

БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СИГНАЛИЗАТОР ОБНАРУЖЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Представлены результаты разработки бифункционального сигнализатора обнаружения аварийной ситуации на основе пьезо- и термоэлементов. Сигнализатор по двум информационным признакам испытан в ударной трубе с целью оценки его чувствительности и быстродействия.

Ключевые слова: сферический пьезодатчик, тонкоплёночный терморезистор, быстродействие.

Yu.A. Polyakov, A.E. Ivanov

BIFUNCTIONAL ALARM DETECTOR OF EMERGENCIES

The results of the development of bifunctional alarm emergency detection based on piezoelectric and thermocouples are shown. Detector on two information signs was tested in a shock tube for the evaluation of its sensitivity and operating speed.

Key words: spherical piezoelectric transducer, a thin film thermistor, operating speed.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 14 марта 2017 г.

При разработке автоматических систем обнаружения аварийных ситуаций с использованием информационных технологий предпочтение отдаётся первичным чувствительным элементам сигнализаторов с высоким быстродействием.

Этому требованию отвечает пьезоэлектрический метод [1] и метод тонкоплёночной термометрии [2]. Датчики давления на основе пьезоэффекта позволяют регистрировать изменения давления с разрешающей способностью около 10^{-6} с. С другой стороны, тонкоплёночные терморезисторы обладают быстродействием порядка 10^{-6} с.

Сочетание этих качеств и послужило основанием для разработки комбинированного сигнализатора пожаровзрывных процессов.

Следует также отметить, что высокая чувствительность пьезоэристаллов и тонкоплёночных терморезисторов обуславливает их применение в качестве первичных преобразователей изменений давления и температуры в электрические импульсы в системах пожаровзрывобезопасности.

Бифункциональный датчик представляет собой полое сферическое тело (рис. 1) из пьезокерамики на основе титаната бария (BaTiO_3). На внутреннюю и наружную поверхности сферы нанесены металлические плёночные покрытия, являющиеся электродами пьезоэлектрического преобразователя давления. В отверстие сферы вклеивается втулка из стекла, на лицевой поверхности которой смонтирован тонкоплёночный терморезистор из платины.

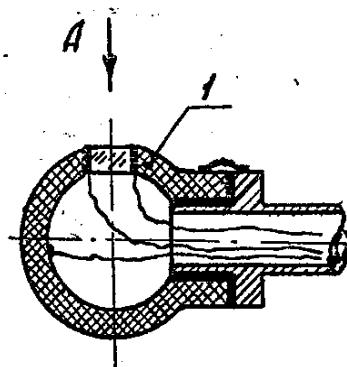


Рис. 1. Конструкция бифункционального сигнализатора:
1 – сферический пьезоэлемент
Стрелка А показывает направление действия физического параметра

Два канала с одновременной индикацией температурного импульса и импульса давления в газодинамическом потоке имеют высокую разрешающую способность (десятые доли микросекунды), что позволяет оперативно фиксировать появление ударной волны, фронта горения и воспламенения горючей газовой смеси, детонации и многих фронтальных явлений, связанных с одновременными, почти "мгновенными", скачками температуры и давления.

В случае индикации пожара вспышки в каналах с горючей смесью бифункциональный сигнализатор используется в качестве порогового датчика, являясь, по сути, датчиком времени возникновения скачкообразного изменения температуры контрольной поверхности, теплового потока или повышения давления газа.

Сочетание пьезоэлемента с тонкоплёночным терморезистором повышает надёжность извлекаемой информации при индикации вышеперечисленных факторов взрывопожарной опасности.

До настоящего времени для индикации давления за фронтом ударной или звуковой волны применяются пьезоприёмники направленного действия [3].

Но показания таких датчиков существенно зависят от угла, под которым чувствительный элемент встречает фронт ударной волны или горения. В условиях аварийных взрывопожарных ситуаций направление движения волны или другого фронтального воздействия не всегда заранее известно. В этом случае особое значение приобретают пьезоприёмники ненаправленного действия. Наибольший практический интерес представляют таковые со сферическими пьезоэлементами.

