

**Д. Ф. КОЖЕВИН**, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: yagmort\_kdf@mail.ru)

**В. Р. НОВИКОВ**, старший преподаватель кафедры специальной подготовки, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: novikovrr@mail.ru)

**А. С. ПОЛЯКОВ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: poljakov\_as@mail.ru)

**А. В. КЛЕЙМЕНОВ**, д-р техн. наук, начальник Управления научно-технического развития, Департамент развития нефтепереработки и нефтехимии, дирекция нефтепереработки, ПАО "Газпром нефть" (Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, 3-5; e-mail: kleymenov.av@gazprom-neft.ru)

УДК 614.845.1

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ С ЖИДКИМИ МОТОРНЫМИ ТОПЛИВАМИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ОГНЕТУШИТЕЛЕЙ

Показано, что современные методики расчета величины пожарного риска не учитывают эффекта от применения огнетушителей, хотя "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" рассматривает их как один из способов защиты людей и имущества от пожара. Установлена необходимость оценки влияния применения огнетушителей на расчетную величину пожарного риска. Проведен анализ оснащенности объектов нефтебаз огнетушителями. Построены логические деревья событий для различных сценариев аварии. Предложена методика определения пожарного риска при проливе нефтепродуктов, учитывающая эффективность применения порошковых огнетушителей различного типоразмера. В качестве примера приведен расчет потенциального риска для насосной станции с учетом предложенной методики. Показано, что применение порошковых огнетушителей может оказывать существенное влияние на величину потенциального риска, лежащего в основе расчета величины пожарного риска (индивидуального и социального).

**Ключевые слова:** пожарный риск; огнетушитель; эффективность огнетушителей; нефтегазовый комплекс; безопасность.

**DOI:** 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34

### Введение

Общие требования пожарной безопасности к производственным объектам определены на государственном уровне, в том числе в виде величин индивидуального риска [1, ст. 93]. В тех случаях, когда невозможно (по объективным причинам) обеспечить нормированное значение риска, для производственных объектов допускается превышение его (хотя это крайне нежелательно), что должно быть всесторонне обосновано.

В связи с этим особую обеспокоенность специалистов вызывает пожарная безопасность объектов нефтегазового комплекса России, где, несмотря на принимаемые меры, ежегодно происходит 13–18 аварий, приводящих к многомиллионному ущербу [2, 3].

В соответствии с требованиями ст. 52 [1] одним из способов защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара являются первичные средства пожаротушения. Кроме того, согласно [4, 5] производственные и складские объекты нефтегазового комплекса подлежат оснащению огнетушителями. При этом их применение не учитывается при расчете величины пожарного риска [6].

В зарубежных источниках при расчете пожарного риска и при анализе пожарной опасности применение первичных средств пожаротушения либо не учитывается вовсе, либо рекомендовано учитывать возможное применение огнетушителей и пожарных кранов только при наличии подготовленного персонала [7, 8]. В работе [9] при расчете пожарного

риска рекомендуется учитывать использование огнетушителей, причем на стадии построения логического дерева событий.

### Цели и задачи

Целью настоящей работы является определение полезного эффекта (по величине пожарного риска) от применения порошковых огнетушителей на объектах нефтегазового комплекса.

В связи с этим нами предложена методика определения пожарного риска с учетом эффективности применения огнетушителей при тушении проливов нефтепродуктов с высокой температурой вспышки и изложены ее основы.

Для жидкостей, температура вспышки которых выше температуры окружающей среды, количества паров, образующихся над зеркалом жидкости, для вспышки и/или воспламенения недостаточно. Образование их возможно только при длительном воздействии источника нагревания (отсроченное зажигание), причем прогрев этой жидкости будет неравномерным. Сначала локально (возле источника зажигания) она нагреется до температуры вспышки и далее — до температуры воспламенения, и лишь потом постепенно пламя будет охватывать пролив. Только на этой стадии, пока пламя не охватило весь пролив и площадь горения относительно невелика, целесообразно применение огнетушителей.

При авариях, связанных с проливом жидкостей, температура вспышки которых ниже температуры окружающей среды, горючая паровоздушная смесь образуется над зеркалом жидкости сразу после разгерметизации аппарата. При внесении источника зажигания либо сразу (мгновенное воспламенение), либо через некоторое время (воспламенение с задержкой) произойдет ее кинетическое сгорание, и вся площадь пролива будет охвачена пламенем (диффузионное горение). В этом случае применение огнетушителей бесполезно.

В ст. 144 [1] предусмотрено несколько форм оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности, в том числе:

- декларирование пожарной безопасности;
- независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности).

В обоих случаях в соответствии со ст. 6 ч. 6 [1] составной частью оценки соответствия объектов защиты требованиям пожарной безопасности является расчет величины пожарного риска, в результате которого должна быть дана полная оценка риска возникновения пожаров на производственных объектах. Данная оценка включает:

- анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на производственном объекте;

- определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;
- определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную, для каждого технологического процесса;
- построение сценариев возникновения и развития пожаров [1, ст. 94].

Исходя из вышеизложенного решены следующие задачи:

- определена эффективность применения порошковых огнетушителей на начальной стадии тушения пожара пролива нефтепродуктов;
- разработана методика оценки пожарного риска с учетом применения порошковых огнетушителей.

