

**О МЕХАНИЗМЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ
ЭЛЕКТРОВСПЛАМЕНИТЕЛЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОДЕТОНАТОРОВ**

*Н. Д. Толстых, Б. П. Павлыш
(Макеевка)*

Согласно существующей теории электровзрывания [1], механизм срабатывания электровоспламенителя сводится к следующему. Электрический ток, проходя по мостику накаливания, нагревает его и прилегающий к нему воспламенительный состав. Как только частицы состава получают необходимое количество тепла, в них начнется реакция, которая сопровождается выделением тепла. По мере вовлечения в реакцию более обширных участков воспламенительной головки будет увеличиваться количество выделенного тепла и через некоторое время наступает момент, когда реакция сможет протекать и без поступления тепла извне, т. е. она сумеет идти и при отсутствии тока в мостике. Этот момент считают моментом воспламенения электровоспламенителя. Через некоторое время после воспламенения электровоспламенителя состав реагирует (сгорит), что приведет к выбросу луча огня из головки.

Время от момента воспламенения до выхода луча огня из воспламенительной головки (время горения состава) называют временем передачи.

Время, представляющее собой сумму времени воспламенения и времени передачи, называют временем срабатывания электровоспламенителя.

Исходя из изложенного механизма, считается, что безотказность группового взрывания последовательно соединенных электродетонаторов разной чувствительности обеспечивается за счет времени передачи, т. е. времени горения состава внутри воспламенительной головки. За это время мостик накаливания, находящийся в воспламенительной головке, не разрушается и не нарушает взрывной цепи, а наименее чувствительный электровоспламенитель в этой цепи успевает получить достаточный для его воспламенения импульс тока.

В связи с тем, что безотказность группового взрывания является весьма острой проблемой, возникла необходимость в экспериментальном определении времени передачи с целью разработки способа его контроля.

Выполнение этой задачи было начато с изучения механизма срабатывания электровоспламенителя путем осциллографирования процессов, происходящих в нем при пропускании тока через мостик накаливания (параметры мостика: материал — нихром, диаметр 0,03 мм, длина 1,5—3 мм¹). При этом мостик накаливания играл роль датчика, который включался в одно из плеч специального одинарного моста, а включенный в

¹ В данной работе изучался электровоспламенитель вне электродетонатора.

измерительную диагональ осциллограф С1-19 записывал кривую изменения сопротивления мостика накаливания. Исследования производились при токах 0,3; 0,6; 0,8 и 1,0 а без ограничения во времени. Наиболее наглядную картину этих процессов представляют осциллограммы при токе 0,3 а (рис. 1).

Из осциллограммы рис. 1 видно, что в начальный период времени сопротивление мостика накаливания плавно растет, затем в течение не-

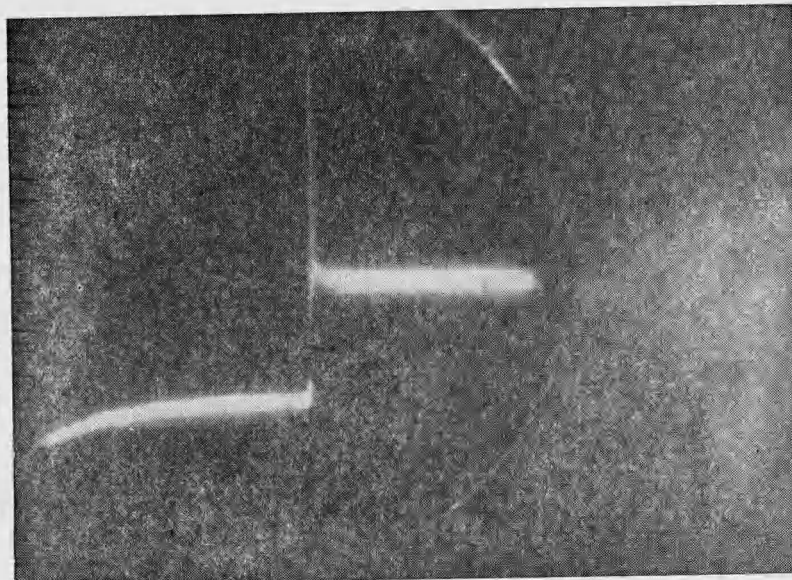


Рис. 1. Осциллограмма изменения сопротивления электровоспламенителя при токе 0,3 а (длина развертки 150 мсек).

