

## О принципах построения зажигающих систем

Шанин

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений при Томском политехническом институте)

Одним из важных моментов техники зажигания горючих смесей в системах сжигания топлив, техники исследования взрывоопасности парогазовых систем и ряда других электрофизических исследований и испытаний является проблема создания наиболее целесообразных аппаратов зажигания. Важность темы иллюстрируется, в частности, опубликованием недавно работы [1], в которой систематически излагается современное состояние теории и практики действующих систем.

Как в системах сжигания топлив, так и в исследованиях взрывоопасности газовых систем, наибольшее распространение получили электрические системы зажигания, а именно, искродуговые источники. (Под термином искродуговые источники зажигания следует понимать аппараты, в которых импульсом воспламенения является искра или дуга - независимо от способа их получения: магнетные, батарейные, высокочастотные, искроконденсаторные схемы, схемы с разрядом по поверхности и т.п. системы. В отличие от перечисленных, накаливные системы - с нагреванием воспламеняющих тел за счет Джоулева тепла - находят значительно меньшее распространение).

Для систем сжигания топлив искродуговые источники удобны своей компактностью и надежностью, [1]; для устройств испытания парогазовых смесей на взрывобезопасности они, кроме отмеченных достоинств, предполагают повышенную точность измерения параметров искродугового импульса, определяющих его энергосодержание (ток и напряжение) и, что немаловажно, в большом числе случаев воспроизводят реальные (потенциальные) импульсы воспламенения, характерные для современных электрических и электронных систем в различных областях техники: дуги коротких замыканий, ду-



ги и искры нормальных и ненормальных коммутаций, разряды статического электричества и т.д..

Анализ современного состояния теории и практики систем и аппаратов зажигания по литературным источникам показывает, что к настоящему времени ни в области систем для сжигания топлив, ни в области устройств для испытаний парогазовых систем на взрывоопасность, не выработаны принципы построения аппаратов зажигания. В уже упомянутой работе [1], в частности, не сообщается, какой должна быть форма и длительность наиболее эффективного импульса зажигания, то есть импульса, надежно воспламеняющего смесь при некотором минимальном энергосодержании. Знание параметров наиболее эффективного искродугового импульса может поставить работы по построению систем зажигания на принципиальную основу и будет способствовать несомненному прогрессу в этой области.

Аналогичное положение наблюдается и в работах по исследованию горючих свойств парогазовых систем и, в частности, их взрывоопасности. Известно, что одной из главных характеристик взрывоопасности смеси является минимальная энергия ее воспламенения, приближающаяся по своему значению к физической характеристике данной смеси. Знание минимальных энергий позволяет производить наиболее надежную отстройку взрывоопасных систем от воспламенения искродуговыми ( и не только ими ) импульсами, например, при создании искробезопасных цепей. Однако, практически ни в одной из экспериментальных работ по оценке минимальных энергий воспламенения не реализованы условия, при которых воспламенение достигалось бы при наименьших энергиях (разумеется, здесь речь идет об условиях, определяемых источником зажигания).

Между тем из работ Я.Б. Зельдовича, [2], В. Львиса и Г. Эльбе, [3,4], Иоста, [5] и др. следует, в сущности, что процесс зажигания, как и всякий другой инерционный процесс, протекающий в пространстве и во времени, естественным образом предрасположен к оптимизации: некоторое количество энергии, введенной в смесь с малой скоростью, и, следовательно, в течение длительного времени, может не воспламенить смесь вследствие большой теплоотдачи окружающей среде; то же количество энергии, введенной в смесь с очень большой скоростью, также может не воспламенить смесь вследствие



инерционности процесса формирования пламени. Соответственно, существует некоторая промежуточная скорость введения энергии, "резонирующая", в определенном смысле, с процессом разрастания первоначального очага пламени и оптимизирующая зажигание - при этой скорости вероятность зажигания максимальна.

