

Экспериментальное определение показателей пожарной опасности технических масел в маломасштабных установках

Сергей Викторович Пузач¹✉, Руслан Гянджавиевич Акперов², Очир Баатрович Болдрушкиев², Кирилл Петрович Щетнев², Елена Николаевна Косьянова²

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Отсутствие свойств современных технических масел не позволяет провести расчет времени блокирования путей эвакуации в помещениях, где они находятся. Это может привести к серьезной недооценке пожарной опасности объектов. Поэтому задача определения пожароопасных свойств современных технических масел является актуальной.

Цели и задачи. Целью работы является экспериментальное определение показателей пожарной опасности современных технических масел, используемых на гидростанциях и предприятиях Газпромнефти.

Для достижения цели были проведены экспериментальные исследования образцов вышеуказанных масел по определению их пожароопасных свойств.

Методы. Используется экспериментальный метод исследования пожароопасных свойств веществ и материалов в маломасштабной экспериментальной установке, а также стандартный метод испытаний по определению коэффициента дымообразования в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89. Проведен анализ полученных результатов.

Результаты и их обсуждение. Проведены испытания технических масел марок «Mobil DTE 10 EXCEL 68», «Mobil DTE OIL PM 150» и «Газпромнефть PM-220».

Получены экспериментальные зависимости от времени с начала испытаний удельной массовой скорости выгорания, удельных коэффициентов образования монооксида и диоксида углерода, циановодорода, удельного коэффициента потребления кислорода, а также дымообразующей способности.

Обнаружено, что первоначальная масса образца существенно влияет на величину массовой скорости выгорания.

Выполнено сравнение полученных характеристик процесса горения масел с данными, приведенными в существующей базе данных горючей нагрузки. Показано, что массовая скорость выгорания испытываемых масел существенно меньше соответствующей величины для масел, приведенных в базе данных.

Выводы. Полученные впервые удельные коэффициенты образования циановодорода, а также остальные опытные данные могут использоваться при расчете времени блокирования путей эвакуации в производственных помещениях, где находятся технические масла.

Ключевые слова: пожар; циановодород; монооксид углерода; парциальная плотность; токсичность; скорость выгорания

Для цитирования: Пузач С.В., Акперов Р.Г., Болдрушкиев О.Б., Щетнев К.П., Косьянова Е.Н. Экспериментальное определение показателей пожарной опасности технических масел в маломасштабных установках // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 6. С. 47–55. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.06.47-55.

✉ Пузач Сергей Викторович, e-mail: puzachsv@mail.ru

Experimental determination of fire hazard indicators of technical oils in small-scale installations

Sergey V. Puzach¹✉, Ruslan G. Akperov², Ochir B. Boldrushkiev², Kirill P. Shchetnev², Elena N. Kosyanova²

¹Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

²The State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Lack of properties of modern technical oils does not allow calculating the time of blocking of evacuation routes in the premises where they are located. It can lead to serious underestimation of fire danger of objects. Therefore, the task of determining the fire hazard properties of modern technical oils is urgent.

Goals and objectives. The purpose of the work is the experimental determination of fire-hazard indicators of modern technical oils used at hydraulic plants and Gazpromneft enterprises.

In order to achieve the goal, the experimental research of samples of the above mentioned oils was carried out to determine their fire-hazard characteristics.

Methods. The experimental method of studying of fire hazardous properties of substances and materials in a small-scale experimental unit, as well as the standard test method for determining the smoke formation coefficient in accordance with GOST 12.1.044–89 was used. The obtained results were analyzed.

Results and discussion. Technical oils of the “Mobil DTE 10 EXCEL 68”, “Mobil DTE OIL PM 150” and “Gazpromneft PM-220” brands were tested.

Experimental dependences of specific mass burnout rate, specific coefficients of formation of carbon monoxide and dioxide, cyanogenic hydrogen, specific coefficient of oxygen consumption, as well as smoke generating ability on time from the beginning of the tests were obtained.

It was found that the initial mass of the sample significantly affects the value of mass burnout rate.