Если давление действует на поверхность тонкостенной сферы и толщина стенки выбрана достаточно малой, то можно пренебречь нормальными напряжениями в материале, то есть считать, что внешнее давление вызывает, главным образом, тангенциальные напряжения в каждой точке сечения сферы.

Отношение механического напряжения в сечении к давлению на поверхности сферы σ / p_0 называют коэффициентом трансформации K

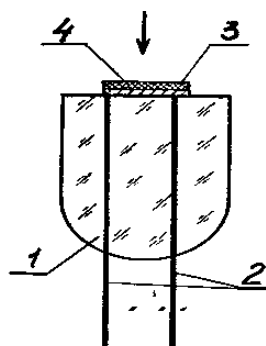
$$K = R/2a,$$

где a – толщина стенки,
 R – внешний радиус.

Пьезоэлектрические датчики в виде тонких оболочек из керамики титаната бария при поверхностном нанесении электродов позволяют получать хорошие характеристики направленности при высокой чувствительности и приемлемом внутреннем электрическом импедансе.

Термоприёмник представляет собой тонкоплёночный терморезистор из платины толщиной менее 0,1 мкм, сформированный на диэлектрической матрице размером 5×5 мм в виде цилиндра из стекла С90-1. Анализ быстродействия подобного плёночного датчика показал, что разрешающая способность его не превышает 1 мкс [4].

Применение тонкоплёночных терморезисторов с быстродействием на уровне 1 мкс позволяет создать пожаросигнальные устройства с оперативным отключением систем питания любого объекта с одновременным включением системы подавления возгорания или взрыва. Для исключения гальванического контакта со средой, а также для повышения механической прочности термочувствительный элемент покрывается тонким слоем диэлектрика (толщиной ~ 0,2 мкм) из диоксида кремния (рис. 2).



$$d_{\text{ч.э.}} \leq 0,1 \text{ мкм};$$

$$l_n \leq 0,25 \text{ мкм}$$

Рис. 2. Схема тонкоплёночного элемента на матрице:
 1 – матрица (подложка) из диэлектрика; 2 – электроды;
 3 – тонкоплёночный **чувствительный элемент (ЧЭ)**; 4 – покрытие

Сферический пьезоэлемент в сборке с плёночным терморезистором крепится на бронзовой трубке с использованием резиновой прокладки с целью защиты от внешних вибраций.

Разработанные и изготовленные быстродействующие бифункциональные сигнализаторы испытывались и отработывались на ударной трубе (рис. 3).

На рис. 4. представлена временная схема процессов, происходящих в ударной трубе после разрыва диафрагмы. Отмечены скачкообразные изменения давления и температуры газа за фронтом ударной волны [5].

