

Источники поджигания газовых атмосфер при  
исследовании их воспламеняемости

В.А.Марасанов, Ю.А.Захаров, В.Ф.Панин, А.В.Мельник

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

К вопросу о выборе метода испытания газовых атмосфер  
на взрывоопасность.

Взрыво-и пожароопасность атмосфер замкнутых объемов является одним из наиболее актуальных вопросов, относящихся к практике эксплуатации многих объектов новой техники. В процессе эксплуатации во взрывобезопасную исходную атмосферу таких объектов происходит выделение горючих паров и газов. Со временем атмосфера объекта становится взрывоопасной.

Для целей техники безопасности и проектирования взрывозащитного оборудования, работающего в таких атмосферах, необходимо знание величин концентрационных пределов (КП) и минимальных энергий воспламенения каждого зажигающегося состава. Довольно часто состав атмосферы сложен, а характер влияния горючих примесей на КП и величину минимальной энергии воспламенения атмосферы объекта предсказать на основании литературных данных затруднительно, а в некоторых случаях — невозможно. Поэтому, как правило, КП и минимальные энергии воспламенения определяются экспериментальным путём. Для проведения экспериментов необходимо выбрать такой метод зажигания, который позволил бы получить минимальные значения КП и энергий воспламенения, т.е. характеризовать бы степень наивысшей опасности системы.

Зажигание газов обычно рассматривается как процесс,

вызывающий и обеспечивающий распространение пламени в горючей смеси. Этот процесс проходит две стадии: в первой энергия источника подводится к взрывчатой среде; во второй происходит такое развитие фронта пламени, когда скорость его распространения не зависит от параметров источника [1]. Определяющие факторы при зажигании связаны со свойствами источника и с условиями распространения пламени. Для обеспечения зажигания при энергиях, сравнимых с теоретическими, необходимо в объемах, сравнимых с шириной зоны горения, создать условия фронта самораспространяющегося пламени. При достаточной мощности источника зажигания газовой смеси пределы зажигания переходят в концентрационные пределы распространения пламени [2].

В зависимости от способа зажигания имеется много методов испытания газовых атмосфер на воспламеняемость. В качестве источника зажигания возможно использовать: нагретую поверхность (накаленные проволочки, шарики, стержни), пламя, индуктивные и ёмкостные искры и т.д. Все они различаются по энергетическим возможностям и характеру энерговыделения. Задача исследования сводится к выбору таких методов, которые обеспечивали бы получение минимальных значений КП и энергий воспламенения как при нормальном, так и при пониженном давлении.

Наиболее вероятным источником зажигания атмосфер в промышленности являются электрические искры статических разрядов, нормальных коммутаций, аварийных режимов и перегретые поверхности. Возникновение факела может произойти также как следствие возгорания перегретых воспламеняющихся материалов.

Подробнее остановимся на характеристике перегретых поверхностей и электрических искр как наиболее вероятных источников зажигания воспламеняющихся атмосфер в промышленности. При зажигании от нагретых поверхностей необходимо, чтобы тепловыделение превышало теплопотери и предельная температура источника должна быть не ниже температуры самовоспламенения [3]. Температура нагретой поверхности, введенной в газовую среду, должна быть тем выше, чем меньше размеры

этой поверхности [4]. При увеличении размеров источника градиент температур уменьшается, что способствует воспламенению, но при этом возникает сложность учета энергии, рассеянной в теле и подводящей линии за счет теплоемкости и теплопроводности, и энергии, непосредственно ушедшей на зажигание газовой смеси [5]

В связи с этим возникает противоречие:

Для получения минимальных значений КП необходимо увеличивать мощность источника (нагретого тела), что приводит к увеличению размеров нагретой поверхности, а это в свою очередь создаёт затруднения в определении минимальных энергий воспламенения.

При использовании электрической искры в качестве источника зажигания эти затруднения не возникают. Мощность источника электрических искр можно изменять в очень широких пределах, а энергия, выделившаяся в электрической искре, определяется осциллографированием. Исследования, проведенные в работе [6], показали, что при определении КП при пониженных давлениях наиболее эффективным источником зажигания является импульсный генератор. На основании изложенного выше приходим к выводу, что при определении КП и энергий воспламенения в широком интервале давлений газовой смеси электроискровой метод зажигания является универсальным, позволяющим одновременно определять КП и минимальные энергии воспламенения газовых смесей. Поэтому более подробно остановимся на характеристике электроискрового зажигания газовых смесей.

