

**В. И. ЗЫКОВ**, д-р техн. наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, профессор кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: zikov01@mail.ru)

**Ю. А. ПОЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: polyakov-1930@mail.ru)

**В. И. ФОМИН**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной автоматики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: kafedra-pa@yandex.ru)

УДК 614.844.2

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПЛЕНОЧНОГО ТЕРМОСЕНСОРА В СИСТЕМАХ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Освещены вопросы применения тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов в системах пожарной сигнализации. Представлены результаты экспериментального определения быстродействия пленочного термосенсора. Предложен оптический стенд с модулятором высокой скорости. В результате сравнительных опытов установлена высокая разрешающая способность пленочного термосенсора и фотодиода и практически полное совпадение их откликов по времени. Показано, что пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс способны выполнять функцию сверхраннего обнаружения пожара или взрыва на различных потенциально опасных объектах.

**Ключевые слова:** пленочный термосенсор; быстродействие; оптический стенд; модулятор; фотодиод; пожарная сигнализация; пожаровзрывобезопасность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44

Применение тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов противопожарной и аварийной автоматики открывает большие возможности для разработки многоканальных систем на основе технологии микроэлектроники [1].

Тонкопленочные термосенсоры на массивной матрице (подложке) сочетают в себе функции порогового датчика и измерительного преобразователя, функционирующего в режиме тепlopленгатора. Выполняя функции порогового датчика, тонкопленочный термосенсор является, по сути, датчиком времени (сигнальным сенсором), который в качестве тревожной информации использует скачкообразное изменение температуры контрольной поверхности или теплового потока [2, 3]. В качестве тепlopленгатора динамики быстропротекающих процессов пленочные термосенсоры позволяют, помимо обнаружения факта наличия «аварийной» ситуации (пожар-вспышка, фронт горения, ударная волна, детонация, начало взрывной реакции горючей смеси и т. д.), осуществлять мониторинг технологического режима, определять степень опасности и динамику развития аномального процесса, отслеживать тепловое

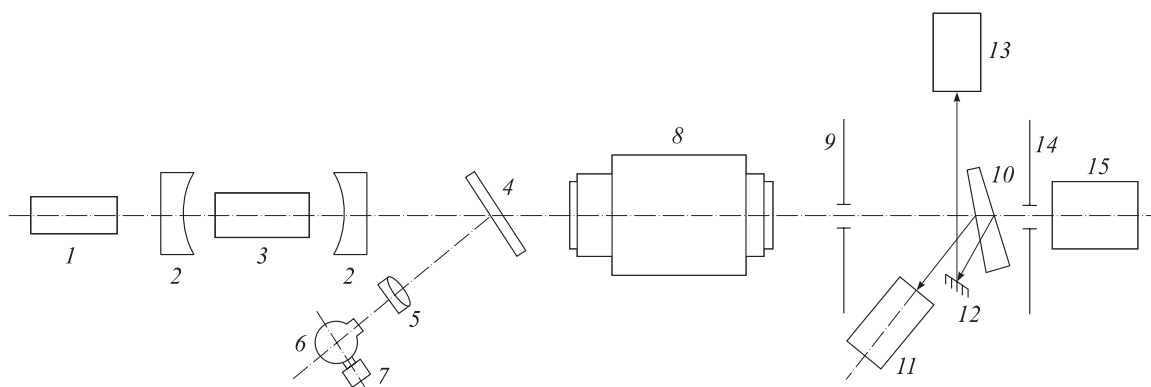
состояние технических объектов и окружающей среды.

Применение тонкопленочных термосенсоров с быстродействием на уровне  $10^{-6}$  с дает возможность создать системы пожарной сигнализации практически с мгновенным отключением систем питания любого устройства и одновременным включением системы подавления возгорания или взрыва [4].