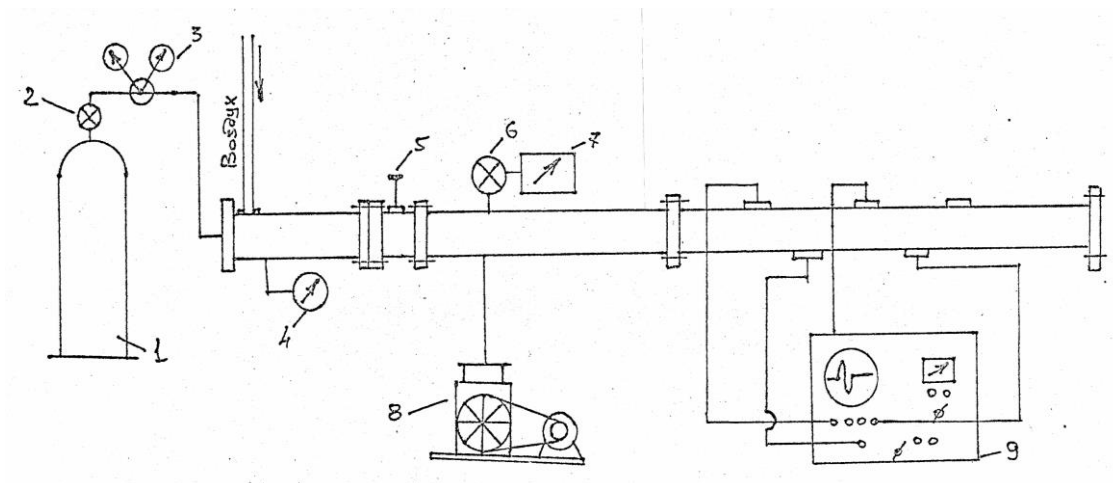


Рис. 3. Схема ударной трубы:

- 1 – баллон со сжатым воздухом; 2 – кран; 3 – редуктор; 4 – образцовый манометр;
 5 – боёк со спусковым крючком для разрыва диафрагмы; 6 – запорный кран;
 7 – вакуумметр; 8 – форвакуумный насос; 9 – осциллограф

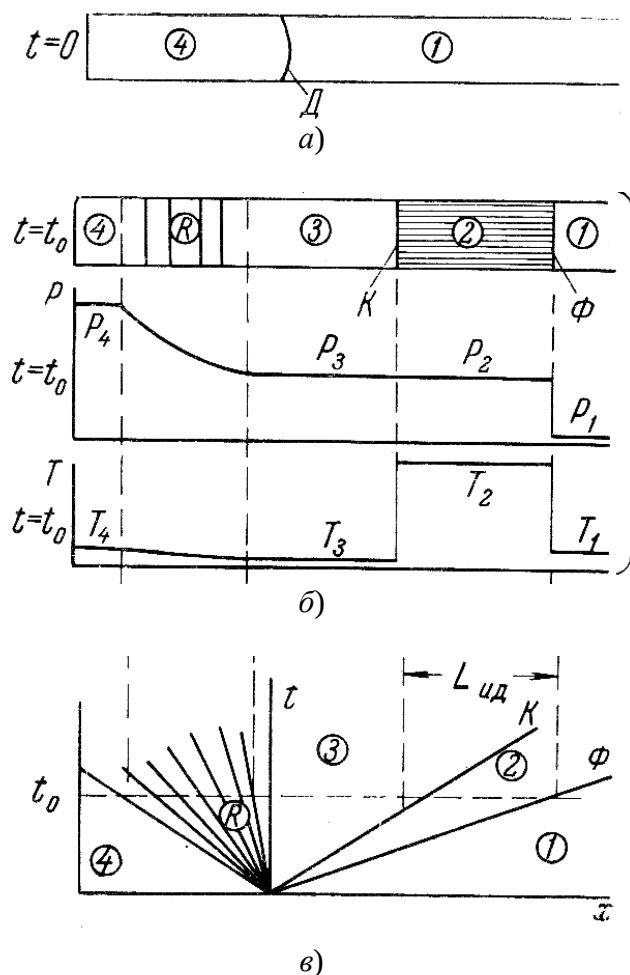


Рис. 4. Схема процессов в ударной трубе:

- а – перед началом опыта ($t = 0$); б – в момент времени $t = t_0$ (распределение давления и температуры в трубе); в – $(x - t)$ – диаграмма течения в ударной трубе;
 Д – диафрагма; Ф – фронт ударной волны; К – контактная поверхность;
 R – веер волн разрежения; $L_{ид}$ – длина горячей пробки

В ударной трубе камера высокого давления отделяется от камеры низкого давления мембраной; после разрыва мембраны возникают догоняющие друг друга волны сжатия, в результате чего возникает ударная волна, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью. За ударной волной образуется зона высокого давления и температуры. При этом температура и давление горячего газа за фронтом ударной волны повышаются скачкообразно.

Этот факт и служит для одновременной реакции пьезодатчика и плёночного терморезистора при оценке их дублирующего действия.