The obtained characteristics of the oil combustion process were compared with the data given in the existing database of combustible load. It is shown that the mass burnout rate of the tested oils is significantly less than corresponding value for the oils given in the database.

Conclusion. Specific coefficients of hydrogen cyanide formation obtained for the first time, as well as other experimental data, can be used for calculation of the time of blocking of evacuation routes in production premises where technical oils are located.

Keywords: fire; hydrogen cyanide; carbon monoxide; partial density; toxicity; burnout rate

For citation: Puzach S.V., Akperov R.G., Boldrushkiev O.B., Shchetnev K.P., Kosyanova E.N. Experimental determination of fire hazard indicators of technical oils in small-scale installations. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(6):47-55. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.06.47-55. (rus).

✉ *Sergey Viktorovich Puzach*, e-mail: puzachsv@mail.ru

Введение

С учетом развития промышленной индустрии и роста потребности в электроэнергии различных отраслей наблюдается активное строительство производственно-промышленных объектов.

Значительную пожарную опасность представляют объекты, реализующие технологический процесс с обращающимися легковоспламеняющимися и горючими жидкостями. Наличие большого количества легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в помещениях производственного объекта способствует возникновению условий взрывоопасной концентрации при возникновении различных аварийных ситуаций [1–5].

В случае мгновенного воспламенения разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей динамика распространения опасных факторов пожара в помещениях производственных объектов может протекать значительно быстрее процесса эвакуации людей из здания [6–8]. Так, при проведении натуральных экспериментов по горению турбинного масла площадью разлива 5 м² наблюдалось полное задымление машинного зала площадью 8000 м² в течение 5 мин.

Таким образом, оценка пожароопасных свойств технических масел является актуальной научно-технической задачей.

Данные о пожароопасных свойствах технических масел представлены в базе данных типовой

пожарной нагрузки [9]. Однако в вышеуказанной базе приведены характеристики только двух масел: индустриальное и турбинное масла. При этом не указана точная их маркировка.

В литературных источниках [2–18] приведены лишь отдельные характеристики современных масел, не позволяющие оценить в полной мере их пожарную опасность.

Отсутствие свойств современных технических масел не позволяет провести расчет времени блокирования путей эвакуации в помещениях, где они находятся. Это может привести к серьезной недооценке пожарной опасности объектов. Поэтому задача определения пожароопасных свойств современных технических масел является актуальной.

Целью работы является экспериментальное определение показателей пожарной опасности современных технических масел, используемых на гидростанциях и предприятиях Газпромнефти.

Для достижения цели были проведены экспериментальные исследования образцов вышеуказанных масел по определению в маломасштабной опытной установке [19, 20] удельной массовой скорости выгорания, дымообразующей способности, удельных коэффициентов образования токсичных газов и удельного коэффициента потребления кислорода.

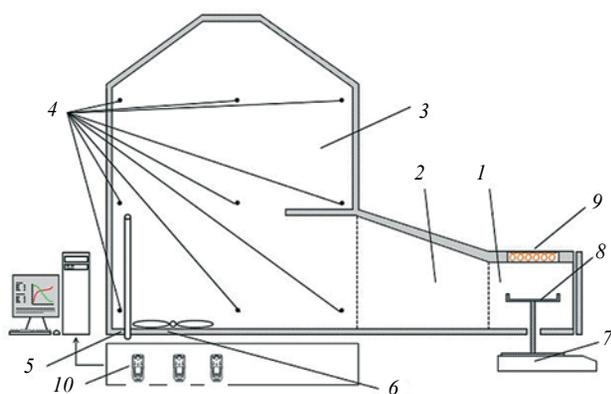


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — переходной рукав; 3 — экспозиционная камера; 4 — термопары; 5 — зонд отбора газа; 6 — вентилятор; 7 — электронные весы; 8 — держатель образца; 9 — электронагревательный элемент; 10 — газоаналитическое оборудование

Fig. 1. Scheme of the experimental setup: 1 — combustion chamber; 2 — transitional hose; 3 — exposure chamber; 4 — thermocouples; 5 — gas sampling probe; 6 — fan; 7 — electronic scales; 8 — sample holder; 9 — electric heating element; 10 — gas analysis equipment

Экспериментальные установки

Для определения показателей пожарной опасности технических масел используются следующие экспериментальные установки:

- установка для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов [19, 20];
- стандартная установка по ГОСТ 12.1.044–89¹.

