

**Ю.А. Поляков, С.В. Пузач**  
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: info@academygps.ru)

## **РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОНКОПЛЁНОЧНОГО ТЕРМОСЕНСОРА ПОЖАРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

*Представлены результаты экспериментального исследования быстродействия тонкоплёночного термосенсора с использованием теплового импульса от нагретого газа, следующего за ударной волной. Сравнительные опыты с пьезодатчиком показали высокую разрешающую способность тонкоплёночного термосенсора.*

*Ключевые слова: тонкоплёночный термосенсор, быстродействие.*

## **Yu.A. Polyakov, S.V. Puzach** **THE RESOLVING FIT OF THIN-FILM FIRE-FIGHTING THERMOSENSOR**

*The results of an experimental study of the performance of a thin-film thermosensor using a thermal pulse from a heated gas following a shock wave are presented. Comparative experiments with a piezoelectric transducer showed a high resolution of thin-film thermosensor.*

*Key words: thin-film thermosensor, speed.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 апреля 2017 г.

Применение быстродействующих сигнализаторов пожаровзрывоопасности в объектах энергетического и химико-технологического назначения связано с обеспечением малой инерционности **чувствительных элементов (ЧЭ)** первичного звена всей пожаропредупредительной автоматики.

Плёночные термосенсоры применяются в качестве датчиков фронтальных процессов, к которым относятся: фронт горения, ударная волна, взрывное воспламенение, импульсное излучение и другие быстропротекающие процессы, для оперативной диагностики которых требуется высокая разрешающая способность аппаратуры.

Теоретический анализ пространственно-временных и теплофизических характеристик ЧЭ и подложки (матрицы) показал, что термическая прозрачность ЧЭ, то есть практически "мгновенное" выравнивание температуры по толщине ЧЭ терморезистора, связана с критерием Фурье (Fo) для датчиков, функционирующих в режиме термометра сопротивления [1].

При Fo = 200 это выравнивание достигает уровня 98 %. Время  $\tau_p$ , необходимое для установления этого уровня, называют "временем быстродействия", которое определяется по формуле

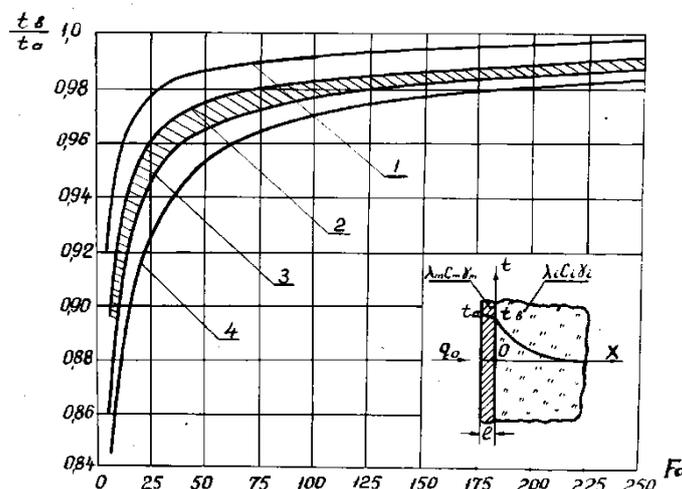
$$\tau_p = \frac{200 \ell^2}{a_m},$$

где  $\ell$  – толщина ЧЭ;

$a_m$  – коэффициент температуропроводности материала ЧЭ.

Так как средняя длина свободного пробега носителей (электронов) в металлах составляет 0,01-0,1 мкм, то в металлических плёнках толщиной порядка 60-100 нм выравнивание температуры по толщине происходит за время, сравнимое со временем тепловой релаксации  $\tau_r \approx 10^{-11}$  с.

График, иллюстрирующий зависимость параметра выравнивания температуры по толщине ЧЭ от критерия Фурье, приведён на рис. 1.