Ударная труба изготовлена из материала Х18Н10Т диаметром 100 мм и длиной 5 м с отшлифованной внутренней поверхностью, её составные части (камера высокого давления, камера низкого давления и опытный участок) крепятся друг к другу фланцами, снабжёнными резиновыми уплотнителями.

Камера высокого давления подсоединена к магистральному воздухопроводу и оборудована сварной заглушкой. Кроме того, существует подвод воздуха к камере высокого давления от воздушного баллона через редуктор.

Цель эксперимента: выявить быстроедействие бифункционального сигнализатора при индикации дублирующих импульсов пьезодатчика и плёночного терморезистора в период прохождения ударной волны.

При измерении давления использовался двухлучевой осциллограф с памятью С1-51; для измерения температурного импульса применялся универсальный осциллограф с памятью С8-13. Запуск лучей осциллографов в ждущем режиме осуществлялся от плоских пьезодатчиков давления.

Электронные схемы двух каналов были собраны в измерительном блоке, являющимся согласующим устройством для усиления сигналов термо- и пьезоэлементами бифункционального сигнализатора.

В результате серии опытов получена информация об одновременной индикации импульсов скачков давления и температуры при действии ударной волны практически в одной "точке" газодинамического потока [6].

В качестве примеров приведены типичные осциллограммы при невысоком значении числа M ударной волны с тем, чтобы оценить чувствительность бифункционального сигнализатора по давлению и температуре. Представленные импульсы температуры и давления получены при скорости ударной волны $V = 424,6$ м/с, при начальном давлении в камере низкого давления $p_1 = 35$ мм рт. ст. (рис. 5, 6).

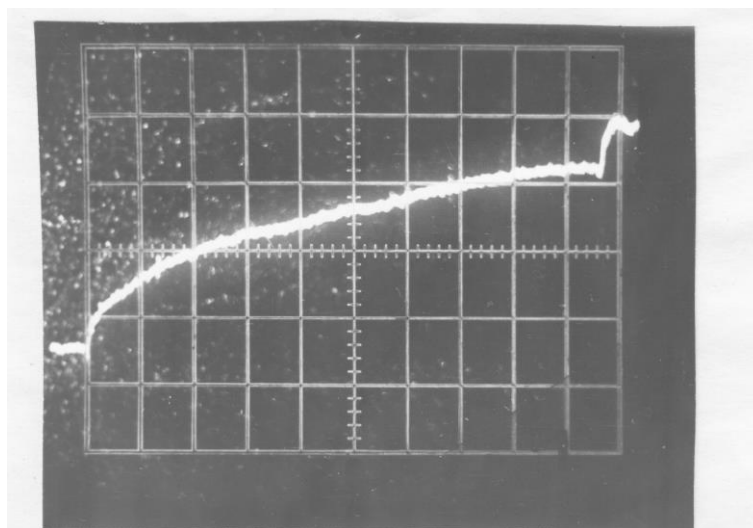


Рис. 5. Осциллограмма с тонкоплёночного терморезистора:
по оси ординат – $0,5 \text{ мВ/дел.}$; по оси абсцисс – $1,0 \text{ мс/дел.}$
(характеристики ЧЭ – плёнка платины: $d \sim 0,1 \text{ мкм}$, $R = 20 \text{ Ом}$)

