возможным распространение пламени в трубке с жидкой пленкой, необходимо уменьшить тепловые потери из зоны реакции до предельно допустимой критической величины. Этого можно достигнуть путем увеличения внутреннего диаметра, так как в этом случае на единицу массы реагирующего газа будет уменьшаться поверхность и увеличиваться время заполнения жидкими каплями сечения трубки.

Исходя из этих соображений, можно сделать вывод, что для детонации или пламени распада ацетилена критический диаметр трубки с покрытыми жидкостью стенками будет значительно больше, чем для сухой трубки.

Проверка высказанных предположений о значительном увеличении критического диаметра при смачивании стенок жидкостью была осуществлена на экспериментальной крупногабаритной установке. Между двумя отрезками трубопроводов, длина которых составляла 21 м (инициируемый участок) и 24 м (защищаемый участок), диаметром 360 и 200 мм соответственно, был вмонтирован вертикальный отрезок трубы

диаметром 500 мм, высотой 1 м. Этот отрезок трубы был оборудован верхней и нижней решетками, между которыми в шахматном порядке, стоя, были размещены металлические кольца Рашига внутренним диаметром 80 мм, высотой 89 мм и толщиной стенок 4,5 мм. С помощью водоразбрызгивающего устройства можно было осуществлять предварительное смачивание или равномерное орошение насадки во время эксперимента.

Проведение опыта со смоченными кольцами проводилось следующим образом.

Установка откачивалась форвакуумными насосами до остаточного давления 5—10 мм рт. ст., после чего заполнялась до заданного давления ацетиленом из баллонов с предварительным пропуском его через скруббер с активированным углем с целью удаления следов ацетона. Затем производилось орошение насадки, которое прекращалось за 10—20 мин до проведения эксперимента. За это время вся избыточная вода стекала и на поверхности колец оставалась только тонкая пленка. Инициирование разложения ацетилена производилось у торца трубопровода диаметром 360 мм путем разряда конденсатора емкостью 100 мкф, заряженного до напряжения $\sim 2,0$ кВ. Скорость распространения пламени определялась с помощью термопар, расположенных на трубопроводах. Запись нагрева термопар производилась на движущуюся пленку шлейфовых осциллографов. Запись изменения давления в четырех различных точках установки осуществлялась при помощи индикаторов давления, также с записью на пленку шлейфовых осциллографов.

Были проведены опыты при начальном давлении ацетилена в установке $p_{\text{абс}} = 1,1 \div 3,0$ ат при разной степени орошения насадки вплоть до предварительного смачивания. Ни в одном из опытов не наблюдалось разложения ацетилена в защищаемом участке трубопровода (см. таблицу).

Начальное абсолютное давление, ат	Плотность орошения*, г/см ² ·сек	Средняя скорость движения пламени, измерен. на базе 4-х м перед огнепреград., м/сек	Абсолютное давление в момент прихода пламени к огнепреградителю, ат		
			перед огнепреградителем	на половине высоты слоя насадки	за огнепреградителем
1,3	0,083	400	3,7	3,3	3,0
1,4	0,083	530	5,4	4,4	4,0
1,5	0,083	~ 1000	5,5	4,5	4,1
1,6	0,083	~ 1000	5,4	4,5	4,1
1,62	Насадка смочена за 10 мин до опыта	—	5,3	4,4	4,2

* Плотность орошения рассчитывалась на 1 см² поперечного сечения огнепреградителя.

Анализ экспериментальных данных показал, что в условиях проведенных экспериментов во всех опытах осуществлялся режим быстрого нестационарного распространения зоны химической реакции разложения ацетилена. Перед приходом фронта пламени в огнепреградителе всегда наблюдалось плавное повышение давления исходного ацетилена, и к

моменту достижения пламенем огнепреградителя давление в насадке отличалось от начального примерно в $2,5 \div 3$ раза. Кроме того, перед ускоренно движущимся фронтом пламени образовывалась ударная волна значительной амплитуды. В данных опытах эффективность огнепреграждающего устройства следует рассматривать в условиях повышающегося давления в момент прихода зоны химической реакции к огнепреграждающему устройству в отличие от результатов, полученных в работе [1], где имела место стационарная детонация и отсутствие повышения давления в исходном ацетилене.

Как видно из таблицы, предположение о значительном увеличении критического диаметра насадки при орошении или нанесении жидкой пленки оправдалось. При плотности орошения, равной $0,083 \text{ г/см}^2 \cdot \text{сек}$, и давлении внутри огнепреграждающего устройства до $p_{\text{абс}} = 4,5 \text{ ат}$ не наблюдалось прохождения пламени разложения ацетилена через насадку диаметром 80 мм. Это превышает значение критического диаметра для сухих трубок примерно в 8 раз [3]. Из данных той же таблицы видно, что при предварительно смоченных кольцах разрушение зоны химической реакции происходит практически при том же давлении внутри огнепреградителя. Сравнивая опыты, проведенные с орошением и предварительным смачиванием насадки, можно сделать заключение, что непрерывное орошение в данных условиях являлось излишним, так как пленка жидкости, срываема со смоченных колец ударной волной и движущимся за ней потоком газов, вполне обеспечивала необходимое охлаждение и разрушение зоны химической реакции при давлении $p_{\text{абс}} = 4,4 \text{ ат}$.

На основании настоящих экспериментов, а также результатов, полученных ранее [1, 2], можно сделать вывод о том, что эффективность огнепреграждающих устройств со смоченной насадкой связана не только с улучшением охлаждения газового потока, т. е. зоны смешения, но и со значительным увеличением критического диаметра насадки.

Результаты исследования могут быть использованы при конструировании на ацетиленопроводах надежно работающих огнепреградителей с малым гидравлическим сопротивлением.

Поступила в редакцию
13/XI 1967

ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Когарко, А. Г. Лямин, В. А. Михайлов. Химическая промышленность, 1964, 4, 35.
2. С. М. Когарко, А. Г. Лямин, В. А. Михайлов. Химическая промышленность, 1967, 2, 42.
3. Б. А. Иванов, С. М. Когарко. ПМТФ, 1963, 3.
4. А. А. Борисов, С. М. Когарко, А. В. Любимов. ФГВ, 1965, 4, 32.
5. R. Loison. Comptes Rendus, 1952, 234, 5, 512.
6. В. Е. Гордеев, В. Ф. Комов, Я. К. Трошин. Докл. АН СССР, 1965, 160, 4—6, 853.
7. Г. С. Евдокимов, Б. Л. Каплани и др. Докл. АН СССР, 1962, 145, 5.