

А. Н. Членов, А. В. Кочегаров, А. М. Алешков
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: chlenov@mail.ru)

ПРОВЕРКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНАЛИЗАТОРОВ ВЗРЫВООПАСНЫХ ГАЗОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

РЕЗЮМЕ

Введение. При подготовке специалистов пожарной безопасности практически важным является приобретения навыков оценки пожарной опасности аварий с выделением горючих газов (ГГ) и паров легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Задачу обнаружения опасных концентраций этих веществ выполняют системы газового анализа, основным элементом которых являются газоанализаторы.

Цели и задачи. Целью исследования выступает создание установки газового анализа для определения основных метрологических характеристик газоанализаторов в условиях учебной лаборатории. Задачи включают анализ существующей установки, соответствующей действующему стандарту, рассмотрение конструкции испытательной камеры и методики её применения для исследований газоанализаторов с диффузионной подачей анализируемой среды.

Методы включают системный анализ и математическую оценку физических процессов, протекающих в испытательной камере при подготовке и проведении исследований.

Результаты и обсуждение. В статье предложена и обоснована конструкция лабораторной установки, в которой в специальной камере с помощью дозатора создаётся заданная объёмная концентрация исследуемого взрывоопасного вещества. Получены математические выражения для определения необходимого количества ЛВЖ. Рассмотрена методика подготовки установки и варианты её применения для проведения лабораторных работ. Данная методика отличается простотой и обеспечивает безопасность исследований промышленных газоанализаторов.

Выводы. В статье обоснована конструкция установки газового анализа с использованием в качестве источника газовой смеси (ГС) специальной камеры. Получена математическая модель процесса формирования ГС с заданной объёмной концентрацией паров ЛВЖ, основанная на уравнении Менделеева-Клайперона. Рассмотрена методика подготовки камеры для определения метрологических характеристик газоанализаторов в условиях учебной лаборатории.

Ключевые слова: взрывоопасный газ, газоанализатор, лабораторная установка, уравнение идеального газа, испытательная камера.

Для цитирования: Членов А. Н., Кочегаров А. В., Алешков А. М. Проверка метрологических параметров анализаторов взрывоопасных газов в лабораторных условиях // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 2 (92). – С. 47-56. <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.47-56>

Изучение основ формирования системы газового анализа для предупреждения пожара и взрыва является составной частью учебного процесса в вузах МЧС России [1, 2]. При подготовке специалистов пожарной безопасности практически важным является приобретения навыков оценки пожарной опасности аварий с выделением *горючих газов (ГГ)* и паров *легко воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ)*. Задачу обнаружения опасных концентраций этих веществ выполняют системы газового анализа, основным элементом которых являются газоанализаторы¹ [3, 4], использующие различные физические принципы измерения [5-7].

Изучение процессов калибровки и поверки газоанализаторов проходит в учебных лабораториях на конкретных приборах и стендовом оборудовании [8]. В качестве приборов в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России используются термохимические газоанализаторы. В лабораторных условиях отрабатывается методика их калибровки, а также определяются такие важные метрологические параметры, как инерционность и абсолютная погрешность измерения, необходимые для поверки [8].

Методика поверки определена в ГОСТ 8.618-2013 "Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Газоанализаторы и сигнализаторы горючих газов и паров горючих жидкостей в воздухе рабочей зоны. Методика поверки". Структурная схема установки для определения метрологических параметров промышленных газоанализаторов приведена на рис. 1.

