

**Об исследовании взрывоопасности атмосфер  
замкнутых объемов**

В.Ф.Панин, В.А.Марасанов, В.Б.Немировский, Ю.А.Захаров

(Представлена научным семинаром кафедры радиационной химии)

Одним из актуальных вопросов, касающихся эксплуатации некоторых объектов новой и новейшей техники, в настоящее время является вопрос взрывоопасности атмосфер замкнутых объемов в авиации, подводной и т.п. технике. Атмосферы такого рода объектов, взрывобезопасные в исходном состоянии, могут стать взрывоопасными в результате поступления в них горючих компонентов, образующихся в результате функционирования систем объектов, в результате воздействия на конструкционные материалы различных разрушающих факторов, наконец, в результате жизнедеятельности персонала объектов.

Сложность оценки взрывоопасности подобных атмосфер заключается в следующем:

1). Как правило атмосферы сложны по своему составу (многокомпонентны), включая в себя как горючие, так и негорючие газы, среди которых могут быть разбавители, ингибиторы или катализаторы горения.

2). На такие сложные газовые смеси могут действовать многие слабоизученные и специфические факторы, изменяющие взрыво-(пожар-) опасность их (низкие или относительно высокие температуры, свет и ионизирующее излучение, невесомость и прочее).

3). В условиях эксплуатации объекта в качестве потенциально возможных могут выступать самые различные по природе источники (импульсы) зажигания.

Рассмотрим целесообразные пути исследования и методы оценки взрывоопасности подобных атмосфер.

Очевидно, во-первых, что невозможна оценка горючих свойств сложных атмосфер только теоретическим путем; в настоящее время далеко не полно изучены химизм и свойства горения даже такой простой системы, какой является водородокислородная смесь; отсюда следует, что путь исследования должен быть, по преимуществу, экспериментальным.

Во-вторых, экспериментально необходимо установить наиболее опасную смесь; изучая влияние внешних условий (облучение, температура и т.д.), определить наиболее опасную комбинацию их, а из общего числа возможных импульсов найти также наиболее эффективный.

Взрывоопасность наиболее горючей смеси в этих наиболее жестких условиях и определит технически важную наивысшую опасность атмосфер объекта.

Саму взрывоопасность при этом необходимо характеризовать двумя параметрами: концентрационными пределами воспламенения и величиной минимальной энергии воспламенения.

Первая, очевидно, характеризует абсолютную безопасность атмосферы, вторая же дает представление о допустимых условиях на объекте (допустимые энергии нормальных коммутаций, электростатических разрядов и т.д.).

Рассмотрим первое и третье осложняющие обстоятельства из числа указанных выше, имея в виду, что вопросам влияния факторов на взрывоопасность посвящено значительное число работ.

В свете данных по свойствам сложных **газовых** систем, которые имеются в настоящее время, порядок оценки наиболее взрывоопасных атмосфер представляется следующим.

Сначала исследуются концентрационные пределы воспламенения систем, составленных из основных компонентов, по основному горючему, и параллельно определяются минимальные энергии воспламенения атмосфер с основными составами.

На основе таких предварительных исследований определяются составы, характеризующиеся более низкими концентрационными пределами воспламеняемости и более низкими энергиями

воспламенения. Установленные таким образом предельные величины могли бы указать, как отмечалось выше, направление и интенсивность мероприятий по обеспечению взрывобезопасности атмосфер в нормальных условиях.

Однако для условий, в которых эксплуатируются замкнутые объемы, эти величины не могут считаться достаточными. Существует определенная вероятность того, что вещества, образующиеся в результате разложения конструкционных материалов под воздействием различных разрушающих факторов, а также продукты жизнедеятельности человека могут существенно повлиять — тем более, в условиях высоких температур и действия ионизирующих излучений — либо на величину концентрационных пределов воспламеняемости атмосфер по основному горючему, либо на уровень минимальных энергий воспламенения атмосфер, либо на то и другое вместе, причем, в сторону уменьшения их.

Поэтому следующим этапом исследований должно быть изучение влияния добавочных компонентов на концентрационные пределы воспламеняемости и величины минимальных энергий воспламенения.