### ИСКРОВОЕ ЗАЖИГАНИЕ.

Зажигание искрой — сложный процесс, сопровождающийся многими химическими и физическими явлениями. Упрощенно канал искры можно представить как своеобразное накалившееся газообразное тело с очень высокой температурой, достигающей до  $20000^{\circ}\text{C}$  [7,8]. В канале искры возникает интенсивное мест-

ное возбуждение молекул и их ионизация. Всё это способствует формированию начального очага пламени. Считают [9,10] начальное ядро горящего газа сферой. Количество тепла в сфере от сгоревшего газа пропорционально его объему. Потеря тепла посредством излучения и теплопередачи пропорциональна поверхности сферы. Температура поверхности будет определяться балансом между теплом, полученным в сфере, и потерей тепла через поверхность. Очаг разрастается в самораспространяющееся пламя, когда температура поверхности достаточно высока, чтобы передать окружающим молекулам газа необходимую для поддержания реакции энергию. Поэтому, хотя каждый электрический разряд и вызывает воспламенение горючей смеси около искры, развитие возникшего ядра пламени после прекращения разряда может не произойти из-за теплопотерь. Только при достижении ядром пламени некоторого критического объема, при котором восстанавливаются потери и поддерживается необходимая температура горения, оно может оказаться способным к самораспространению. Необходимая для формирования сферы критического объема энергия определяет минимальное количество энергии искры, приводящей к зажиганию газовой смеси. Существование "критического" очага экспериментально подтверждено с помощью теневых фотографий [11].

В работе [12] показано, что радиусы очагов с течением времени увеличиваются, причем радиусы очагов, вызывающих воспламенение всей газовой смеси, в любой момент времени больше радиусов очагов, не вызывающих воспламенения (рис. I). В этой же работе показано, что, если в некоторый момент времени  $t_0$  радиусы очагов больше некоторой критической величины, то они будут расти; в противном случае очаги постепенно гаснут. Время  $t_0$  порядка  $10^{-4}$  сек, и важно, чтобы выделение энергии произошло именно в течение этого времени.

Для каждой газовой смеси имеется предельная минимальная энергия электрической искры, вызывающей воспламене-

ние смеси. Существование истинной минимальной энергии считается установленным [13] .

Исследования минимальной энергии показали, что характер зависимости минимальной энергии от состава смеси для всех горючих смесей однотипен. С возрастанием мощности искры границы зажигания расширяются. Но расширение границ зажигания носит асимптотический характер. Существует предел увеличения мощности искры, при котором дальнейшее повышение мощности не приводит к расширению границ зажигания. Искру такой мощности принято называть насыщающей искрой. Вывод о том, имеем ли мы дело с насыщающей искрой, можно сделать только на основании специальных опытов [14] .

Теоретический расчет минимальной энергии не даёт удовлетворительного совпадения с экспериментом. Расхождения получаются в несколько десятков раз [5] , что не приемлемо для практики. Более надежный способ определения минимальной энергии — экспериментальный, но при этом необходимо учитывать влияние различных факторов на величину минимальной энергии зажигания, таких как: давление, размеры искрового промежутка, материал и форма электродов, состав и температура смеси, вид разряда и время вливания энергии [11] .

Анализ результатов по влиянию давления на величину энергии зажигания, проведенный в работе [2], показывает, что с понижением давления минимальная энергия и гасящее расстояние возрастают. Однако при каждом фиксированном давлении имеется такой промежуток между электродами, при котором энергия воспламенения остаётся неизменной. Характер зависимости энергии от расстояния между электродами для всех газовых систем однотипен. На рис. 2 представлена зависимость энергии зажигания от расстояния между электродами для водородо-воздушной смеси [15] . Из графиков видно, что на величину энергии воспламенения электроды оказывают влияние до определенных расстояний. При дальнейшем увеличении расстояния между электродами энергия воспламенения

остаётся примерно на одном уровне. Эта величина энергии принимается за минимальную энергию воспламенения. Пламя-гасящий эффект у электродов с фланцами из диэлектриков (кривая 1) выражен более ярко, чем у электродов без фланцев (кривая 2). Диаметр электродов не оказывает существенного влияния на величину минимальной энергии за пределами гасящего расстояния [5]. С повышением начальной температуры воспламеняемой смеси энергия зажигания понижается [16].

Вопрос о влиянии длительности электрической искры на энергию зажигания освещен в литературе недостаточно полно, чтобы делать какие-либо выводы. Однако следует отметить, что оптимальная продолжительность импульса для воспламенения газовых смесей при определении минимальных энергий, как отмечалось выше, порядка  $10^{-4}$  сек.

В работе [11] отмечается, что форма электрических разрядов также влияет на величину энергий воспламенения. Емкостные разряды обладают более низкой минимальной энергией воспламенения; при дуговых разрядах энергия воспламенения в 1,5, а при тлеющих в 2-3 раза больше.