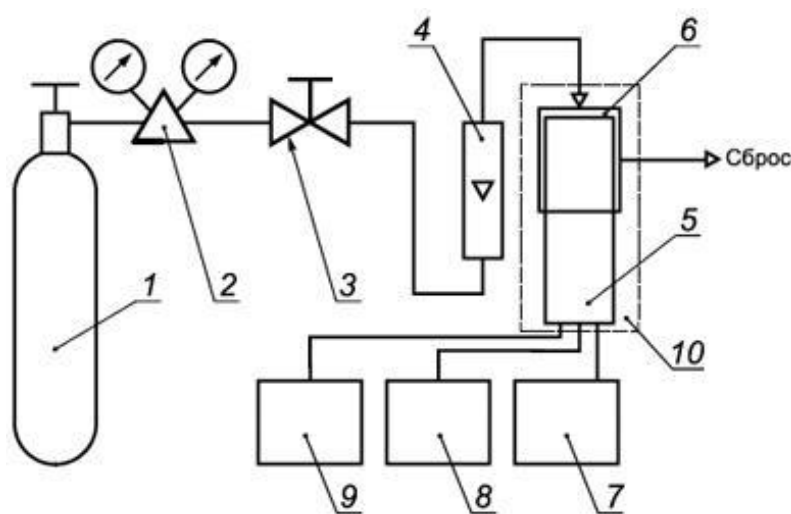


Рис. 1. Схема установки для поверки газоанализаторов по ГОСТ 8.618-2013 при для подачи ГС из баллонов под давлением:
1 – источник ГС (баллон или динамический генератор);
2 – редуктор баллонный; 3 – вентиль точной регулировки; 4 – ротаметр;
5 – световой индикатор (СИ); 6 – насадка для подачи газа; 7 – блок питания СИ;
8 – вольтметр цифровой универсальный; 9 – вторичное устройство для контроля цифрового выходного сигнала; 10 – камера климатическая

¹ Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Утв. Приказом Ростехнадзора от 11 марта 2013 г. № 96

В качестве источника *поверочной газовой смеси (ПГС)* используется баллон с метановоздушной смесью.

Схема лабораторной установки испытаний газоанализатора – сигнализатора СТМ-10 с конвекционной подачей среды, использующий данный метод, представлена на рис. 2 [9].

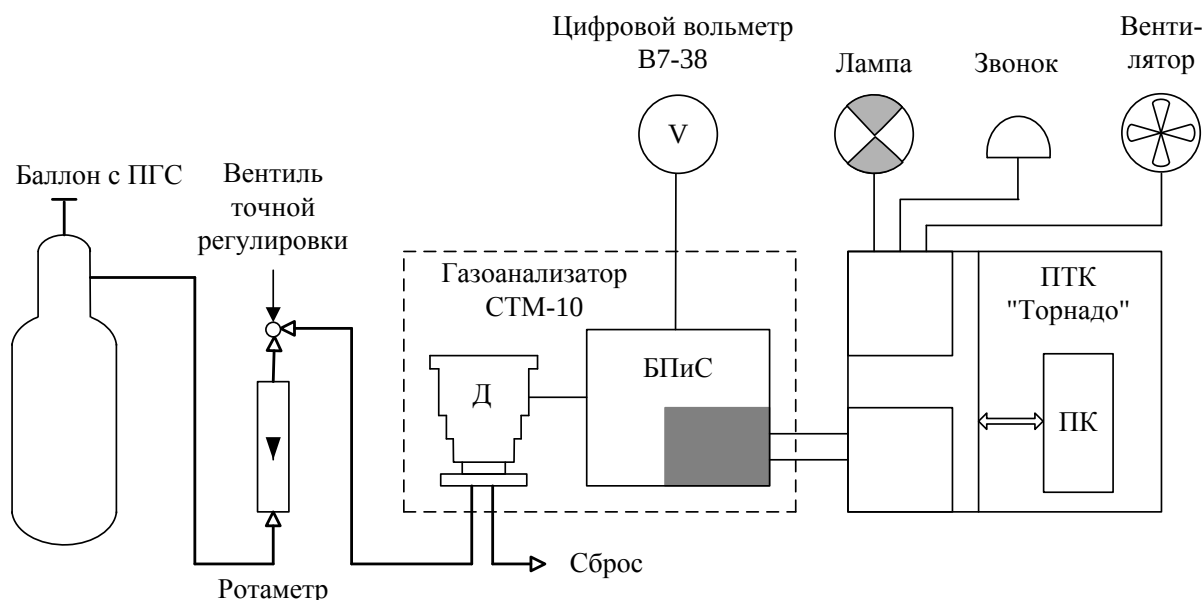


Рис. 2. Схема лабораторной установки испытаний сигнализатора СТМ-10 с конвекционной подачей среды

В состав газоанализатора СТМ-10 входят датчик (Д) и блок питания и сигнализации (БПиС), выходы которого подключены к учебному программно-техническому комплексу "Торнадо" (ПТК) с подключенным персональным компьютером (ПК).

Стандартный метод в лабораторных условиях обладает рядом недостатков, затрудняющих его использование в учебном процессе: ПГС поставляются в одноразовых утилизируемых или многоразовых перезаполняемых баллонах разного объёма. Стоимость баллона с газом составляет значительную сумму. При ручной проверке расход тестовой ПГС достигает несколько литров в минуту, что приводит к относительно частой смене баллонов и требует качественную утилизацию ПГС в испытательном помещении.