Схема экспериментальной установки, представленной в работах [19, 20], изображена на рис. 1.

Регистрация концентрации токсичных продуктов горения осуществлялась посредством работы многоканальных газоанализаторов, определяющих концентрации следующих газов:

- диоксид углерода (CO_2) с диапазоном измерений от 0 до 5 % об.;
- монооксид углерода (CO) с диапазоном измерений от 0 до 1 % об.;
- циановодород (HCN) с диапазоном измерений от 0 до 0,01 % об.;
- кислород (O_2) с диапазоном измерений от 0 до 21 % об.

Методика проведения экспериментов

Массы исследуемых образцов в процессе проведения испытаний определялись с помощью электронных весов 7 марки AND GF-6100, имеющих погрешность измерений не более ± 1 мг.

¹ ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.18. Метод экспериментального определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов.

Сначала производился запуск электронагревательного элемента до достижения плотности падающего на поверхность образца теплового потока 10 кВт/м^2 . При установлении статичной величины плотности падающего теплового потока производится запуск регистрирующих программ с последующей проверкой отклика датчиков.

Выбор плотности теплового потока обусловлен минимальным значением плотности теплового потока, при которой начинался пламенный режим горения.

После установления заданной плотности падающего теплового потока и запуска регистрирующих программ подготовленный и предварительно взвешенный образец масла помещался в держатель для образцов, размещенный в камере сгорания.

Воспламенение образца было произведено с помощью поднесенной к поверхности образца газовой горелки.

Удельные коэффициенты образования HCN (L_{HCN}), CO (L_{CO}), CO_2 (L_{CO_2}), а также поглощения кислорода (L_{O_2}) в каждый момент времени рассчитываются по следующим выражениям [1]:

$$L_{\text{HCN}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{HCN}}}{d\tau}; \quad (1)$$

$$L_{\text{CO}} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}}}{d\tau}; \quad (2)$$

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{CO}_2}}{d\tau}; \quad (3)$$

$$L_{\text{O}_2} = \frac{V}{\Psi} \frac{d\rho_{\text{O}_2}}{d\tau}, \quad (4)$$

где V — объем экспозиционной камеры, м^3 ;

Ψ — массовая скорость выгорания горючего материала, кг/с ;

ρ_{HCN} , ρ_{CO} , ρ_{CO_2} , ρ_{O_2} — соответственно, среднееобъемная плотность HCN , CO , CO_2 и O_2 в экспозиционной камере, кг/м^3 .

Исходные данные

В качестве исследуемых масел взяты технические масла марок «Mobil DTE 10 EXCEL 68», «Mobil DTE OIL PM 150» и «Газпромнефть PM-220».

Площадь образцов для испытаний составляла $0,01 \text{ м}^2$.

Первоначальная масса образцов изменялась в зависимости от измеряемых параметров процесса горения. Это связано с тем, что при измерении дымообразующей способности в стандартной установке масса образца должна быть существенно меньше, чем в случае измерения удельной скорости выгорания, удельных коэффициентов образования токсичных газов и удельного коэффициента потребления кислорода.

Экспериментальная установка [19, 20] позволяет проводить одновременные измерения вышеуказанных параметров. Однако при размере образца порядка $0,1 \times 0,1$ м (максимальный размер держателя образца) происходит быстрый выход величины оптической плотности дыма за верхний предел измерений датчика. При этом парциальные плотности токсичных газов и кислорода находятся внутри диапазонов измерений соответствующих датчиков.

Фотографии образцов масла до и после проведения экспериментов в опытной установке [19, 20] представлены на рис. 2.



a



b

Рис. 2. Фотографии образца масла: *a* — перед экспериментом; *b* — после эксперимента

Fig. 2. Photos of the oil specimen: *a* — before the experiment; *b* — after the experiment

Образование токсичных газов

Огневые испытания проводились на установке по определению пожарной опасности конденсированных веществ и материалов [19, 20] при плотности падающего на поверхность образца теплового потока 10 кВт/м^2 в режиме горения.