Конструктивно термосенсор представляет собой тонкопленочный термометр сопротивления, изготовленный обычно из платины толщиной менее 0,1 мкм и сформированный на массивной диэлектрической матрице (подложке) из ситалла или стекла марки С90-1 (рис. 1). В зависимости от функциональных



**Рис. 1.** Внешний вид пленочного термосенсора в корпусе



**Рис. 2.** Блок-схема измерительного оптического стенда: 1 — юстировочный лазер ЛГ-55; 2 — резонатор в выносных держателях; 3 — ОКГ ГОС-30М; 4 — пластина; 5 — линза; 6 — светомерный шар; 7 — фотодиод ФД9Э111А; 8 — вакуумный модулятор; 9 — диафрагма; 10 — клин; 11 — калориметр; 12 — зеркало; 13 — фотодатчик; 14 — калиброванное отверстие; 15 — тонкопленочный термосенсор

задач на чувствительную пленку наносится тонкое защитное покрытие из диоксида кремния толщиной 0,2–0,3 мкм или слой зачернения из платины или висмута.

Экспериментальные исследования динамических характеристик пленочных термосенсоров проводились на оптическом стенде, созданном на базе оптического квантового генератора (ОКГ) типа ГОС-30М, имеющего длину волны излучения 1,06 мкм. Специальный вакуумный модулятор обеспечивал получение прямоугольных импульсов облучения с фронтом порядка  $10^{-6}$  с и длительностью от 50 до 110 мкс. В качестве модулирующего элемента был использован вращающийся металлический диск с щелью, пропускающей только часть импульса генерации [5–7].

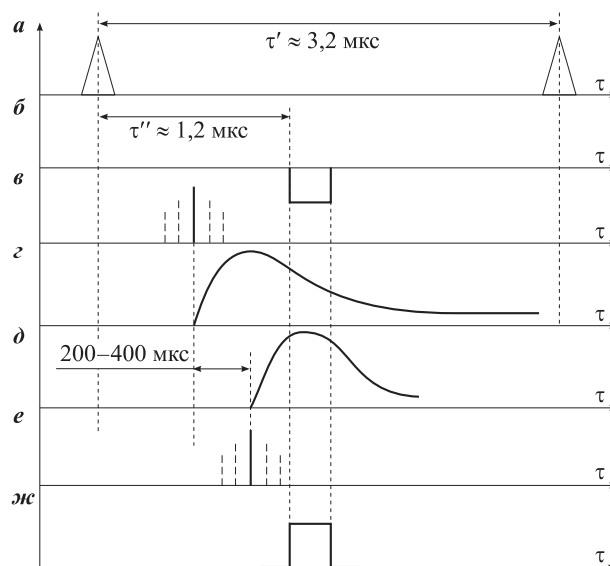
Для подавления механических колебаний оптической скамьи при высоких скоростях вращения в свободной атмосфере в модуляторе был применен мотор типа ДИД-2ТА, работающий в форсированном режиме при  $p = 1$  мм рт. ст. Это позволило получить линейную скорость диска на уровне оптической оси порядка  $1,8 \cdot 10^3$  м/с. Запуск генератора осуществлялся от фотодиода, с которого снимался импульс во время его прохождения через щель шириной порядка 1 мм во вращающемся диске.

Разработанная схема синхронизации процесса обеспечивала строгое повторение импульсов с передними фронтами не более  $2 \cdot 10^{-6}$  с. Вся система генерации отработывалась на стабильность и идентичность повторяемости серии последовательных импульсов от опыта к опыту. В результате удалось добиться весьма строгого повторения импульсов как по длительности, так и по амплитуде. Эти мероприятия повышали достоверность получаемой информации при исследовании динамических свойств пленочных термосенсоров быстрого реагирования.

Блок-схема измерительного стенда с использованием оптического квантового генератора и вакуумного модулятора представлена на рис. 2. В состав блок-схемы входят: лазер типа ЛГ-55, резонатор в выносных держателях, оптический квантовый генератор типа ГОС-30М, светомерный шар, вакуумный модулятор, калориметр и тонкопленочный термосенсор.

За клином 10 размещалась диафрагма с калиброванным отверстием 14 диаметром  $d = (3,89 \pm 0,01)$  мм и площадью  $S = 11,88$  мм<sup>2</sup>. Это позволило максимально уменьшить влияние неравномерности поля облучения лазером.