В качестве альтернативного генератора ПГС может быть использована камера конструкции фирмы Дегера. Это прибор, предназначенный для испарения горючих жидкостей с целью создания определённой концентрации пара ЛВЖ². Обычно такая камера используется для регулировки чувствительности датчиков взрывоопасных газов.

² https://protivogaz.com/pages/oborudovanie_dlya_testirovaniya_i_kalibrovki_gazoanalizatorov.html

Примерная конструкция испытательной камеры представлена на рис. 3.

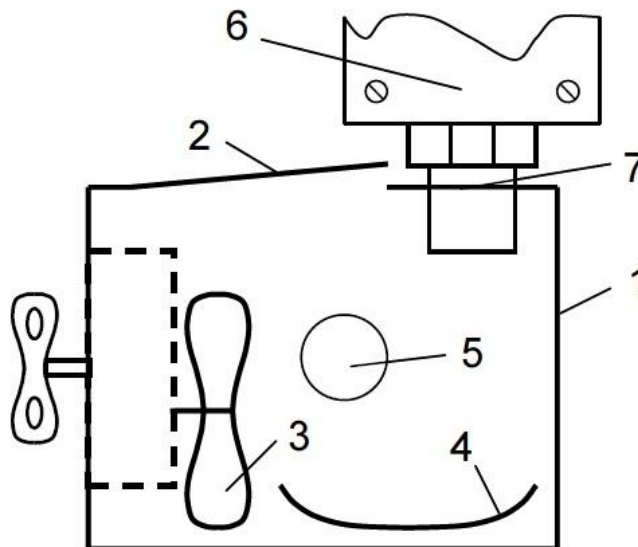


Рис. 3. Примерная конструкция измерительной камеры:

- 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – механический вентилятор;
 4 – испарительная тарелка; 5 – переходное отверстие для подачи ЛВЖ;
 6 – устройство для закрепления датчика;
 7 – датчик (измерительная головка) газоанализатора

Камера имеет небольшие габариты. В ней нет электрических компонентов, что обеспечивает её взрывобезопасность.

Порядок подготовки измерительной камеры к испытаниям приведён в табл. 1.

Физический принцип работы камеры основан на уравнении идеального газа Менделеева-Клайперона [9]:

$$PV = nRT, \quad (1)$$

где n – число молей газа;

P – давление газа (например, в *атм*);

V – объём газа (в литрах);

T – температура газа (в кельвинах, K);

R – газовая постоянная ($0,0821 \text{ л} \cdot \text{атм}/\text{моль} \cdot K$).

1 моль газа или пара при 0°C и 1013 гПа заполняет объём $22,414 \text{ л}$. Поэтому объём жидкости F (в микролитрах), который необходимо поместить в замкнутый объём V (в литрах), чтобы получить концентрацию пара 1 объёмный процент, можно рассчитать по формуле.

$$F_{1\% \text{ об}} = 1000 \frac{V}{22,414} \cdot \frac{273,15}{273,15 + \vartheta} \cdot \frac{M}{\rho} \cdot \frac{1}{100}, \quad (2)$$

где M – молекулярный вес ($\text{г}/\text{моль}$);

ρ – плотность жидкости ($\text{г}/\text{см}^3$);

ϑ – температура окружающей среды в $^\circ\text{C}$.

Предполагается, что вся жидкость полностью испарилась.

Таблица 1

Порядок подготовки измерительной камеры к испытаниям

№ этапа	Наименование	Содержание	Примечание
1	Внешний осмотр	Открыть крышку калибровочной камеры 2 и проверить исправность вентилятора	Вентилятор может быть оборудован редуктором или пружинным двигателем.
2	Проветривание	С помощью внешней ручки многократно провернуть лопасти вентилятора	Крышка камеры должна быть открыта
3	Размещение источника ЛВЖ	Поместить испарительную тарелку 4 на дно калибровочной камеры.	Для закрепления испарительной тарелки камера может быть оборудована специальным держателем. Внутри тарелки может быть размещён листок фильтровальной бумаги для увеличения скорости испарения ЛВЖ
4	Размещение датчика газоанализатора	С помощью устройства 6 закрепить датчик газоанализатора на крышке камеры	После закрепления датчика в крышке камеры не должно быть зазоров и отверстий
5	Подготовка ЛВЖ	Поместить в дозатор необходимый объём ЛВЖ	В качестве дозатора может быть использован стеклянный шприц
6	Загрузка ЛВЖ	Впрыснуть жидкость на испарительную тарелку через отверстие 5	Камера должна быть герметично закрыта
7	Испарение ЛВЖ	Обеспечить равномерное движение вентилятора для непрерывной циркуляции воздуха и полного испарения ЛВЖ.	Для загрузки жидкости с высоким давлением пара (например, диэтиловый эфир) необходимо пользоваться отверстием 5.