Измерения удельных коэффициентов образования токсичных газов и удельного коэффициента потребления кислорода проводились при первоначальной массе образца масла:

- Mobil DTE OIL PM 150: $m = 11,69 \dots 13,93$ г;
- Mobil DTE 10 Excel: $m = 13,65 \dots 13,95$ г;
- Газпромнефть РМ-220: $m = 11,171 \dots 11,873$ г.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1–4.

Из табл. 1–4 видно, что испытываемые масла по сравнению с маслами в базе данных [1] имеют:

- более высокий удельный коэффициент образования диоксида углерода (более чем в 2 раза);
- более низкий удельный коэффициент образования оксида углерода (более чем в 1,4 раза);
- близкие значения удельного коэффициента потребления кислорода.

Таблица 1. Удельные коэффициенты образования оксида углерода

Table 1. Specific coefficients of carbon monoxide formation

Марка масла Oil brand	L_{CO} , кг/кг (средние значения) L_{CO} , kg/kg (mean values)	L_{CO} , кг/кг (максимальные значения) L_{CO} , kg/kg (maximum values)
Mobil DTE OIL PM 150	0,028...0,053 0,045*	0,072...0,084 0,078*
Mobil DTE 10 Excel	0,048...0,064 0,058*	0,081...0,109 0,097*
Газпромнефть РМ-220 Gazpromneft RM-220	0,032...0,071 0,053*	0,062...0,099 0,088*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	0,122	—
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	0,122	—

Примечание: здесь и в табл. 2–4: * — средние значения по результатам пяти экспериментов; — нет данных.

Note: here and in the Table 2–4: * — mean values based on the results of five experiments; — no data.

Таблица 2. Удельные коэффициенты образования диоксида углерода

Table 2. Specific coefficients of carbon dioxide formation

Марка масла Oil brand	L_{CO_2} , кг/кг (средние значения) L_{CO_2} , kg/kg (mean values)	L_{CO_2} , кг/кг (максимальные значения) L_{CO_2} , kg/kg (maximum values)
Mobil DTE OIL PM 150	1,63...2,09 1,87*	2,71...2,88 2,80*
Mobil DTE 10 Excel	1,86...2,02 1,94*	2,59...2,95 2,77*
Газпромнефть PM-220 Gazpromneft RM-220	1,40...1,78 1,55*	2,72...3,11 2,84*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	1,07	–
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	0,7	–

Таблица 3. Удельные коэффициенты образования циановодорода

Table 3. Specific coefficients of hydrogen cyanide formation

Марка масла Oil brand	L_{HCN} , кг/кг (средние значения) L_{HCN} , kg/kg (mean values)	L_{HCN} , кг/кг (максимальные значения) L_{HCN} , kg/kg (maximum values)
Mobil DTE OIL PM 150	0,000223...0,000489 0,000359*	0,000463...0,000693 0,000585*
Mobil DTE 10 Excel	0,000376...0,000583 0,000487*	0,00053...0,000924 0,000732*
Газпромнефть PM-220 Gazpromneft RM-220	0,000349...0,000724 0,000478*	0,000464...0,000826 0,000697*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	–	–
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	–	–

Таблица 4. Удельные коэффициенты потребления кислорода

Table 4. Specific coefficients of oxygen consumption

Марка масла Oil brand	L_{CO_2} , кг/кг (средние значения) L_{CO_2} , kg/kg (mean values)	L_{CO_2} , кг/кг (максимальные значения) L_{CO_2} , kg/kg (maximum values)
Mobil DTE OIL PM 150	–1,637...–1,951 –1,834*	–2,689...–2,967 –2,831*
Mobil DTE 10 Excel	–1,445...–1,758 –1,601*	–2,545...–2,217 –2,338*
Газпромнефть PM-220 Gazpromneft RM-220	–1,611...–2,125 –1,882*	–2,832...–3,11 –2,995*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	–1,589	–
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	–2,82	–

Дымообразующая способность

Экспериментальное определение дымообразующей способности материала проводилось в соответствии с ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.18¹.