На рис. 3 представлена временная последовательность образования прямоугольного импульса



**Рис. 3.** Временная последовательность образования прямоугольного импульса излучения: а — импульсы фотодиода модулятора; б — время подхода выреза диска; в — импульс на запуск ГОС-30М; г — импульс накачки; д — импульс генерации; е — импульс запуска осциллографа; жс — вырезанный импульс

излучения, начиная с периодически действующих импульсов фотодиода модулятора. Электронная система модулятора давала возможность изменять как длительность вырезаемого прямоугольного импульса, так и его амплитуду.

Регистрация сигнала термосенсора проводилась на экране двухлучевого осциллографа, на второй луч которого одновременно подавался импульс с фотодиода типа ФД9Э111А. Учитывая, что быстродействие фотодатчика составляет  $10^{-8}$  с, его сигнал принимали за базовый, относительно которого оценивали быстродействие и тепловое запаздывание термосенсора.

Для того чтобы обеспечить поверхностное поглощение радиации при облучении образцов импульсом света на длине волны  $\lambda = 1,06$  мкм, термосенсоры с покрытием или изоляцией запялялись с приемной стороны сверхтонким слоем металла (алюминий) толщиной около 0,04 мкм [6, 7]. Малая глубина скин-слоя в алюминии должна исключить объемное поглощение радиации в покрытии.

Глубина скин-слоя в соответствии с формулой нормального скин-эффекта при данной длине волны падающего электромагнитного излучения составляет 0,03 мкм. При проведении прямого эксперимента на фотодиод наносилась платиновая пленка толщиной около 40 нм, после чего он облучался импульсом когерентного света с длиной волны 1,06 мкм. В ходе эксперимента сигнал от фотодиода, экранированного тонкой пленкой платины, не наблюдался.

Следовательно, поскольку диссипация энергии излучения, обусловленная процессами преобразования энергии в тепло, происходит в слое экранирующей пленки толщиной менее 30 нм, а времена релаксации электромагнитной энергии в металле лежат в пределах  $10^{-10}$ – $10^{-11}$  с, можно считать, что внутри скин-слоя превращение энергии облучения в тепло происходит практически мгновенно.

Оценка разрешающей способности тонкопленочного термосенсора может быть выполнена путем сравнения хронологии термограмм с высокочастотными пульсациями излучения оптического квантового генератора, регистрируемыми фотодиодом внутри выделяемого модулятором импульса. Отмечено, что пленочный термосенсор фиксирует тонкую структуру флуктуаций излучения [8–10].

Привязка к общему началу взаимодействия и привлечение более коротких разверток позволили обнаружить почти полное совпадение по времени откликов термосенсора и фотодиода. Так, на рис. 4 представлены импульсы фотодиода и пленочного термосенсора, вырезанные модулятором (при длительности строба 78 мкс). Отсюда можно установить, что быстродействие пленочного термосенсора составляет, по крайней мере, не более 2 мкс

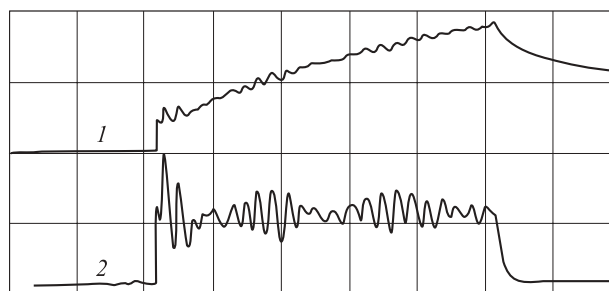


Рис. 4. Импульсы фотодиода и пленочного термосенсора, вырезанные модулятором (длительность строба 78 мкс): 1 — сигнал термосенсора; 2 — сигнал фотодиода

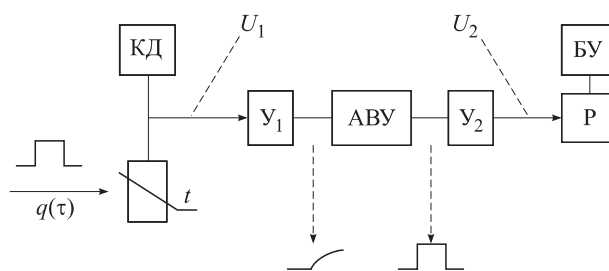


Рис. 5. Структурная схема преобразования импульса температуры термосенсора в тепловой поток: КД — блок коррекции датчика; БУ — блок управления; Р — регистратор (осциллограф);  $U_1, U_2$  — усилители;  $U_1, U_2$  — точки измерения напряжения;  $q(\tau)$  — тепловой поток

(см. рис. 4, начальные выбеги фотодиода и термосенсора).