Например, испытательная камера имеет объём $V = 3$ л. Следовательно, согласно формуле (2), чтобы получить при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ пар с концентрацией 50 % от **нижнего предела воспламенения (НПВ)**, необходим объём жидкости

$$F_{1\% \text{ об}} = 1,2456 \cdot \frac{M}{\rho} \cdot 0,5 \cdot \text{НПВ}. \quad (3)$$

В табл. 2 приведены расчётные значения объёма некоторых ЛВЖ, необходимые для получения 10 %, 30 % и 50 % НПВ пара в испытательной камере.

Следует отметить, что при определении V для подстановки в формулу (2) следует учитывать погрешность, связанную с замещением объёма камеры датчиком газоанализатора.

Для жидкостей с низким давлением пара, не превышающим 100 % НПВ при температуре окружающей среды, не требуется рассчитывать количество жидкости. Эти жидкости можно идентифицировать по точке кипения, которая превышает температуру окружающей среды.

Таблица 2

Расчётные значения объёма ЛВЖ, необходимые для получения заданного процентного значения НПВ

Горючие жидкости	Точка кипения, °С	НПВ об. %	Объём ЛВЖ, мкл, для получения НПВ, % об		
			10	30	50
Ацетон	-20	2,5	23	69	115
Акрилонитрил	-5	2,8	23	70	116
Ацетонитрил	2	3,0	20	59	99
Бензол	-11	1,2	13	40	66
Трет-Бутилацетат	1	1,5	25	74	124
Винил метил кетон	-7	2,1	22	67	112
Винилацетат	-8	2,6	30	90	150
п-Гексан	-22	1,0	16	49	81
п-Гептан	-4	1,1	20	61	101
Диэтиловый кетон	12	1,6	21	64	106
Метилакрилат	-3	2,4	27	81	136
Метилацетат	-13	3,1	31	93	156
Оксид бутилена	-15	1,5	16	49	81
N-Октан	12	0,8	16	49	81
N-Пропанол	15	2,1	20	59	98
Тетрогидрофуран	-20	1,5	15	45	76
Толуол	6	1,2	16	48	79
Трет-бутанол	11	2,3	27	81	135
Триэтиламин	-17	1,2	21	62	104

Если поместить в камеру на испарительную тарелку избыточное количество жидкости (например, 5 мл), то концентрация насыщенного пара в закрытой испытательной камере будет постоянной несколько часов. Концентрацию пара можно рассчитать, используя кривые давления пара по формуле

$$C_{\text{п}} = 100 \cdot \frac{P(\vartheta)}{P_0} \cdot \frac{100}{\text{НПВ}}, \quad (4)$$

где $P(\vartheta)$ – давление пара жидкости (мбар) при температуре ϑ (°С);

P_0 – атмосферное давление в мбар;

НПВ задаётся в объёмных процентах (% об).

Выводы

1. В статье обоснована конструкция установки газового анализа с использованием в качестве источника газовой смеси специальной камеры.

2. Получена математическая модель процесса формирования ГС с заданной объёмной концентрацией паров ЛВЖ, основанная на уравнении Менделеева-Клайперона.

3. Рассмотрена методика подготовки камеры для определения метрологических характеристик газоанализаторов в условиях учебной лаборатории. Данная методика проста, надёжна в применении и безопасна.

4. Приведены расчётные значения объёма ЛВЖ, необходимые для получения заданного процентного значения НПВ. Полученные значения позволяют определить количество ЛВЖ, необходимое для испытаний.