которого времени стабилизируется, а далее увеличивается, но уже резко — скачком, после этого наблюдается такой же резкий спад до некоторого уровня и далее на этом уровне сопротивление остается неизменным. Мостик накаливания при этом не разрушается.

Исходя из изложенного, процесс срабатывания электровоспламенителя можно представить следующим образом. При включении тока происходит нагрев мостика накаливания и прилегающего к нему воспламенительного состава. Спустя примерно 62 мсек после этого (из приведенной осциллограммы) температура мостика практически не изменяется. Наступило как бы равновесие между теплоприходом и теплоотводом, длившееся в течение 35 мсек. Затем это равновесие нарушается за счет значительного притока дополнительного тепла и температура мостика резко увеличивается.

Установить причину резкого увеличения температуры позволила осциллограмма (рис. 2) электровоспламенителя (кривая 1) и его мостика, но уже без воспламенительного состава (кривая 2). Из рис. 2,2 видно, что сопротивление мостика без состава очень быстро достигает максимального значения при данном токе. Кривая изменения сопротивления мостика, находящегося в воспламенительном составе при этом же токе, расположена ниже, чем мостика без состава. Они совпадают только после резкого изменения сопротивления мостика электровоспламенителя (всплеск на кривой 1). Это говорит о том, что мостик после скачка об-

нажился и находится вне состава, температура его теперь соответствует температуре мостика, нагретого электрическим током на воздухе. В связи с этим был сделан вывод о том, что всплеск на осциллограмме является моментом срабатывания электровоспламенителя, а не моментом его воспламенения.

Несовпадение кривых до скачка объясняется большой теплопроводностью состава, отводящего тепло от мостика.

Таким образом, проведенные исследования показали, что на протяжении 97 мсек (см. рис. 2) от момента включения тока не наблюдается ни воспламенения, ни горения воспламенительного состава внутри электровоспламенителя. Спустя это время происходит мгновенное взрывчатое превращение воспламенительного состава (вспышка).

Изучение осциллограмм, снятых при токах 0,6; 0,8 и 1,0 а, позволило установить, что характер изменения сопротивления (температуры) мостика примерно такой же, как и при токе 0,3 а. Однако участки нагрева мостика накаливания и реакции в воспламенительном составе до скачка резко уменьшаются с увеличением тока. Угол наклона кривой роста сопротивления с увеличением тока увеличивается.

Время срабатывания электровоспламенителей, полученное из осциллограмм при токе 0,3 а, составляет 60—100 мсек, при токе 1 а — 2,0—3,9 мсек.

Исследование процесса срабатывания электровоспламенителя методом осциллографирования позволило установить, что временем воспламенения электровоспламенителя является фактически время его срабатывания. Что же тогда представляет собой время передачи? С этой целью были проведены исследования с помощью специального формирователя прямоугольного импульса тока, применяемого в настоящее время для определения времени воспламенения электровоспламенителей. Определение времени воспламенения сводится к подаче на электровоспламенитель определенного по амплитуде импульса тока с переменной длительностью, которая изменяется до тех пор, пока электровоспламенитель не срабатывает. Одновременно с этим определялось время срабатывания электровоспламенителя с помощью фотоумножителя типа ФЭУ-19М и секундомера. Результаты этих исследований приведены в таблице. Для сравнения в ней приведены данные по времени срабатывания электродетонаторов при соответствующих токах.

Из таблицы видно, что для срабатывания электровоспламенителей достаточно подавать на них импульс тока, например 0,3 а, в течение 16—28 мсек. Срабатывание же их происходит не по истечении этого времени, а спустя 60—100 мсек после включения тока.

