

ТОНКОПЛЁНОЧНЫЕ ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ ПОЖАРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Анализируются функциональные возможности применения тонкоплёночных терморезисторов в качестве быстродействующих сигнализаторов пожара или взрыва на энергетических объектах. Представлены оригинальные результаты применения их с целью раннего обнаружения и предотвращения аварийных ситуаций в ряде энергетических устройств.

Ключевые слова: тонкоплёночный терморезистор, быстродействие, авария.

Yu.A. Polyakov

THIN-FILM THERMISTORS FOR FIRE APPLICATION

The functionality of the application of thin-film thermistors as high-speed signaling a fire or explosion in energy facilities was analyzed. Presents original results of their application for early detection and prevention of emergency situations in a number of energy devices.

Key words: thin-film thermistor, operating speed, accident.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 15 февраля 2017 г.

Проблема оперативного обнаружения пожаров стоит в одном ряду с разработкой быстродействующих систем своевременного предупреждения и ликвидации ЧС. В этой связи ранняя диагностика состояния энергетических объектов и различного рода технологических процессов представляется одним из основных превентивных механизмов снижения рисков как при эксплуатации, так и при доводке критически важных объектов транспортного, энергетического и химического назначения.

В любой области деятельности человека, где есть опасность воспламенения или взрыва, огромную роль играют контроль и обнаружение предаварийной ситуации на ранней стадии развития быстропротекающего процесса.

В этой связи первой задачей информационных и сигнальных систем упреждающей диагностики является надёжное распознавание предпожарной ситуации и включение системы аварийной защиты.

В качестве контролируемых могут быть выбраны различные термодинамические или газодинамические факторы, такие как давление, температура, тепловой поток, концентрация газовой среды и т.п.

К методам обнаружения областей локального разогрева, предшествующих пожару, относится метод плёночной термометрии, обладающий высокой универсальностью для диагностики импульсных и быстропротекающих процессов во многих технических приложениях, таких как лазерная техника, двигателестроение, ударно-волновые процессы, энергетика и химическая технология [1, 2].

Плёночные термосенсоры могут быть применены в качестве датчиков времени – индикаторов фронта горения, начала воспламенения горючих смесей, ударных волн и детонационных явлений, начальной стадии пожара-вспышки, микровзрывов и взрывного самовоспламенения, а также резкого и внезапного повышения уровня теплового потока как конвективного, так и лучистого, при быстропротекающих химических реакциях в технических системах транспортного, энергетического и химико-технологического назначения.

В течение ряда лет авторами были разработаны научные основы метода плёночной термометрии, включая методическое, метрологическое и технологическое обеспечения, на базе которого создан комплекс малоинерционных термосенсоров различного функционального назначения, в том числе, для проблемы раннего обнаружения пожаровзрывоопасности в объектах энергетического и транспортного назначения [3].

Применение тонкоплёночных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов пожарной и аварийной автоматики открывает большие возможности для разработки многоканальных систем на основе технологии микроэлектроники.

Принцип работы плёночных терморезисторов основан на температурной зависимости их электрического сопротивления. Анализ перспектив применения различных методов обнаружения областей локального разогрева показывает, что предпочтение при выборе первичных преобразователей информации о нарушении температурного поля можно отдать тонкоплёночным терморезисторам.

Высокими метрологическими характеристиками (широкий диапазон измерения температур, линейность характеристики, значительная чувствительность) обладают терморезисторы на основе металлов.

К терморезисторам быстрого реагирования в настоящее время предъявляются новые требования, особенно к тем, которые используются в качестве пожарных сигнализаторов. Это – малая инерционность, долговременная стабильность метрологических характеристик, миниатюрность измерительной ячейки, большой ресурс и относительно невысокая стоимость.

В этой связи возникла необходимость разработки для нужд пожарного дела нового поколения терморезисторов, отвечающих всем этим требованиям, на основе плёночной технологии.