Литература

1. Членов А. Н., Дровникова И. Г. Условия совершенствования профессиональной подготовки специалистов для работы в системе охраны и пожарной безопасности объектов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 4. С. 6-9.
2. Производственная и пожарная автоматика. Часть I. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов: учебник / Под ред. А. В. Федорова. М: Академия ГПС МЧС России, 2012. 86 с.
3. Членов А. Н., Демехин Ф. В. Метод оценки влияния качества пожарной сигнализации на эффективность автоматизированной системы противопожарной защиты промышленного предприятия // Технологии техносферной безопасности. 2008. Вып. 5 (21). 4 с. <http://academygps.ru/ttb>
4. Зубаилов Г. И. Повышение оперативности контроля утечек газа через негерметичные соединения оборудования сетей газораспределения и газопотребления // Нефтегазовое дело: сетевое издание. 2015. № 2. С. 179-190. <http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2015-2-179-190>
5. Oblov K. Yu., Samotaev N. N., Etrekova M. O., Gorskova A. V. Laser micromilling technology as a key for rapid ceramic MEMS devices // Physics of Atomic Nuclei, 2019. Vol. 82. No. 11. <https://doi.org/10.1134/S1063778819110152>
6. Zainab Yunusa, Mohd. Nizar Hamidon, Ahsanul Kaiser, Zaiki Awang. Gas Sensors: A Review // Sensors & Transducers. 2014. No. 168. Pp. 61-75.
7. Нгуен Ван Бо. Молекулярная структура и механизмы реакций газофазного распада анион- и катион-радикалов некоторых С-, N-, O- нитросоединений по данным квантово-химических расчетов: дис. ... канд. техн. наук: 02.00.04. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. 165 с.
8. Фёдоров А. В., Членов А. Н. Лабораторный практикум по дисциплине "Производственная и пожарная автоматика". Ч. 1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России. 2014. 79 с.
9. Попова И. А. Физика. М.: Эксма, 2017. 172 с.

Материал поступил в редакцию 13 декабря 2020 г.; принят к публикации 15 июня 2021 г.

A. N. Chlenov, A. V. Kochegarov, A. M. Aleshkov
(Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
e-mail: chlenov@mail.ru)

TESTING OF METROLOGICAL PARAMETERS OF ANALYZERS OF EXPLOSIVE GASES IN LABORATORY CONDITIONS

ABSTRACT

Introduction. When training fire safety specialists, it is practically important to acquire skills in assessing the fire hazard of accidents with the release of flammable gases (GG) and vapors of flammable liquids (FL). The task of detecting hazardous concentrations of these substances is performed by gas analysis systems, the main element of which is gas analyzers.

Goals and objectives. The aim of the study is to create a gas analysis installation for determining the main metrological characteristics of gas analyzers in a training laboratory. The tasks include the analysis of an existing installation that complies with the current standard, consideration of the design of the test chamber and the methodology for its application for the study of gas analyzers with a diffusion supply of the analyzed medium.

The methods include system analysis and mathematical assessment of physical processes occurring in the test chamber during the preparation and conduct of research.

Results and discussion. The article proposes and substantiates the design of a laboratory facility, in which a given volumetric concentration of the explosive substance under investigation is created in a special chamber with the help of a dispenser. Mathematical expressions have been obtained to determine the required amount of flammable liquids. The method of preparation of the installation and options for its use for laboratory work are considered. This technique is simple and ensures the safety of industrial gas analyzers research.

Conclusions. The article substantiates the design of the gas analysis unit using a special chamber as a source of the gas mixture (GM). A mathematical model of the formation of HMs with a given volumetric concentration of flammable liquids vapors is obtained, based on the Mendeleev-Cliperon equation. The technique of preparing a chamber for determining the metrological characteristics of gas analyzers in a training laboratory is considered.

Key words: explosive gas, gas analyzer, laboratory facility, ideal gas equation, test chamber.

For citation: Chlenov A. N., Kochegarov A. V., Aleshkov A. M. Testing of metrological parameters of analyzers of explosive gases in laboratory conditions. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2021, vol. 2 (92), pp. 47-56 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.47-56>