Измерения дымообразующей способности проводились при первоначальной массе образца масла:

- Mobil DTE OIL PM 150: $m = 3,0...3,05$ г;
- Mobil DTE 10 Excel: $m = 3,48...3,51$ г;
- Газпромнефть PM-220: $m = 3,06...3,21$ г.

При больших значениях масс образцов показания датчика светового потока выходили за верхний предел измерений.

Плотность падающего на поверхность образца теплового потока составляла 10 кВт/м², что обеспечивало режим горения.

Результаты экспериментов приведены в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что испытываемые масла по сравнению с маслами в базе данных [1] имеют более высокую дымообразующую способность (например, по сравнению с турбинным маслом более чем в 2 раза).

Массовая скорость выгорания

Огневые испытания проводились на установке по определению пожарной опасности конденсированных веществ и материалов [19, 20].

Измерения массовой скорости выгорания проводились при различных величинах первоначальной массы образца масла.

Таблица 5. Дымообразующая способность
Table 5. Smoke-generating capacity

Марка масла Oil brand	D_m , м ² /кг (средние значения) D_m , m ² /kg (mean values)
Mobil DTE OIL PM 150	505...600 579*
Mobil DTE 10 Excel	423...641 517*
Газпромнефть РМ-220 Gazpromneft RM-220	480...588 543*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	480
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	243

* — средние значения по результатам пяти экспериментов.
 * — mean values from the results of five experiments.

Экспериментальные значения удельной массы скорости выгорания с указанием первоначальной массы образцов представлены в табл. 6.

Зависимости массовой скорости выгорания от времени проведения экспериментов представлены на рис. 3.

Из рис. 3 и табл. 6 видно, что:

- первоначальная масса образца существенно влияет на величину массовой скорости выгорания (например, в случае масла марки Mobil DTE OIL PM 150, увеличение массы примерно в 3,8 раза, массовая скорость выгорания увеличивается в 2,87 раза);
- массовая скорость выгорания испытываемых масел существенно меньше соответствующей величины для масел, приведенных в базе данных (например, в случае масла марки Mobil DTE OIL PM 150 вышеуказанная скорость меньше в 4,1 раза, чем для индустриального масла).

Выводы

Полученные впервые удельные коэффициенты образования циановодорода, а также остальные опытные данные по пожароопасным свойствам современных технических масел могут использоваться при расчете пожарных рисков в производственных помещениях, где находятся вышеуказанные масла.

Одновременное измерение на одном образце технического масла удельной массовой скорости выгорания, удельных коэффициентов образования токсичных газов, удельного коэффициента

Таблица 6. Удельная массовая скорость выгорания
Table 6. Specific mass burnout rate

Марка масла Oil brand	Первоначальная масса образца, г Initial weight of the sample, g	$\Psi_{уд}$, кг/(м ² ·с) (средние значения) $\Psi_{спец}$, kg/(m ² ·s) (mean values)
Mobil DTE OIL PM 150	11,69...13,93	0,00312...0,004121 0,00362*
	48,66...51,24	0,0058...0,015 0,0104*
Mobil DTE 10 Excel	13,65...13,95	0,005319...0,007683 0,0065*
	49,45...53,92	0,0104...0,0133 0,012*
Газпромнефть РМ-220 Gazpromneft RM-220	11,171...11,873	0,004925...0,005867 0,0054*
	50,357	0,0038*
Индустриальное масло [1] Industrial oil [1]	—	0,043
Турбинное масло ТП-22 [1] Turbine oil TP-22 [1]	—	0,03

* — средние значения по результатам пяти экспериментов.
 * — mean values from the results of five experiments.