Оперативное предупреждение аварийной ситуации при эксплуатации потенциально опасных производств стимулирует разработку быстродействующих первичных преобразователей информации со временем разрешения порядка $10^{-6} \dots 10^{-7}$ с [4].

В качестве тревожной информации о начале взрывной реакции, воспламенении, распространении фронта горения или ударной волны и других физических аномалиях используется скачкообразное или спонтанное изменение температуры или потока энергии.

Применение тонкоплёночных терморезисторов на массивной подложке (матрице) позволяет создать сигнализаторы аварии с почти "мгновенным" отключением систем питания устройства или прекращением технологического процесса и одновременным включением системы подавления взрыва или возгорания.

Терморезистор представляет собой тонкоплёночный термометр сопротивления из плёнки платины толщиной не более 0,1 мкм, сформированный на массивной диэлектрической подложке из ситалла или стекла С90-1 (рис. 1).

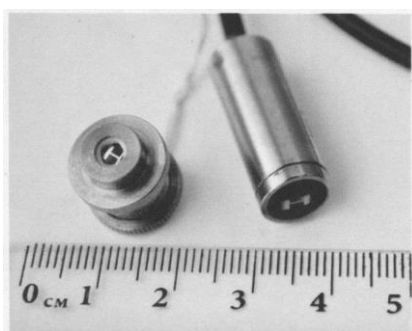


Рис. 1. Разнофункциональные тонкоплёночные терморезисторы

В зависимости от функциональных задач, на ЧЭ наносится тонкое защитное покрытие (обычно, слой диоксида кремния толщиной 0,2 мкм) или слой черни из висмута или платины.

Ниже будут проанализированы функциональные возможности применения плёночных терморезисторов для оперативного обнаружения и предупреждения пожаровзрывоопасности.

Быстродействующий способ предупреждения взрыва или детонации в дизелях-генераторах тепловозов и других транспортных средств

Анализ существующих систем пожарной сигнализации показывает, что с целью повышения надёжности и быстродействия необходимы качественно новые сигнализаторы аварийных ситуаций. Так, например, одним из главных источников аварий, взрывов и пожаров является дизель; он является основной ценностью тепловоза, поэтому для него необходима специальная автоматическая подсистема сверхраннего обнаружения и предупреждения о нарушении штатного режима его функционирования.

Наличие в картере двигателя большого количества смазочного масла и масляных паров, прорывающихся из камеры сгорания, разогретых до высоких температур газов и поступающего через неплотности корпуса картера воздуха, в случае попадания в картер открытого пламени из камеры сгорания при прогарах и трещинах в поршне, создаёт реальную опасность возникновения взрыва или пожара (рис. 2). [5].

Терморезисторы, применённые в автоматической системе пожаровзрывозащиты картеров дизель-генераторов локомотивов, за счёт снижения времени обнаружения аномальной ситуации, способствовали устранению взрывов в дизель-генераторах [6].

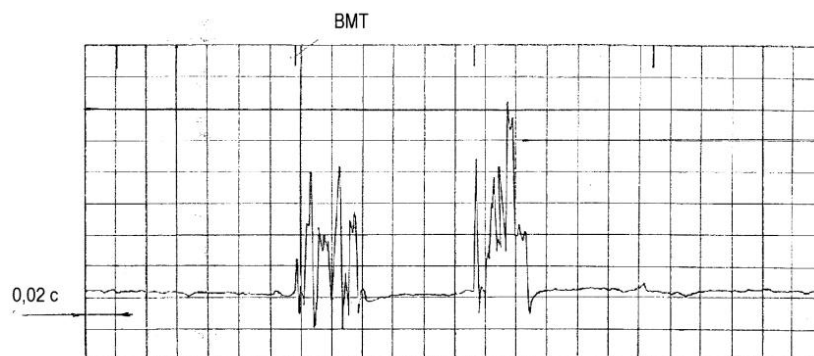


Рис. 2 . Термограмма регистрации процесса прорыва газов в картер двигателя (ВМТ – отметка верхней мёртвой точки)

Выполнен комплекс исследований в камерах дизелей по диагностике высокочастотных температурных пульсаций, вызывающих быстропеременные термические напряжения, которые приводят к разрушениям усталостного типа и (или) ускоряют коррозию поверхности камер сгорания (рис. 3).