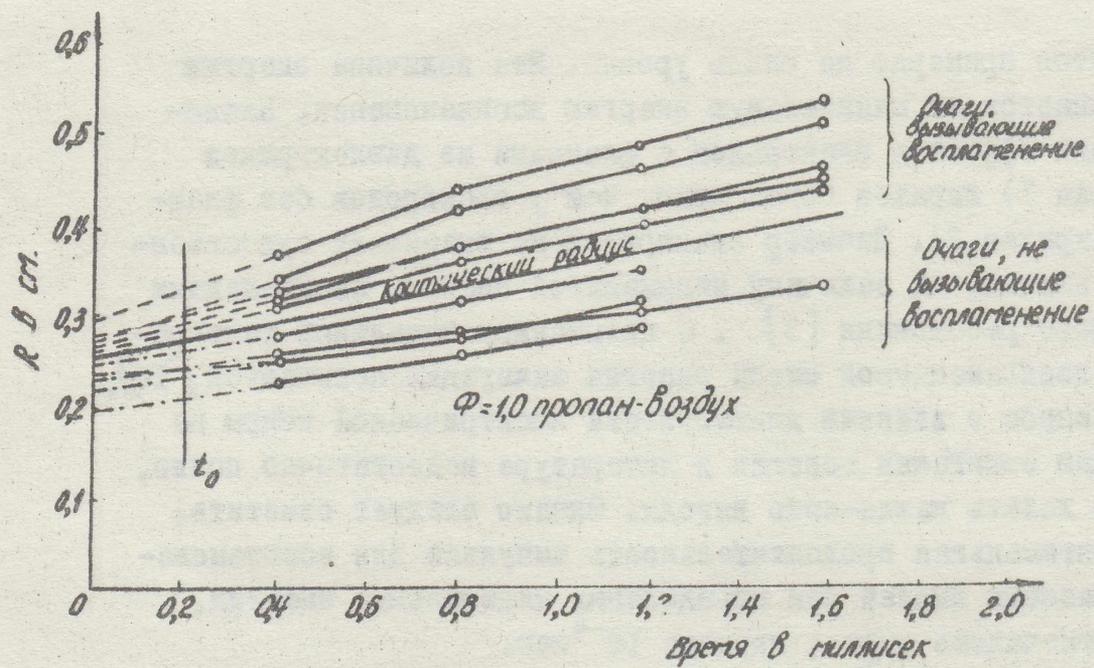


Рис. 1. Рост очага пламени по времени

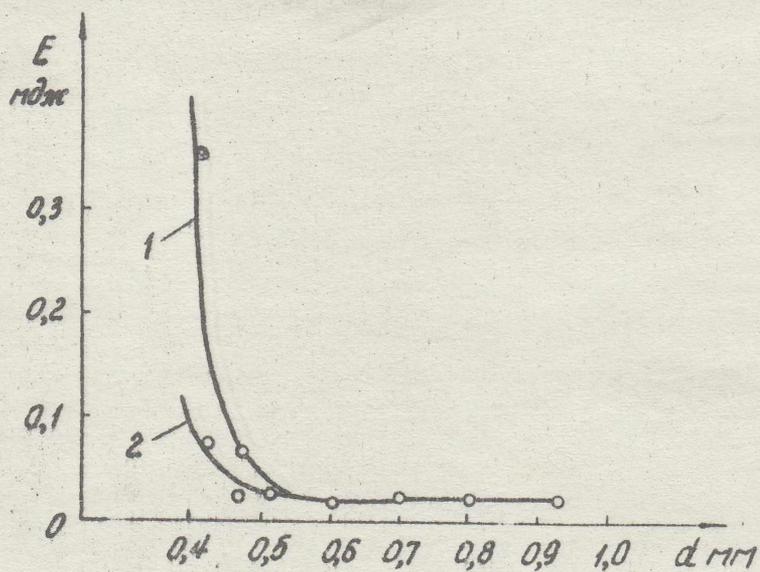


Рис. 2. Зависимость энергии зажигания водородо-воздушной смеси от расстояния между электродами.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л.Н.Хитрин, С.А.Гольденберг.Изд.АН СССР.,ОТН.,1957,№3.
2. Е.С.Щетинков.Физика горения газов.М., "Наука",1965.
3. Г.Эльбе.Проблема зажигания.Четвертый симпозиум (международный) по вопросам горения и детонационных волн.,М., 1958.
4. В.Иост. Взрывы и горение газов.М.,ИЛ.,1952.
5. Б.Льюис,Г.Эльбе.Горение , пламя и взрывы в газах.М., "Мир",1968.
6. М.Забетакис, Дж.Ричмонд.Вопросы горения и детонационных волн.Оборонгиз.,1958.
7. Н.Соболев.Исследование возбуждения спектров атомов в конденсированной искре ЖТФ,т.ХШ,№ 5,1953.
8. Ю.М.Пчёлкин.Камеры сгорания газотурбинных двигателей.М., 1967.
9. Я.Б.Зельдович,Н.Н.Симонов ЖТФ.,т.ХШ, № II,1949.
10. Г.Эльбе, Б.Льюис. В сб. Вопросы зажигания и стабилизации пламени. Под ред. Гольденберга С.А.М.,1963.
11. В.С.Кравченко. Научные исследования в Англии в области искробезопасного применения электрической энергии в воспламеняющейся атмосфере.М.,1964.
12. Д.Арнольд.Р.Шербурн.Четвертый симпозиум (международный) по вопросам горения и детонационных волн,М.,1958.
13. Д.У.Уидгинтон. Воспламенение метано-воздушных смесей под действием электрических разрядов.Доклад на III Международном конгрессе. Зальцбург,1963.
14. Л.Н.Хитрин,Физика горения и взрыва.Изд. МГУ,1957.
15. В.С.Кравченко.,В.С.Комаров,Т.В.Беликова.Безопасность труда в промышленности, 1964, № 7.
16. К.С.Светт. В сб. Вопросы зажигания и стабилизации пламени, Под ред. Гольденберга С.А.М.,1963.