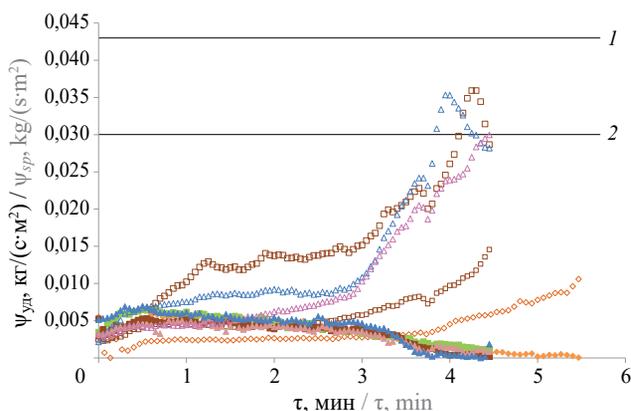


Рис. 3. Зависимость удельной массовой скорости выгорания различных трансформаторных масел от времени горения:

Mobil DTE OIL PM 150:

- — исходная масса масла $m = 48,66...1,24$ г; ■ — $m = 11,69...13,93$ г; Mobil DTE 10 Excel: △ — $m = 49,45...53,92$ г; ▲ — $m = 13,65...13,95$ г; Газпромнефть РМ-220: ◇ — $m = 50,357$ г; ◆ — $m = 11,171...11,873$ г;

1 — индустриальное масло [1]; 2 — турбинное масло ТП-22 [1]

Fig. 3. Dependence of specific mass burnout rate of different transformer oils on burning time:

Mobil DTE OIL PM 150:

- — initial oil mass $m = 48.66...51.24$ g; ■ — $m = 11.69...13.93$ g; Mobil DTE 10 Excel: △ — $m = 49.45...53.92$ g; ▲ — $m = 13.65...13.95$ g; Gazpromneft RM-220: ◇ — $m = 50.357$ g; ◆ — $m = 11.171...11.873$ g;

1 — industrial oil [1]; 2 — turbine oil TP-22 [1]

потребления кислорода, а также дымообразующей способности невозможно, так как масса образца для измерения дымообразующей способности по результатам проведенных экспериментов должна быть примерно в 4 раза меньше, чем при измерении остальных параметров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Alkış S., Aksoy E., Akpınar K. Risk assessment of industrial fires for surrounding vulnerable facilities using a multi-criteria decision support approach and GIS // *Fire*. 2021. № 4 (3). P. 13. DOI: 10.3390/fire4030053
2. Phillips W.D. A comparison of fire-resistant hydraulic fluids for hazardous industrial environments. Part I. Fire resistant and lubrication properties // *Journal of Synthetic Lubrication*. 2006. Vol. 14. Pp. 211–235. DOI: 10.1002/jsl.3000140302
3. Clark G.H. Firefighting equipment for Bulk users of Lubricating and Electrical oils. Part I // *Industrial Lubrication and Tribology*. 1954. Vol. 6. Pp. 15–21.
4. Sefouhi L., Bahmed L. Risk assessment of industrial waste: case of an Algerian company // *Case studies environment*. 2023. Vol. 7 (1). P. 2001786. DOI: 10.1525/cse.2023.2001786
5. Keerthi Narayanan D., Abdur Ravoof A., Jayapriya J., Revathi G., Murugan M. Hazards in oil, gas, and petrochemical industries // *Crises in Oil, Gas and Petrochemical Industries*. 2023. Pp. 71–99. DOI: 10.1016/B978-0-323-95154-8.00010-4
6. Monashkov V., Russkova I., Loginova Y., Rummyantseva N., Uljanov A. Evaluation of explosive parameters of fuel oil additive manufacturing technology // *Conference series: earth and environmental science*. 2021. P. 052017. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052017