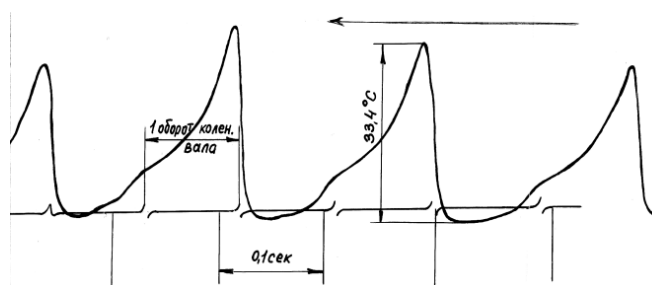


Рис. 3. Осциллограмма пульсаций температуры поверхности головки цилиндра двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ ($n = 1300$ об./мин.; $N_e = 10$ л.с.). Штатный режим. Опыты проводились на стенде МАДИ

Даны результаты опытов по обнаружению вибрационного горения; предложены меры по блокированию реакций, приводящих к детонации ("стуку") в цилиндре двигателя (рис. 4). Опыты проводились на стендах МГТУ им. Баумана.

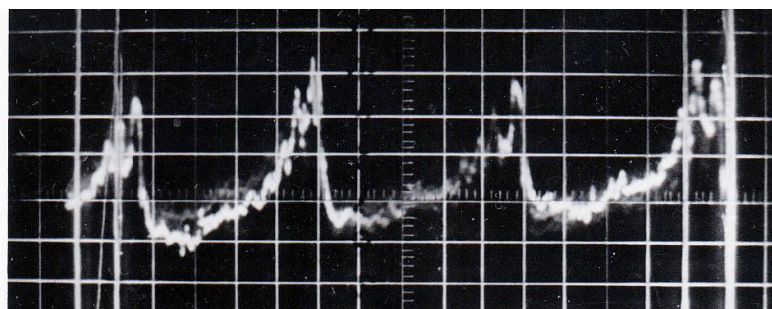


Рис. 4. Вибрационное горение (стук) (дизель 14-8,5/11, $n = 2300$ об./мин.)

Плёночный термосенсор-сигнализатор микровзрывов в топливном блоке электрохимического генератора энергии (ЭХГ)

В топливных элементах в качестве химических реагентов обычно применяются горючие газы (H_2 , O_2 и др.). При нештатном смешении реагирующих компонентов, в случае, например, разгерметизации полукорпусов ЭХГ, возникает вероятность возникновения микровзрыва в поровой зоне. Эксперименты на натурных объектах подтвердили реальную возможность оперативного применения тонкоплёночных сигнализаторов аварийной ситуации в топливных элементах [7].

При этом первичным сигналом "авария" служит фронт горения, возникающий в результате микровзрыва в рабочей зоне энергоустройства, например, в автономных системах типа ЭХГ (рис. 5).

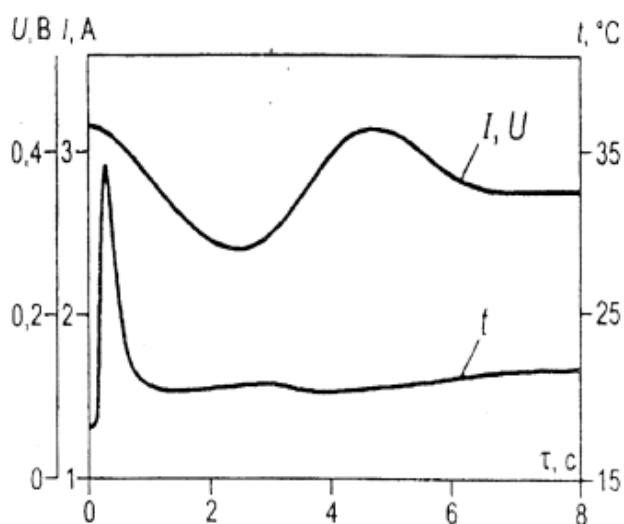


Рис. 5. Зависимости тока, напряжения и температурного сигнала терморезистора от времени при микровзрыве

Задержка теплового сигнала, по отношению к началу изменений тока и напряжения, не превышает 20 мкс.