**Рис. 1.** Зависимость  $t_0/t_a$  от критерия  $Fo$ :  
 1 –  $Z=0,01$ ; 2 –  $0,087$ ; 3 –  $0,2$ ; 4 –  $0,26$

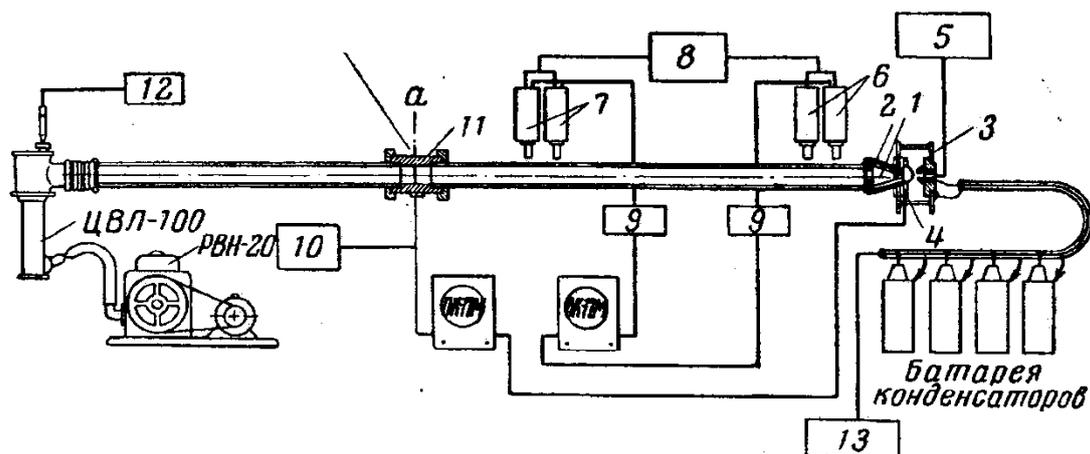
На рис. 1. изображены зависимости относительной температуры при различных сочетаниях материалов плёнки и матрицы  $Z = \epsilon_i/\epsilon_m$ , где  $Z$  – представляет собой отношение коэффициентов тепловой активности материалов матрицы и ЧЭ. Вариант – плёнка из платины и матрица из БД-1 соответствует  $Z = 0,087$ . Заштрихованная область на рис. 1. отражает разброс в теплофизических параметрах материалов ЧЭ и матрицы.

Датчик давления представлял собой пьезоэлемент цилиндрической формы высотой 4 мм из цирконата-титаната свинца марки ЦТС-19, плоские поверхности которого были покрыты плёнкой из серебра.

Экспериментальная оценка разрешающей способности тонкоплёночного термосенсора проводилась на электроразрядной импульсной установке (рис. 2).

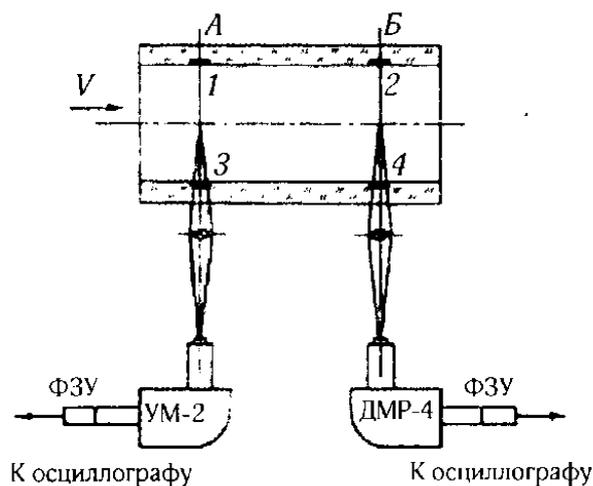
Установка представляет собой коническую камеру (полный угол  $22^\circ$ , длина 7,5 см) с кольцевым электродом, переходящую в трубу длиной 3,5 м и диаметром 57 мм.

Ударная волна возникала при разряде батареи из четырёх конденсаторов ИМ-5-150 ( $C = 600$  мкф,  $U = 5$  кВ, полная энергия – 7,5 кДж,  $I = 80$  кА, длительность первого полупериода 27 мкс, второго – 43 мкс) и распространялась по каналу. Измерение скорости фронта в газовой среде показало, что она падает линейно с увеличением расстояния от кольцевого электрода (при давлениях 0,3-0,1 мм рт. ст.).



**Рис. 2.** Схема электроразрядной импульсной установки:  
 1 – разрядная камера; 2 – обратный проводник; 3 – разрядник;  
 4 – пояс Роговского; 5 – инициирующий блок; 6 – фотоэлементы, измеряющие скорость фронта; 7 – фотоумножители; 8 – блок питания ФЭУ; 9 – линейные смесители; 10 – схема питания термосенсоров; 11 – измерительная секция; 12 – вакуумметр

Измерительная секция изготовлена из прозрачного оргстекла, внутренний диаметр которой равен диаметру стеклянной трубы (57 мм). В центральной части секции на расстоянии 16,5 см друг от друга заподлицо со стенкой помещались два плёночных термосенсора. В этих же сечениях секции находились два пьезоэлектрических датчика давления. Два монохроматора (УМ-2 и ДМР-4) с фотоэлектрическими приставками были сфокусированы на ось трубы также в этих же сечениях (рис. 3). Скорость ударной волны на входе в секцию и на выходе из неё измерялась двумя парами фотоумножителей, а в самой секции – с использованием фоторазвёртки движения фронта давления и датчиками давления. Регистрация сигналов всех датчиков осуществлялась на осциллографе ОК-17М.