7. Sun W., You F., Ping L. Fire hazard assessment of typical flammable liquid oils in wind turbine nacelle // *The proceedings of 11th Asia-Oceania symposium on fire science and technology*. 2018. Pp. 405–417. DOI: 10.1007/978-981-32-9139-3_30
8. Romp H.A. Oil burning — Springer science + business media. 2013. 336 p.
9. Кошмаров Ю.А., Пузач С.В., Лебедевченко О.С., Нгуен Т.Х. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МЧС России, 2021. 148 с.
10. Аксенов С.Г., Сиганатуллин Ф.К., Багышев Д.Э. Пожарная безопасность на силовых трансформаторах // *Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика : мат. II Всеросс. науч.-практ. конф.* 2020. С. 66–75.
11. Халиков Р.В., Роечко В.В. Пожарная опасность энергетических установок газокomppressorных станций // *Пожарная и промышленная безопасность*. 2022. Вып. 1 (95). С. 66–76. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.66-76
12. Пожаркова И.Н., Елфимова М.В., Лагунов А.Н. Моделирование пожара в машинных отделениях объектов теплоэнергетического комплекса // *Сибирский пожарно-спасательный вестник*. 2019. Вып. 1 (12). С. 39–45.
13. Акперов Р.Г., Пузач С.В. Выделение и распространение токсичных продуктов горения при пожарах в зданиях ГЭС // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. С. 17–20. EDN: RAJJJF.
14. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник. М. : Асс. Пожнаука, 2004. 713 с.
15. Исаева Л.К. Экологические последствия пожаров. М. : ВИПТШ МВД СССР, 1990. 107 с.
16. Микеев А.К. Противопожарная защиты АЭС. М. : Энергоатомиздат, 1990. 430 с.
17. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-механические основы развития и тушения пожаров. М. : ВНИПТШ МВД СССР, 1980. 255 с.
18. Гусейнова Э.А. Энерго-экологическая эффективность горения отработанного индустриального масла // *Заметки ученого*. 2021. С. 371–377. EDN: FLZLCF.
19. Болдрушкиев О.Б., Пузач С.В., Сулейкин Е.В. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода при пожаре в помещении // *Безопасность жизнедеятельности*. 2019. № 10. С. 31–36.
20. Пузач С.В., Доан В.М., Нгуен Т.Д., Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г. Образование, распространение и воздействие на человека токсичных продуктов горения при пожаре в помещении. М. : Академия ГПС МЧС России, 2017. 130 с.