Одним из вариантов (предварительных) изучения такого влияния является следующий. Концентрация суммарного продукта терморезультата и жизнедеятельности персонала в исследуемой атмосфере увеличивается до тех пор, пока не обнаружится его ощутимое влияние на предельные величины. Отсюда сразу же может быть произведена оценка времени эксплуатации объекта в определенных условиях, в течение которого достигается "влияющая" концентрация суммарного добавочного продукта.

Подобным же методом может быть произведена оценка времени эксплуатации, в течение которых достигается тот или иной уровень концентрации суммарного продукта, и, следовательно, то или иное изменение предельных величин. (понятно, что параллельно должны проводиться качественные и ко-

личественные исследования процесса образования добавочных газовых компонентов, т.е. кинетика накопления их).

Конечной целью комплекса указанных работ является установление источников (причин) возможного ( и заметного ) снижения предельных величин. Последнее может быть достигнуто постепенным удалением из суммарного добавочного газового продукта, вводимого в исследуемую атмосферу, отдельных компонентов или групп родственных компонентов - до тех пор, пока не будет установлено, удаление какого, или каких компонентов "снимает" влияние примесей.

Это позволяет определить, во-первых, какой из конструктивных материалов объекта, разрушаясь под действием отдельных факторов, вносит в атмосферу опасные компоненты и, в конечном счете, разработать мероприятия по защите или замене такого материала. Во-вторых, может быть указано, какой компонент повышает опасность; эти данные дадут возможность, напротив, не меняя конструкционный материал ( или элемент схемы ), поставить вопрос об удалении (связывании) опасного компонента.

Одним из немаловажных моментов предполагаемого комплекса работ является выбор наиболее подходящего источника импульсов зажигания исследуемых атмосфер. Кратко рассмотрим возможные источники поджигания.

Все реальные импульсы воспламенения можно - с известной условностью - разделить на четыре группы:

- а) импульсы, возникающие при экзотермических реакциях;
- б) импульсы, возникающие при переходе механической энергии в теплоту ( теплота трения, ударные и фрикционные искры и т.п. );
- в) импульсы, возникающие при переходе электрической энергии в теплоту (перегрев элементов электроустановок при коротких замыканиях и перегрузках и т.п. );
- г) электрические разряды.

Из перечисленных импульсов воспламенения в практике испытаний атмосфер на взрывоопасность обычно используются фа-

кел пламени, нагретые поверхности, электрические разряды.

Для реализации вышеописанного комплекса работ наиболее приемлемы электроискровые источники поджигания.

В самом деле, при работе с факелом пламени возникают определенные трудности при определении минимальных энергий воспламенения, при работе на низких давлениях и, пожалуй, главное — трудности при изучении влияния добавочных продуктов на предельные величины (введение в исследуемую смесь факела пламени равносильно введению добавочных продуктов).

При использовании нагретых поверхностей также возникают трудности в определении минимальных энергий поджигания, связанные, в частности, с большой зависимостью температуры воспламенения от условий опыта: размеров сосуда, свойств его внутренней поверхности и т.п.

Несколько более подробно остановимся на электроискровых импульсах.

Электрическая искра сопровождается кратковременным импульсом энергии. Энергия импульса передается объему газов, занимаемому искрой, раскаляет его. Раскаленный объем газа, являясь, в сущности элементом пламени, передает энергию электроискрового источника окружающим молекулам смеси, и начинается реакция окисления горючего.

Условились считать это начальное образование некоторым начальным ядром горящего газа в форме сферы, [1].

Развитие этой сферы возможно лишь при условии достаточной температуры ее поверхности, действие которой на окружающую смесь аналогично, по-видимому, действию нагретого тела. Введенный посредством искры импульс энергии вместе с энергией прореагировавшего в сфере газа представляют собой своеобразный начальный актив воспламенения, который сразу же начинает расходоваться на нагрев окружающей среды. При этом теплоотдача из сферы пропорциональна квадрату ее радиуса, теплоприход (за счет реакции в объеме сферы) — кубу радиуса. В связи с этим

в начальном периоде развития сферы ( при ее малых диаметрах ) теплоотдача может существенно превосходить теплоприход, и развитие сферы на этом этапе может происходить лишь за счет начального электроискрового импульса энергии.

Тот минимум энергии искрового импульса , который необходим для развития первоначального ядра до критических размеров, [1,2] и др., при которых необходимая температура на его поверхности может поддерживаться за счет только **внутреннего** теплоприхода, и есть минимальная энергия воспламенения данной смеси.