Разработанный метод ранней упреждающей сигнализации и быстродействующие тонкоплёночные терморезисторы, безусловно, могут быть применены для безинерционной сигнализации аварийной пожаровзрывоопасной ситуации в автономных энергообъектах, использующих в качестве рабочих реагентов и другие горючие газы (рис. 6).

Обоснована эффективность применения плёночных терморезисторов при непрерывном температурном мониторинге в автономных энергообъектах.

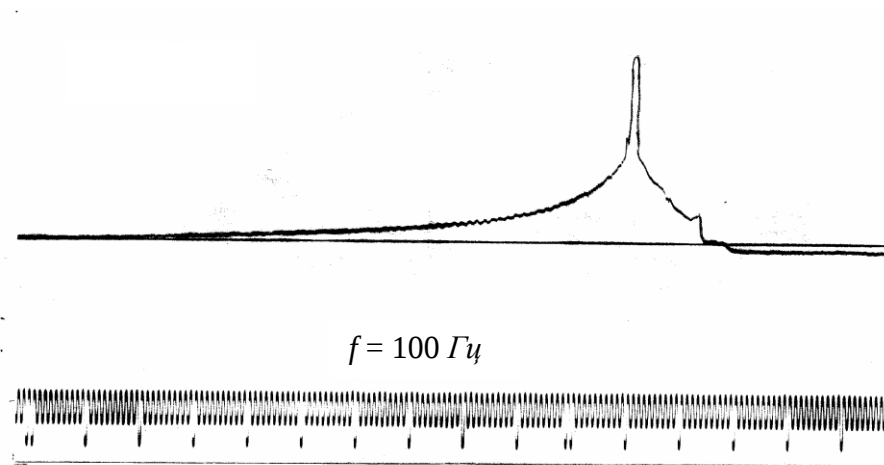


Рис. 6. Динамика взрывного воспламенения ацетилено-воздушной смеси

Оперативный метод предотвращения фототеплового взрыва на основе малоинерционного терморезистора

Отсутствие способов и систем пожаровзрывозащиты технологического оборудования при фотолизе стимулирует разработку автоматических быстродействующих устройств предотвращения развития аварийной ситуации в фото-реакторах или радиационных установках.

При облучении реакционной смеси светом или радиацией в системе образуются высокоэнергичные частицы – радикалы и реакция развивается по радикально-цепному механизму.

В результате роста температуры скорость реакции увеличивается и, в конечном итоге, может достигнуть очень высоких значений, вызывающих тепловое воспламенение или тепловой взрыв смеси.

На основе применения пристеночного тонкоплёночного терморезистора в качестве датчика теплового потока экспериментально определена реакционная зона при распространении фронта горения горючей смеси (рис. 7).