REFERENCES

1. Alkış S., Aksoy E., Akpınar K. Risk Assessment of industrial fires for surrounding vulnerable facilities using a multi-criteria decision support approach and GIS. *Fire*. 2021; 4(3):13. DOI: 10.3390/fire4030053
2. Phillips W.D. A comparison of fire-resistant hydraulic fluids for hazardous industrial environments. Part I. Fire resistant and lubrication properties. *Journal of Synthetic Lubrication*. 2006; 14:211-235. DOI: 10.1002/jsl.3000140302

3. Clark G.H. Firefighting equipment for Bulk users of Lubricating and Electrical oils. Part I. *Industrial lubrication and tribology*. 1954; 6:15-21.
4. Sefouhi L., Bahmed L. Risk assessment of industrial waste: case of an Algerian company. *Case studies environment*. 2023; 7(1):2001786. DOI: 10.1525/cse.2023.2001786
5. Keerthi Narayanan D., Abdur Ravoof A., Jayapriya J., Revathi G., Murugan M. Hazards in oil, gas, and petrochemical industries. *Crises in Oil, Gas and Petrochemical Industries*. 2023; 71-99. DOI: 10.1016/B978-0-323-95154-8.00010-4
6. Monashkov V., Russkova I., Loginova Y., Rummyantseva N., Uljanov A. Evaluation of explosive parameters of fuel oil additive manufacturing technology. *Conference series: earth and environmental science*. 2021; 052017. DOI: 10.1088/1755-1315/723/5/052017
7. Sun W., You F., Ping L. Fire hazard assessment of typical flammable liquid oils in wind turbine nacelle. *The proceedings of 11th Asia-Oceania symposium on fire science and technology*. 2018; 405-417. DOI: 10.1007/978-981-32-9139-3_30
8. Romp H.A. *Oil burning — Springer science + business media*. 2013; 336.
9. Koshmarov Yu.A., Puzach S.V., Lebedchenko O.S., Nguen Than Hai. *Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2021; 148. (rus).
10. Aksenov S.G., Sigantullin F.K., Bagyshev D.E. Fire safety on power transformers. *Modern problems of fire safety: theory and practice : Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference*. 2020; 66-75 (rus).
11. Khalikov R.V., Royenko V.V. Fire hazard of power plants of gas compressor stations. *Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost. Fire and industrial safety*. 2020; 1(95):66-76. DOI: 10.25257/TTS.2022.1.95.66-76 (rus).
12. Pozharkova I.N., Yelfimova M.V., Lagunov A.N. Modeling of fire in engine rooms of thermal power complex facilities. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2019; 1(12):39-45. (rus).
13. Akperov R.G., Puzach S.V. Release and distribution of toxic combustion products during fires in hydroelectric power station buildings. *News from Yufu. Technical science*. 2013; 17-20 (rus).
14. Korolchenko A.Ya. *Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them : handbook*. Moscow, Fire science Publ., 2004; 713. (rus).
15. Isaeva L.K. *Ecological consequences of fires*. Moscow, VIPTSH MVD SSSR, 1990; 107. (rus).
16. Mikeyev A.K. *Fire protection of nuclear power plants*. Moscow, Energy Atomic Publ, 1990; 430. (rus).
17. Abduragimov I.M., Govorov V.Yu., Makarov V.Ye. *Physico-mechanical basis for the development and extinguishing of fires*. Moscow, VIPTSH MVD SSSR, 1980; 255. (rus).
18. Guseynova E.A. Energy and environmental efficiency of combustion of waste industrial oil. *Scientist's Notes*. 2021; 371-377 (rus).
19. Boldrushkiev O.B., Puchaz S.V., Sulejkin E.V. Determination of the specific formation coefficient and critical partial density of hydrogen cyanide in case of a fire in a room. *Life safety*. 2019; 10:31-36. (rus).
20. Puzach S.V., Doan V.M., Nguen T.D., Sulejkin E.V., Akperov R.G. *Formation, distribution and human exposure to toxic combustion products during a fire in a room*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017; 130 (rus).

*Поступила 19.09.2023, после доработки 02.10.2023;
принята к публикации 17.10.2023*

*Received September 19, 2023; Received in revised form October 2, 2023;
Accepted October 17, 2023*

Информация об авторах

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; Scopus AuthorID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

АКПЕРОВ Руслан Гянджавиевич, канд. техн. наук, доцент кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

Information about the authors

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, the Honoured Scientist of the Russian Federation, Professor of Department of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavl'skoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus AuthorID: 7003537835; ResearcherID: U-2907-2019; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Ruslan G. AKPEROV, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor Department of Engineering Thermophysics and Hydraulics, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2524-8710; e-mail: akperov01@mail.ru

БОЛДРУШКИЕВ Очир Баатрович, канд. техн. наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела проблем профилактики объектов защиты, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

ШЕТНЕВ Кирилл Петрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник отделения планирования, организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований Центра организации научных исследований и научной информации, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 1122948; ORCID: 0000-0002-6103-1682; e-mail: shetnev.kirill2015@yandex.ru

КОСЬЯНОВА Елена Николаевна, старший научный сотрудник отделения планирования, организации и координации научных исследований отдела организации научных исследований Центра организации научных исследований и научной информации, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 766422; ORCID: 0000-0002-1333-2704; e-mail: elenkoss@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Ochir B. BOLDRUSHKIEV, Cand. Sci. (Eng.), Researcher of Research Department for Problems of Prevention of Protection Objects, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7127-5608; e-mail: avadanonstop@mail.ru

Kirill P. SHCHETNEV, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher of Separation of Planning, Organization and Coordination of Scientific Research, Department of Organization of Scientific Research, Center for Organization of Scientific Research and Scientific Information, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RSCI: 1122948; ORCID: 0000-0002-6103-1682; e-mail: shetnev.kirill2015@yandex.ru

Elena N. KOSYANOVA, Senior Researcher of Separation of Planning, Organization and Coordination of Scientific Research, Department of Organization of Scientific Research, Center for Organization of Scientific Research and Scientific Information, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RSCI: 766422; ORCID: 0000-0002-1333-2704; e-mail: elenkoss@yandex.ru

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflicts of interests.