Ранее считалось, что воспламенение происходит в момент истечения воспламеняющего импульса тока, а затем идет горение состава внутри

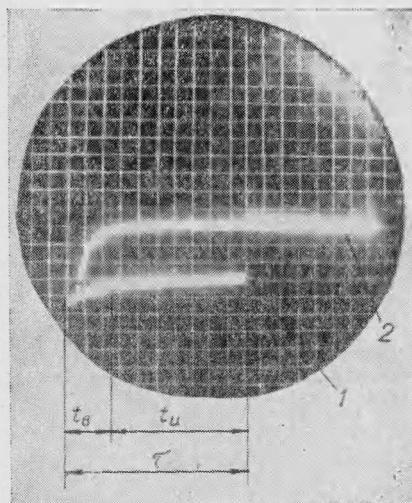


Рис. 2. Совмещенная осциллограмма, снятая при токе 0,3 а.

1 — изменение сопротивления мостика накаливания электровоспламенителя; 2 — изменение сопротивления мостика накаливания вне воспламенительного состава.
а — длительность воспламеняющего импульса тока ($t_{в} = 22$ мсек); б — время индукции ($t_{и} = 75$ мсек); в — время срабатывания электровоспламенителя ($\tau = 97$ мсек).

воспламенительной головки. Если теперь обратиться к осциллограммам, то можно увидеть, что по истечении 16—28 мсек после подачи тока на электровоспламенитель на кривой изменения сопротивления в это время не наблюдается никаких изменений, свидетельствующих о воспламенении и горении состава.

Всплеск на осциллограмме совпадает с моментом срабатывания, зафиксированного фотомножителем и секундомером. Следовательно,

Ток, а	Длительность воспламеняю- щего импульса тока (t_v), мсек	Среднее время срабатывания электровоспла- менителей (τ), мсек	Среднее время срабатывания электродето- наторов* (τ_1), мсек
0,3	16 - 28	80,00	—
1,0	0,86 - 1,30	2,90	3,20
5,0	0,033 - 0,040	0,72	1,32
10,0	0,011 - 0,013	0,42	0,90

* Время срабатывания электродетонатора можно пред-
ставить как сумму, состоящую из времени срабатывания
электровоспламенителя и капсуля-детонатора. Время
срабатывания последнего в среднем составляет 0,3 мсек.

время 16—28 мсек является длительностью воспламеняющего тока, а не временем воспламенения. Это время, в течение которого необходимо подавать ток на электровоспламенитель, чтобы он сработал.

Исходя из теории термического разложения пиротехнических составов [2] и анализируя результаты описанных выше исследова-

ний, процесс срабатывания электровоспламенителя можно разделить на следующие этапы:

- 1) нагрев мостика накаливания и воспламенительного состава;
- 2) индукционный период; 3) вспышка состава.

Таким образом, на основании проведенных исследований механизм срабатывания электровоспламенителя можно свести к следующему. Электрический ток, проходя по мостику, нагревает его и прилегающий к нему воспламенительный состав. В воспламенительном составе, как только он получит необходимое количество тепла, бертолетова соль начинает плавиться, а затем разлагаться с выделением кислорода. Тепло, выделяемое мостиком и при разложении бертолетовой соли, расходуется на нагрев, плавление и разложение бертолетовой соли соседних слоев состава и подготовку к реакции второго компонента состава — роданистого свинца. Поэтому температура в воспламенительном составе внутри воспламенительной головки остается на уровне температуры мостика, нагретого током до начала реакции в составе. Несмотря на это, скорость реакции в воспламенительном составе увеличивается благодаря способности бертолетовой соли к экзотермической реакции саморазложения [2], достигает определенного значения, при котором равновесие между теплоприходом и теплоотводом нарушается, и происходит вспышка состава. Таким образом происходит срабатывание одиночного электровоспламенителя.

Для безотказного группового взрывания электродетонаторов необходимо, чтобы разброс по времени воспламеняющих импульсов (Δt_v) был меньше, чем минимальное значение времени индукции.

Поступила в редакцию
15/V 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лурье. Электрическое взрывание зарядов. М., Гос. изд-во литер. по горному делу, 1963.
2. А. А. Шидловский. Основы пиротехники. «Машиностроение», 1964.