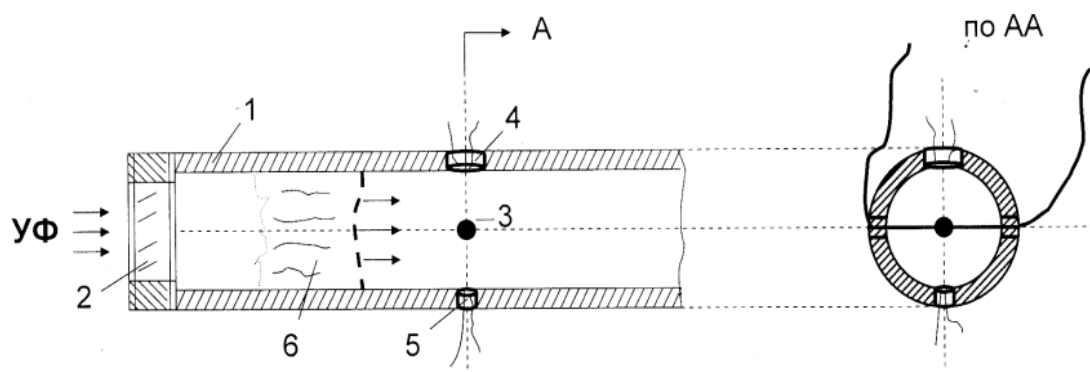


Рис. 7. Измерительная секция с датчиками:

- 1 – канал; 2 – кварцевое окно; 3 – микротермопара;
4 – фотодатчик; 5 – терморезистор; 6 – реакционная зона

Предложен метод предотвращения фототеплового взрыва на основе тонкоплёночного термосенсора пристеночного типа путём оперативного отключения источника излучения по сигналу термосенсора. Блок-схема автоматического устройства оперативного отключения источника излучения по командному импульсу терморезистора приведена на рис. 8.

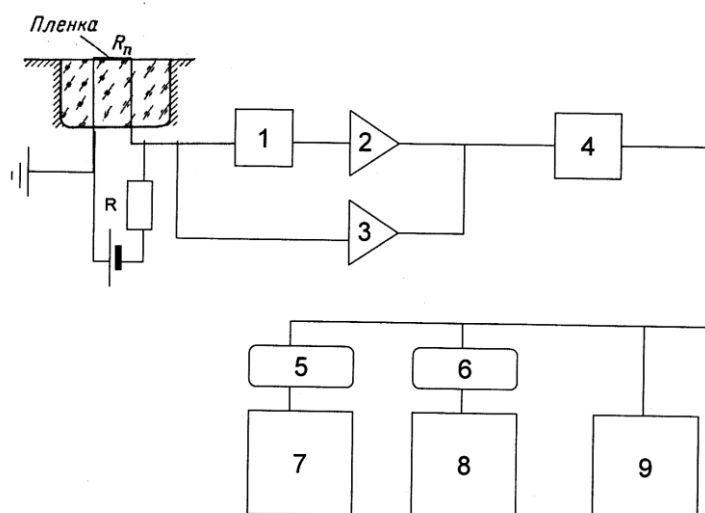


Рис. 8. Блок-схема автоматического устройства оперативного отключения источника излучения с использованием терморезистора:

- 1 – операционный дифференциатор; 2, 3 – усилители; 4 – компаратор;
5, 6 – согласующие устройства; 7 – блок отключения питания источника излучения;
8 – блок отключения сенсора; 9 – блок сигнализации

Предложенный вариант оперативного обнаружения и предупреждения развития взрывного процесса имеет качественные преимущества, по сравнению с известными способами взрывозащиты технологического оборудования. В реакционный канал нет необходимости вводить огнетушащее вещество [8].

Появление микропроцессорных средств обработки информации и микро-мощных элементов полупроводниковой памяти позволяет создать интеллектуальные сенсоры индикации контролируемых параметров на длительном интервале времени мониторинга среды или критически опасного объекта.

В настоящее время нет единого координирующего центра по проблеме сверхраннего обнаружения и предупреждения скоротечных пожаро-взрывных процессов в потенциально опасных объектах энергетики; нет нормативных документов. Основой для последних должны быть созданы общая теория проектирования сенсоров и комплекс руководящих материалов для *разработчиков, изготовителей и потребителей* микроэлектронных сенсоров пожарного назначения и систем сверхраннего обнаружения и предупреждения пожаро-взрывоопасности на их основе.