Заметим, что согласно **имеющимся** в литературе **данным**, оптимальное время развития первоначального очага до критических размеров при введении в смесь энергий, соизмеримых с минимальной, составляет  $10^{-4}$  сек, [3,4] . Поэтому поджигание более длительными или более короткими искрами требует увеличения их энерго-содержания, [5] .

Таким образом, при искровом поджигании с самого начала иницирования формируется – без посредств в виде каких-либо нагретых тел – элемент пламени, теплоотдача из которого ( при соответствующих размерах электродов ) практически полностью утилизируется на развитие первоначального очага. Очевидно, что ни при каком другом импульсе невозможно достичь столь полной утилизации энергии, и в этом аспекте минимальная энергия искрового воспламенения приближается к абсолютной , т.е. физической, характеристике взрывоопасной газовой смеси.

Несмотря на успехи в развитии феноменологических представлений об электроискровом воспламенении – модели Зельдовича, [1], Моста, [6] , Льюиса и Эльбе, [8] , подтвержденных рядом экспериментальных работ, в частности, работой Линтина и Вудинга, [3] – к настоящему времени эти представления не доведены до более или менее строгих количественных форм. В частности, в достаточной мере условными являются размеры "критического" диаметра очага воспламенения. Другой условностью является положение о том, что условием развития первоначального ядра пламени до критических размеров является поддержание на его поверхности

температуры, равной температуре стационарного горения данной смеси.

В связи с этим в настоящее время невозможно произвести точную количественную оценку минимальных энергий даже простейших горючих смесей. Однако такую оценку можно произвести экспериментальным путем: созданием в испытываемой смеси электрической искры со строго контролируемым током в искре и разностью потенциалов между электродами разрядного промежутка. Такой путь в настоящее время технически вполне приемлем.

Имея возможность такой оценки энергии, выделившейся в искре, можно во-первых, для любого содержания горючего в смеси указать минимальную энергию воспламенения ( в том числе - и наименьшую энергию воспламенения ) и, во-вторых, переходя к концентрационным пределам воспламенения, можно строго и с требуемой точностью определить составы смеси, соответствующие концентрационным пределам воспламенения.

Таким образом, электроскровой метод испытаний атмосферы на взрывоопасность дает и концентрационные границы воспламенения, и энергетическую границу воспламеняемости смеси.

Кроме того, и это, пожалуй, главное достоинство метода для рассматриваемых условий - использование искры в качестве инструмента исследования позволит с большой точностью исследовать влияние примесей на предельные величины.

Электроскровой способ имеет также ряд других преимуществ: возможность создания электроскорового источника, позволяющего регулировать в очень широких интервалах как энергию разряда, так и его длительность, что позволяет, помимо прочего, изучить влияние на воспламеняемость атмосфер времени введения энергии.

Электроскровой метод особенно предпочтителен для исследования поведения атмосфер замкнутых объемов в описанных условиях, т.к. в сложных электронных системах электрические разряды являются, по-видимому, наиболее вероятными источниками поджигания.

Наконец, искры имеются как необходимый элемент практически во всякой электронной или электрической схеме, работающей в нормальном режиме, в то время как появление прочих источников зажигания предполагает, как правило, возникновение аварийной ситуации.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Я.Б. Зельдович, Н.Н. Семенов, ЖФХ, 23, № II, 1949.
2. Д.У. Уидгинтон, "Воспламенение метано-воздушных смесей под действием электрических разрядов", докл. на III Международн. конгр., Зальцбург, 1964.
3. D.R. Linton, E.R. Wooding, "Investigation of the ignition of a gas by an electric Spark", *British Journal of appl. Phys.*, 10, Apr., 1959.
4. Д. Арнольд, Р. Шербурн, "Исследование зажигания и начальной стадии развития очага пламени в углеводородо-воздушных смесях", Вопросы горения, IV Международн. симпозиум по вопросам горения и детонационных волн, 1958.
5. Е.С. Шетников, "Физика горения газов", Наука, М., 1965.
6. W. Iost, *Zeit. Phys. Chem.*, 196, 4, 1950.
7. B. Lewis, G. Elbe, "Combustion, Flames and Explosions of Gases", № 4, 1951.
8. В. Льюис, Г. Эльбе, "Основные принципы зажигания и воспламенения". Сб. "Вопросы горения реактивных топлив", М., 1959.