Чувствительный элемент термосенсора синхронно с фотодиодом отображает пиковую структуру излучения. Практически полное совпадение фронтов датчиков говорит о высокой разрешающей способности термосенсора.

Оценка теплового запаздывания проводилась с применением быстродействующего аналого-вычислительного устройства (АВУ), обеспечивающего преобразование импульса температуры термосенсора в сигнал, пропорциональный воспринимаемому тепловому потоку.

Структурная схема преобразования импульса температуры термосенсора в тепловой поток с использованием АВУ представлена на рис. 5.

Сигнал с термосенсора, облучаемого лазерным импульсом, усиливался и подавался на вход АВУ, который преобразовывал температурный импульс в тепловой поток. После преобразования регистрация временного характера плотности потока энергии проводилась с помощью регистратора (двухлучевого осциллографа). Одновременно на второй луч осциллографа подавался сигнал с фотодиода типа ФД9Э111А (рис. 6).

Быстродействие термосенсора вместе с аналоговым преобразователем, как видно из осциллограммы, составляет единицы микросекунд. При этом ампли-

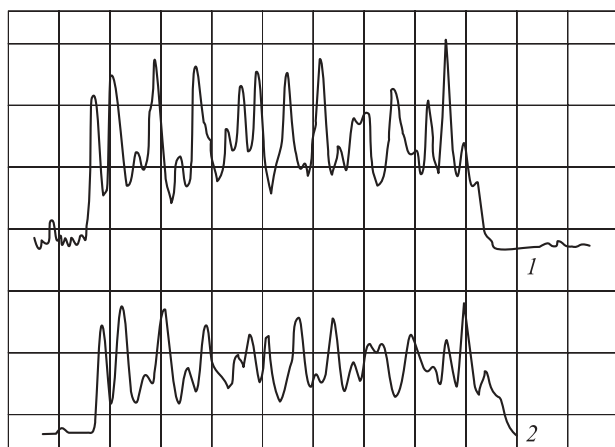


Рис. 6. Осциллограммы импульсов термосенсора (1) и фотодиода ФД9Э111А (2) (длительность импульса 78 мкс)

тудно-фазовые частотные характеристики измерительного канала практически не искажаются.

Таким образом, можно сделать однозначный вывод, что пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс вполне способны выполнять пожаровзрывопредупредительную функцию сигнализатора аварийной ситуации на различных потенциально опасных объектах.

Областью применения тонкопленочных термосенсоров являются потенциально опасные объекты энергетического, транспортного и химико-технологического назначения, где нештатные процессы могут привести к аварийной ситуации.

Выполняя функции пороговых быстродействующих сигнализаторов, тонкопленочные термосенсоры могут служить индикаторами фронта горения, воспламенения горючих смесей, ударных волн и детонационных явлений, взрывного самовоспламенения при эндогенных пожарах, а также выступать как малоинерционные извещатели при внезапном повышении уровня теплового потока в камерах сгорания и в различных технологических процессах.

Очевидным является теоретическое, метрологическое и технологическое обеспечение этого класса пожаровзрывосигнализаторов. Для разработки нормативных документов должны быть созданы общая теория проектирования тонкопленочных термосенсоров и комплекс руководящих материалов для разработчиков, изготовителей и потребителей таких термосенсоров и систем пожаровзрывобезопасности на их основе.

Применение тонкопленочных термометров сопротивления в качестве первичных быстродействующих сигнализаторов можно будет использовать в системах радиоканального мониторинга пожаровзрывобезопасности на потенциально опасных объектах [11, 12]. При этом будет обеспечена возможность передачи тревожных сообщений непосредственно диспетчеру пожарно-спасательной части, что позволит оперативно принимать решение о высылке сил и средств непосредственно на место пожара или взрыва [13, 14].

### Выводы

1. Сравнительные опыты, проведенные с пленочным термосенсором и фотодиодом, показали их высокую разрешающую способность и практически полное совпадение по времени их откликов.