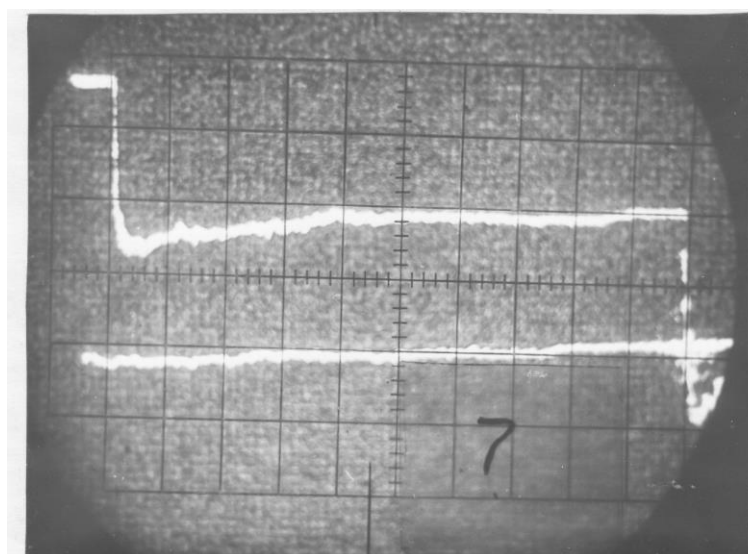


Рис. 6. Осциллограмма с пьезоэлемента (сфера):
по оси ординат – $1,0 \text{ мВ/дел.}$; по оси абсцисс – $1,0 \text{ мс/дел.}$

Анализ осциллограмм позволяет сделать выводы:

1. Начальный участок развёртки лучей до подхода ударной волны к сигнализатору на двух лучах, фиксирующих импульсы температуры и давления, составляет $\sim 8 \text{ мс}$, что говорит об одновременном отклике пьезоэлемента и терморезистора.
2. Судя по росту сигналов, быстродействие ЧЭ двух информационных каналов достаточно высокое (менее 1 мс) для командного импульса в системе пожаровзрывопределяющей автоматики.
3. Использование нескольких каналов обнаружения повышает достоверность информации.

Бифункциональный сигнализатор в качестве порогового датчика может быть использован как первичный индикатор обнаружения фронта горения, ударной волны, детонации, начала взрывной реакции горючих газовых смесей, "пожара-вспышки" и других скоротечных процессов импульсного характера в условиях аварийных ситуаций.

Литература

1. Солоухин Р.И. Импульсный пьезодатчик давления // Приборы и техника эксперимента. 1961. № 3. С. 569-572.
2. Поляков Ю.А., Митькина Е.А. Тонкоплёночный термометр сопротивления // Приборы и техника эксперимента. 1961. № 4. С. 140-142.
3. Пузач С.В., Поляков Ю.А. К вопросу построения системы раннего обнаружения пожара на основе импульсных датчиков давления // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. М., 2010. № 4. С. 23-29.
4. Поляков Ю.А. Анализ быстроедействия плёночного термосенсора пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (65). 2016. С. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
5. 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.
6. Датчик для измерения нестационарных давлений / Иванов А.Е., Поляков Ю.А., Чебуркин Н.В. и др. // Авторское свидетельство № 932311, опубл. 30.05.82, бюл. № 20.

References

1. Solouhin R.I. Impul'snyj p'ezodatchik davlenija (Piezoelectric sensor pulse pressure) // Pribory i tehnika jeksperimenta. 1961. No 3. Pp. 569-572.
2. Poljakov Ju.A., Mit'kina E.A. Tonkopljonochnyj termometr soprotivlenija (Thin-film resistance thermometer) // Pribory i tehnika jeksperimenta. 1961. No 4. Pp. 140-142.
3. Puzach S.V., Poljakov Ju.A. K voprosu postroenija sistemy rannego obnaruzhenija pozhara na osnove impul'snyh datchikov davlenija (To the question of constructing a system of early fire detection based on pulse pressure) // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. M., 2010. No 4. Pp. 23-29.
4. Poljakov Ju.A. Analiz bystrodejstvija pljonochnogo termosensora pozharnogo naznachenija (Analysis of the performance of film termosensor fire setting) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 1 (65). 2016. Pp. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
5. 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. No 3. Pp. 4-9.
6. Datchik dlja izmerenija nestacionarnyh davlenij (Sensor for measuring unsteady pressures) / Ivanov A.E., Poljakov Ju.A., Cheburkin N.V. i dr. // Avtorskoe svidetel'stvo No 932311, opubl. 30.05.82, bjul. No 20.