Более того, в работах [6,7], по существу, определена мера инерционности формирования устойчивого пламени: было установлено, что пламя формируется, если его начальное образование - ядро пламени - достигнет некоторых критических размеров; время достижения этих размеров составляет  $10^{-4}$  сек.

Таким образом, к настоящему времени сформировалось устойчивое мнение, что наибольшая эффективность зажигания должна иметь место при времени ввода энергии в смесь порядка  $10^{-4}$  сек, [8] и др..

В свете изложенного представляется очевидным, что аппараты и устройства должны строиться таким образом, чтобы импульсы зажигания действовали в течение указанного же времени. В этом случае они будут приближаться к наиболее эффективным.

Другое дело, до настоящего времени не установлена оптимальная форма импульса энергии: должна ли мгновенная мощность импульса непрерывно возрастать - вплоть до конца инициирования - или, наоборот, целесообразна повышенная мощность в начале разряда с возможностью её уменьшения к моменту формирования очага пламени с критическими размерами, или возможно, мгновенная мощность импульса должна быть постоянной от начала до конца воспламенения? И первый, и второй, и третий варианты проблематичны - необходимы специальные теоретические и экспериментальные разработки.

Можно полагать, тем не менее, что ряд вопросов, касающихся эффективного зажигания парогазовых систем, может быть решен с использованием прямоугольной (или близкой к ней) модели импульса зажигания, то есть при постоянстве мгновенной мощности импульса воспламенения в течение всего процесса инициирования или - что то же - при постоянной скорости введения энергии в смесь.



Во всяком случае, с использованием этой модели возможно вполне однозначное решение вопроса об оптимальной скорости введения энергии и, соответственно, о минимальной энергии зажигания данной смеси.

Какова возможная практическая отдача реализации прямоугольной модели?

Если в ходе исследований зажигания смесей на прямоугольной модели будет установлено существенное уменьшение энергии воспламенения при импульсах длительностью  $10^{-4}$  сек по сравнению с минимальной энергией воспламенения, установленной на импульсах микросекундной и миллисекундной длительности - встанет вопрос о практической реализации оптимального импульса зажигания в рабочих системах сжигания топлив.

Осуществление прямоугольной модели импульса зажигания и её использование в исследованиях взрывоопасности парогазовых систем позволит, во-первых, установить порог наименьших энергий, ещё способных воспламенить систему, и во-вторых, исследовать - практически в идеальных условиях - стабильность концентрационных пределов воспламенения смесей при воздействии искродуговых импульсов с большим диапазоном энергий и длительностей.

Предполагаемый фронт экспериментальных работ по поиску оптимальной формы импульса зажигания на основе прямоугольной модели не исключает, разумеется, экспериментальной и теоретической работы по отысканию её с использованием других моделей. Важность этих работ для формулирования принципов построения систем зажигания представляется несомненной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Балагуров, "Аппараты зажигания", Изд. "Машиностроение", М., 1968.
2. Я.Б. Зельдович, Н.Н. Семенов, ЖФХ, 23, № II, 1949.



3. B. Lewis, G. Elbe, „Combustion, Flamen and Explosions of Gases”, № 4, 1951.
4. В. Льюис, Г. Эльбе, "Основные принципы зажигания и воспламенения," Сб. "Вопросы горения реактивных топлив", М., 1959.
5. W. Iost, *Zeit. Phys. Chem.*, 196, 4, 1950.
6. D.R. Lintin, E.R. Wooding. „Inwestigation of the ignition of a gas byanelectric Spark", *Britisl journal of appl. Phys.*, 10, Apr., 1959.
7. Д. Арнольд. Р.Шербурн, "Исследование зажигания и начальной стадии развития очага пламени в углеводородо-воздушных смесях", Вопросы горения, IV Междунар. симпозиум по вопросам горения и детонационных волн, 1958.
8. Е.С. Шетинков, "Физика горения газов", Изд. "Наука", М., 1965.