2. Пленочные термосенсоры с временным откликом менее 1 мкс способны выполнять функцию сверхраннего обнаружения пожара или взрыва на различных потенциально опасных объектах.

3. Системы раннего обнаружения пожара или взрыва позволят радикально изменить существующую в стране ситуацию по защите людей и объектов от огня и аварий.

\*\*\*

*Авторы статьи выражают свою благодарность инженеру В. И. Сафронову, принимавшему активное участие в разработке оптического стенда.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий Л. А., Степанов Б. М. Фотометрия быстропротекающих процессов : справочник. — М. : Машиностроение, 1983. — 296 с.
2. Жучков В. В., Пузач С. В., Поляков Ю. А. Детектирующая способность пленочных термосенсоров пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2013. — Вып. 2(48). — 5 с. URL: <http://academygps.ru/img/UNK/asis/ttb/2013-2/27-02-13.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
3. Федоров А. В., Буцынская Т. А. Раннее обнаружение пожара техническими средствами пожарной сигнализации // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2009. — Вып. 1(23). — 5 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/05-01-09.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
4. Deming J. L., Weber J. H., Tao L. C. Ignition of exothermic solid-phase reactions by a laser pulse // Combustion and Flame. — 1970. — Vol. 14, No. 3. — P. 375–380. DOI: 10.1016/s0010-2180(70)80051-7.
5. Углов А. А., Смуров И. Ю. Моделирование теплофизических процессов импульсного лазерного воздействия на металлы. — М. : Наука, 1991. — 278 с.
6. Harrach R. J. Estimates of the ignition of high-explosives by laser pulses // Journal of Applied Physics. — 1976. — Vol. 47, No. 6. — P. 2473–2482. DOI: 10.1063/1.322961.

7. Хирд Г. Измерение лазерных параметров / Пер. с англ. — М. : Мир, 1970. — 540 с.
8. Коньков А. А. Вихревая механика и физическая газодинамика. — М. : Изд-во “Альтаир”, 2004. — 205 с.
9. Симиу Э. Хаотические переходы в детерминированных и стохастических системах / Пер. с англ. — М. : Физматлит, 2007. — 208 р.
10. Вертячих И. М., Волков Ю. А., Жукалов В. И. О возможности применения термочувствительного элемента на основе активных полимерных материалов в аналоговом тепловом пожарном извещателе // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2015. — № 1. — С. 35–40.
11. Поляков Ю. А. Анализ быстродействия пленочного термосенсора пожарного назначения // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2016. — Вып. 1(65). — 9 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/09-01-16.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
12. Шаровар Ф. И. О технологиях гарантированного предотвращения пожаров // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2015. — Вып. 5(63). — 8 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/21-05-15.ttb.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
13. Зыков В. И., Кокшин В. В., Кривошонок В. В. История создания и совершенствования беспроводных систем мониторинга : монография / Под общ. ред. В. И. Зыкова. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. — 160 с.
14. Yoshikawa Noriaki, Nomura Takuya. On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band // IEEE Transactions on Vehicular Technology. — 1976. — Vol. 25, No. 3. — P. 57–67. DOI: 10.1109/t-vt.1976.23620.

*Материал поступил в редакцию 25 января 2017 г.*

**Для цитирования:** Зыков В. И., Поляков Ю. А., Фомин В. И. Экспериментальное определение быстродействия пленочного термосенсора в системах пожарной сигнализации // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 3. — С. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44.

English

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF PERFORMANCE OF PLANETMASTER IN FIRE ALARM SYSTEMS

**ZYKOV V. I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Russian Government in the Field of Science and Technology, Professor of Department of Electrical Engineering Automation and Communications Systems, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: zykov01@mail.ru)

**POLYAKOV Yu. A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the Russian Government in the Field of Science and Technology, Professor of Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: polyakov-1930@mail.ru)

**FOMIN V. I.**, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Fire Automatics Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: kafedra-pa@yandex.ru)

### ABSTRACT

An early detection and rapid transmission of the message about a fire plays an important role in reducing the severity of the consequences from fires, which ensures the timely adoption of measures for its liquidation. Thus, the purpose of this article is to review issues of applying thin-film resistance thermometers as the primary high-speed detectors in fire alarm systems. This opens up great opportunities for the development of multiband systems based on microelectronics technology.