References

1. Chlenov A. N., Drovnikova I. G. *Usloviya sovershenstvovaniya professional'noy podgotovki spetsialistov dlya raboty v sisteme okhrany i pozharnoy bezopasnosti ob'ektov* [Conditions for improving the professional training of specialists to work in the security and fire safety system of facilities]. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 4, pp. 6-9.
2. *Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika. Chast' I. Proizvodstvennaya avtomatika dlya preduprezhdeniya pozharov i vzryvov: uchebnik* [Industrial and fire automatic equipment. Part I. Industrial automation for the prevention of fires and explosions: textbook]. Ed. by A. V. Fedorov, Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2012, 86 p.
3. Chlenov A. N., Demekhin F. I. Method of the estimation of influence of quality of fire alarm system on efficiency of automated system of fire-prevention protection of the industrial enterprise. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2008, vol. 5 (21), 4 p. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
4. Zubailov G. I. Efficiency rise of gas leakage control through failure connections of gas distribution and gas consumption network equipment. *Neftegazovoe delo: setevoe izdanie/ Oil and gas business: online edition*, 2015, no. 2, pp. 179-190. <http://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2015-2-179-190>
5. Oblov K. Yu., Samotaev N. N., Etrekova M. O., Gorskova A. V. Laser micromilling technology as a key for rapid ceramic MEMS devices. *Physics of Atomic Nuclei*, 2019, vol. 82, no. 11. <https://doi.org/10.1134/S1063778819110152>
6. Zainab Yunusa, Mohd. Nizar Hamidon, Ahsanul Kaiser, Zaiki Awang. Gas Sensors: A Review. *Sensors & Transducers*, 2014, no. 168, pp. 61-75.
7. Nguyen Van Bo. *Molekulyarnaya struktura i mekhanizmy reaktsiy gazofaznogo raspada anion- i kation-radikalov nekotorykh C-, N-, O- nitrosoedineniy po dannym kvantovo-khimicheskikh raschetov* [Molecular structure and mechanisms of reactions of gas-phase decomposition of anion- and cation-radicals of some C-, N-, O-nitro compounds according to quantum chemical calculations]. PhD in Tech. Sci. diss.: 02.00.04, Kazan State Technological Universit, 2014, 165 p.
8. Fedorov A. V., Chlenov A. N. *Laboratornyy praktikum po distsipline "Proizvodstvennaya i pozharnaya avtomatika". Ch. 1. Proizvodstvennaya avtomatika dlya preduprezhdeniya pozharov i vzryvov: ucheb. posobie* [Laboratory workshop on the discipline "Industrial and fire automatics". Part 1. Industrial automation for the prevention of fires and explosions: textbook], Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2014, 79 p.
9. Popova I. A. *Fizika* [Physics]. Moscow, Eksma Publ., 2017, 172 p.

Received December 13, 2020; accepted June 15, 2021

Информация об авторах

ЧЛЕНОВ Анатолий Николаевич
д-р техн. наук, профессор, заслуженный
работник высшей школы РФ; профессор
кафедры пожарной автоматики; Академия
Государственной противопожарной служ-
бы МЧС России; Российская Федерация,
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина,
д. 4; ORCID ID: 0000-0002-9774-1504;
РИНЦ Author ID: 474756; e-mail:
chlenov@mail.ru

КОЧЕГАРОВ Алексей Викторович
доктор технических наук; начальник
кафедры пожарной автоматики; Академия
Государственной противопожарной служ-
бы МЧС России; Российская Федерация,
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина,
д. 4; ORCID ID: 0000-0002-7664-7113;
РИНЦ Author ID: 354493; e-mail:
kochiegharov77@mail.ru

АЛЕШКОВ Александр Михайлович
канд. техн. наук; доцент кафедры пожар-
ной автоматики; Академия Государствен-
ной противопожарной службы МЧС
России; Российская Федерация, 129366,
г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4;
ORCID ID: 0000-0002-0724-0125; РИНЦ
Author ID: 1081538; e-mail:
alexander-akfire@yandex.ru

Information about the authors

CHLENOV Anatoliy Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Honored Worker of Higher Education of Rus-
sian Federation; Professor of Department
of Fire Automation; Academy of State Fire
Service of EMERCOM of Russia; Russian
Federation, 129366, Moscow, Borisa Galush-
kina St., 4; ORCID ID: 0000-0002-9774-
1504; RSCI Author ID: 474756; e-mail: chle-
nov@mail.ru

KOCHEGAROV Alexey Viktorovich
Doctor of Science; Head of the Department
of Fire Automation; Academy of State Fire
Service of EMERCOM of Russia; Russian
Federation, 129366, Moscow, Borisa Galush-
kina St., 4; ORCID ID: 0000-0002-7664-
7113; РИНЦ Author ID: 354493; e-mail:
kochiegharov77@mail.ru

ALESHKOV Aleksandr Mikhaylovich
Candidate of Technical Sciences; Associate
Professor of Department of Fire Automation;
Academy of State Fire Service
of EMERCOM of Russia; Russian Federation,
129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4;
ORCID ID: 0000-0002-0724-0125; RSCI
Author ID: 1081538; e-mail:
alexander-akfire@yandex.ru