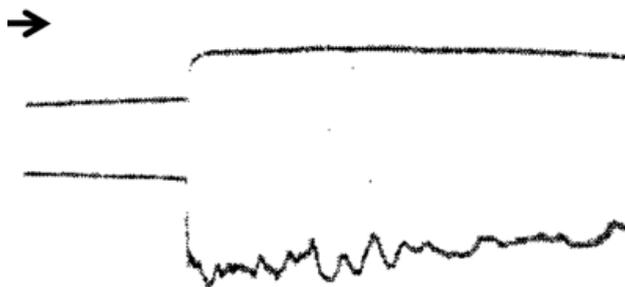


**Рис. 3.** Схема измерительной секции ударной трубы:  
 1, 2 – пьезодатчики; 3, 4 – плёночные термосенсоры

В большинстве опытов в качестве рабочего газа использовался аргон. Кроме того, несколько контрольных измерений было проведено с использованием воздуха. Начальное давление газа в трубе изменялось от 0,5 до 10 мм рт. ст.; напряжение на батарее конденсаторов – от 3 до 4,5 кВ. В зависимости от режима длина газодинамической пробки изменялась от 5 до 30 см (от фронта ударной волны до начала области смешения ударно нагретого газа и газоразрядной плазмы). Протяжённость области ударно нагретого газа фиксировалась датчиком давления и монохроматором, настроенным на линии примесей меди и водорода.

Датчики, расположенные в сечении А, служили, в основном, для запуска электронной аппаратуры, работающей в ждущем режиме, а так же для корректного измерения скорости фронта волны и оценки протяжённости ударно нагретого газа.

Сравнение импульсов теплового термосенсора и датчика давления, полученных при одновременном запуске лучей, можно видеть на осциллограммах рис.4. Видно, что в момент прихода фронта ударной волны скачки давления и температуры происходят практически одновременно. Так как быстродействие пьезодатчика составляет менее  $10^{-6}$  с, то есть основание полагать, что разрешающая способность тонкоплёночного терморезистора будет на том же уровне.



**Рис. 4.** Сигналы тонкоплёночного термосенсора (верхний импульс) и пьезоэлектрического датчика давления (нижний импульс). Развёртка – 400 мкс. Скорость ударной волны  $V_s = 2800$  м/с

Следует заключить, что тонкоплёночный терморезистор реагирует на мгновенное **временное** изменение температуры контрольной поверхности практически без амплитудных и фазовых искажений. Он может служить датчиком **точного** определения момента, когда наступает изменение температуры (а, следовательно, через реализацию передаточной функции, и теплового потока).

В этом случае тонкоплёночный термосенсор, по сути, является **сигнальным** датчиком, давая пусковой сигнал для приведения в действие пожаропредупредительной автоматики или систем взрывоподавления.

Благодаря высокой разрешающей способности термосенсор с успехом использовался при индикации ударной волны, фронта пламени, начала горения и параметров [2-4].

## Литература

1. Поляков Ю. А. Анализ быстрodejствия плёночного термосенсора пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (65). 2016. С. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Поляков Ю. А., Макаров Ю. В. Тепловая диагностика воспламенения водородовоздушной смеси за ударной волной // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2011. № 3. С. 4-9.
3. Болдырев Е. Н., Поляков Ю. А., Пузач С. В. Тонкоплёночный термосенсор как сигнализатор аварийной ситуации в электрохимических генераторах энергии // Технологии техносферной безопасности. Вып. 3 (61). 2015. С. 90-99. <http://academygps.ru/ttb>.
4. Беликов А. К., Поляков Ю. А., Бегишев И. Р. Оперативный метод предотвращения теплового взрыва в горючих смесях // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (62). 2013. С. 15-24. <http://academygps.ru/ttb>.

## References

1. Poljakov Ju. A. Analiz bystrodejstvija pljonochnogo termosensora pozharnogo naznachenija (The analysis of fast-acting of film termosensor fire purpose) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 1 (65). 2016. Pp. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Poljakov Ju. A., Makarov Ju. V. Teplovaja diagnostika vosplamenenija vodorodovozdushnoj smesi za udarnoj volnoj (Thermal diagnostics of ignition vodorodovozdushnoi mixture behind a shock wave) // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. 2011. № 3. Pp. 4-9.
3. Boldyrev E. N., Poljakov Ju. A., Puzach S. V. Tonkopljonochnyj termosensor kak signalizator avarijnoj situacii v jelektrohimeskih generatorah jenergii (Thin-film termoconverter as fire detector of emergency situation in electrochemical generator of energy) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 3 (61). 2015. Pp. 90-99. <http://academygps.ru/ttb>.
4. Belikov A. K., Poljakov Ju. A., Begishev I. R. Operativnyj metod predotvrashhenija teplovogo vzryva v gorjuchih smesjah (Operational method of prevention of heat explosion in gas mixtures) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 4 (62). 2013. Pp. 15-24. <http://academygps.ru/ttb>.