Thin film thermosensors on a massive substrate combine the functions of a threshold sensor as well as a measuring transmitter operating in the thermal finder mode. As a threshold sensor, the thin-film thermosensor is, in fact, a time sensor (signal sensor) when the abrupt change in the temperature of the control surface or the heat flow is used as the alarm information. As the thermal finder of fast processes, film thermosensors allow, in addition to detection of existence of “emergency” situations

(fire-flash, the combustion front, shock wave, detonation, the beginning of explosive reaction of gas mixture, etc.), to monitor process conditions, to determine the degree of risk and the dynamics of the anomalous process, to monitor the thermal state of technical objects and the environment.

The results of the conducted field tests using a specially designed optical stand allowed us to make an unambiguous conclusion about that film thermosensors, with a time response less than one microsecond, can perform the function of a very early detection of fire or explosion on various potentially dangerous objects.

Thus, the use of film thermosensors in radio systems for early detection of fire and other emergencies, will allow radically change the existing situation for the protection of people and objects from fire and accidents.

**Keywords:** film thermosensor; fast acting; optical stand; modulator; photodiode; fire alarm; fire and explosion safety.

## REFERENCES

1. Novitskiy L. A., Stepanov B. M. *Photometry of fast processes. Reference guide*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1983. 296 p. (in Russian).
2. Zhuchkov V. V., Puzach S. V., Polyakov Yu. A. The detection capacity of film thermosensors of fire the purpose. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2013, issue 2(48). 5 p. (in Russian). Available at: <http://academygps.ru/img/UNK/asit/ttb/2013-2/27-02-13.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
3. Fedorov A. V., Butcinskaya T. A. Early detection of a fire by means of the fire alarm system. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2009, issue 1(23). 5 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-1/05-01-09.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
4. Deming J. L., Weber J. H., Tao L. C. Ignition of exothermic solid-phase reactions by a laser pulse. *Combustion and Flame*, 1970, vol. 14, no. 3, pp. 375–380. DOI: 10.1016/s0010-2180(70)80051-7.
5. Uglov A. A., Smurov I. Yu. *Simulation of thermal processes of pulsed laser action on metals*. Moscow, Nauka Publ., 1991. 278 p. (in Russian).
6. Harrach R. J. Estimates of the ignition of high-explosives by laser pulses. *Journal of Applied Physics*, 1976, vol. 47, no. 6, pp. 2473–2482. DOI: 10.1063/1.322961.
7. Heard H. G. *Laser parameter measurements handbook*. New York–London–Sydney, John Wiley & Sons, Inc., 1968 (Russ. ed.: Khird G. Izmereniye lazernykh parametrov. Moscow, Mir Publ., 1970. 540 p.).
8. Konkov A. A. *Vortex mechanics and physical gasdynamics*. Moscow, Publishing house Altair, 2004. 205 p. (in Russian).
9. Simiu E. *Chaotic transitions in deterministic and stochastic dynamical systems*. Princeton, Princeton University Press, 2002. 240 p. DOI: 10.1515/9781400832507.
10. Vertyachikh I. M., Volkov Yu. A., Zhukalov V. I. On the possibility of applying temperature sensitive bulbs based upon the active polymer materials in the analog heat detector. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2015, no. 1, pp. 35–40 (in Russian).
11. Polyakov Yu. A. The analysis of fast-acting of film thermosensor fire purpose. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2016, issue 1(65). 9 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/09-01-16.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
12. Sharovar F. I. About technologies of guaranteed prevent fires. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal (Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal)*, 2015, issue 5(63). 8 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/21-05-15.ttb.pdf> (Accessed 9 January 2017).
13. Zykov V. I. (ed.), Kokshin V. V., Krivosheonok V. V. *The history of the development of wireless monitoring systems. Monograph*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2016. 160 p. (in Russian).
14. Yoshikawa Noriaki, Nomura Takuya. On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1976, vol. 25, no. 3, pp. 57–67. DOI: 10.1109/t-vt.1976.23620.

**For citation:** Zykov V. I., Polyakov Yu. A., Fomin V. I. Experimental determination of performance of planetmaster in fire alarm systems. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 3, pp. 39–44. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.39-44.