Литература

1. Поляков Ю. А. Применение плёночных датчиков для изучения теплообмена в диссоциированном потоке газа // Физическая газодинамика: теплообмен и термодинамика газов высоких температур: сб. научн. трудов. М.: изд-во АН СССР, 1962. С. 251-260.
2. Поляков Ю. А. К вопросу определения постоянной времени теплопроводности плёночных термодатчиков // Теплофизика высоких температур. М.: изд-во АН СССР, 1968. № 1. С. 199-202.
3. Поляков Ю. А. Тонкоплёночная сенсорика в системах раннего обнаружения признаков предпожарных ситуаций (опыт разработки и перспективы) // Матер. 20-й науч.-техн. конф. "Системы безопасности – 2011". М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. С. 239-242.
4. Поляков Ю. А. Анализ быстродействия плёночного термосенсора пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (65). 2016. С. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
5. Поляков Ю. А., Сазонов Ю. И. Скоростная индикация детонационных явлений в двигателях внутреннего сгорания // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2011. № 4. С. 11-15.
6. Поляков Ю. А. О повышении быстродействия систем автоматической аварийной сигнализации тепловозных дизель-генераторов // Технологии техносферной безопасности. Вып. 2 (66). 2016. С. 26-34. <http://academygps.ru/ttb>.
7. 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>.
8. Поляков Ю.А., Бегисhev И.Р., Беликов А.К. Быстродействующий способ предотвращения фототеплового воспламенения в газовых смесях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 4. С. 51-61.

References

1. Poljakov Ju. A. Primenenie pljonochnyh datchikov dlja izuchenija teploobmena v dissocirovannom potoke gaza (Application of film sensors for the study of heat transfer in dissociated gas flow) // Fizicheskaja gazodinamika: teploobmen i termodinamika gazov vysokih temperatur: sb. nauchn. trudov. M.: izd-vo AN SSSR, 1962. Pp. 251-260.
2. Poljakov Ju. A. K voprosu opredelenija postojannoj vremeni teploprovodnosti pljonochnyh termoprijomnikov (The determination of the time constant of heat conduction film termostats) // Teplofizika vysokih temperatur. M.: izd-vo AN SSSR, 1968. No 1. S. 199-202.
3. Poljakov Ju. A. Tonkopljonochnaja sensorika v sistemah rannego obnaruzhenija pri-znakov predpozharных ситуаций (opyt razrabotki i perspektivy) (Thin-film sensor systems for the early detection of signs before fire situations. Experience of developing and prospects) // Mater. 20-j nauch.-tehn. konf. "Sistemy bezopasnosti – 2011". M.: Akademija GPS MChS Rossii, 2011. Pp. 239-242.
4. Poljakov Ju. A. Analiz bystrodejstvija pljonochного термосенсора požarnого назначения (The analysis of fast-acting of film termostensor fire purpose) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 1 (65). 2016. Pp. 89-97. <http://academygps.ru/ttb>.
5. Poljakov Ju. A., Sazonov Ju. I. Skorostnaja indikacija detonacionnyh javlenij v dvigateljah vnutrennego sgoranija (Speed indication of detonation phenomena in internal combustion engines) // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. 2011. No 4. Pp. 11-15.
6. Poljakov Ju. A. O povyshenii bystrodejstvija sistem avtomaticheskoy avarijnoj signalizacii teplovoznых дизель-генераторов (About increasing the operating speed of automatic alarm systems of locomotive diesel generators) // Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 2 (66). 2016. Pp. 26-34. <http://academygps.ru/ttb>.
7. Boldyrev E. N., Poljakov Ju. A., Puzach S. V. Tonkopljonochnyj termosensor kak signalizator avarijnoj situacii v jelektrohimicheskikh generatorah jenerгии (Thin-film thermoconverter 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>.
8. Poljakov Ju.A., Begishev I.R., Belikov A.K. Bystrodejstvujushhij sposob predotvrashhenija fototeploвого воспламенения v gazovyh smesjah (Fast way to prevent footerlogo ignition in gas mixtures) // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashhenie, likvidacija. 2016. No 4. S. 51-61.