### Теория и расчеты

В соответствии с [6] для каждой пожароопасной ситуации на объекте приводится описание причин ее возникновения и развития, места ее возникновения и опасных факторов пожара, представляющих угрозу жизни и здоровью людей в местах их пребывания.

Для определения величины пожарного риска необходимо построить логическое дерево событий, учитывающее многие факторы, например:

- пожароопасные ситуации, приводящие к авариям и дальнейшему распространению пожара;
- вероятности распространения пожара и различные условия его развития в зависимости от окружающей обстановки;
- условия, которые позволяют предусмотреть возможные сценарии развития пожара в зависимости от применяемых мер по его тушению.

Учет роли применения огнетушителей при расчете величины пожарного риска на производственных объектах необходимо осуществлять на этапе построения логического дерева событий.

Подобная методика применяется при расчете величины пожарного риска на объектах защиты с наличием систем автоматического пожаротушения (АУПТ) [10]. В этом случае условную вероятность их эффективного срабатывания принимают равной 0,8 [10] без учета применения огнетушителей.

Таким образом, возникает необходимость в определении эффективности применения огнетушителей  $P_{\text{эф}}$  для обеспечения тушения пожара пролива на начальной стадии. Она может быть определена по зависимости, не противоречащей законам теории вероятности [9–13]:

$$P_{\text{эф}} = P_1 P_2 P_3 P_4, \quad (1)$$

где  $P_1$  — вероятность нахождения  $k$ -го количества операторов, применяющих огнетушители, рядом с местом аварии;

$P_2$  — вероятность умения оператора применять огнетушитель;

$P_3$  — нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара, определяемая в соответствии с п. В.3.3.6 ГОСТ Р 51057–2001;

$P_4$  — вероятность тушения возгорания.

Вероятность тушения пропорциональна нормативной площади тушения огнетушителем заявленного типоразмера (огнетушащая способность огнетушителя) и обратно пропорциональна потенциальной площади пожара пролива, которую может ликвидировать огнетушитель. Огнетушащая способность определяется на модельных очагах пожара и является величиной сравнительной, т. е. характеризующей относительную эффективность огнетушителей разных типоразмеров. Поэтому для оценки вероятности тушения необходимо рассматривать каждую ситуацию (пролив каждой обращающейся жидкости) индивидуально с учетом потенциальной площади пожара пролива, которую возможно ликвидировать огнетушителем:

$$P_4 = S_{\text{норм}} / S^*, \quad (2)$$

где  $S_{\text{норм}}$  — площадь тушения огнетушителем, равная площади модельного очага пожара (ГОСТ Р 51057–2001, [14]),  $\text{m}^2$ ;

$S^*$  — потенциальная площадь пролива нефтепродукта,  $\text{m}^2$ .

С учетом формулы (2) выражение (1) примет вид:

$$P_{\text{эф}} = P_1 P_2 P_3 (S_{\text{норм}} / S^*). \quad (3)$$

Потенциальную площадь пролива нефтепродукта  $S^*$ , для тушения которой целесообразно применять огнетушители стандартного типоразмера, можно вычислить по предложенной авторами формуле, которая определена по общенаучному методу анализа размерности [15–19]:

$$S^* = \sqrt[3]{\pi \left( \frac{m_{\text{зар}} Q_{\text{пор}} V}{W Q_{\text{низш}}} \right)^2}, \quad (4)$$

где  $m_{\text{зар}}$  — масса заряда огнетушащего порошка в огнетушителе, кг;

Исходные данные для расчета эффективности применения огнетушителей для гипотетического объекта  
Data for calculation of efficiency of the use of fire extinguishers for a hypothetical object

№ п/п No.	Показатель Property	Обозначение Identity	Ед. изм. Units	Значение Value
1	Площадь тушения для огнетушителя заявленного типоразмера Area suppression for a fire extinguisher of the stated size	$S_{\text{норм}}$ $S_{\text{norm}}$	$\text{m}^2$ $\text{m}^2$	2,25
2	Удельная массовая скорость выгорания нефтепродукта The mass rate of burning out of oil	$W$	$\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	0,048
3	Линейная скорость распространения пламени The linear velocity of flame propagation	$V$	$\text{м}/\text{с}$ $\text{m}/\text{s}$	0,45
4	Низшая теплота сгорания дизтоплива The lowest calorific value of diesel fuel	$Q_{\text{низш}}$ $Q_{\text{low}}$	$\text{МДж}/\text{кг}$ $\text{MJ/kg}$	43
5	Типоразмер огнетушителей The size of fire extinguishers	—	—	ОП-5 OP-5
6	Теплопоглощение порошка The absorption of the powder	$Q_{\text{пор}}$ $Q_{\text{pow}}$	$\text{МДж}/\text{кг}$ $\text{MJ/kg}$	3,3
7	Вероятность нахождения оператора на объекте защиты The probability of finding the operator on the object of protection	$P_1$	—	1,00*
8	Вероятность умения оператора применять огнетушитель The probability of the ability to use a fire extinguisher by the operator	$P_2$	—	1,00**
9	Нормативная вероятность тушения огнетушителем заданного модельного очага пожара Normative probability of extinguishing a fire extinguisher of a given model of fire	$P_3$	—	1/3***
10	Масса заряда огнетушащего порошка в одном огнетушителе The weight of the charge of fire extinguishing powder within the extinguisher	$m$	кг kg	5

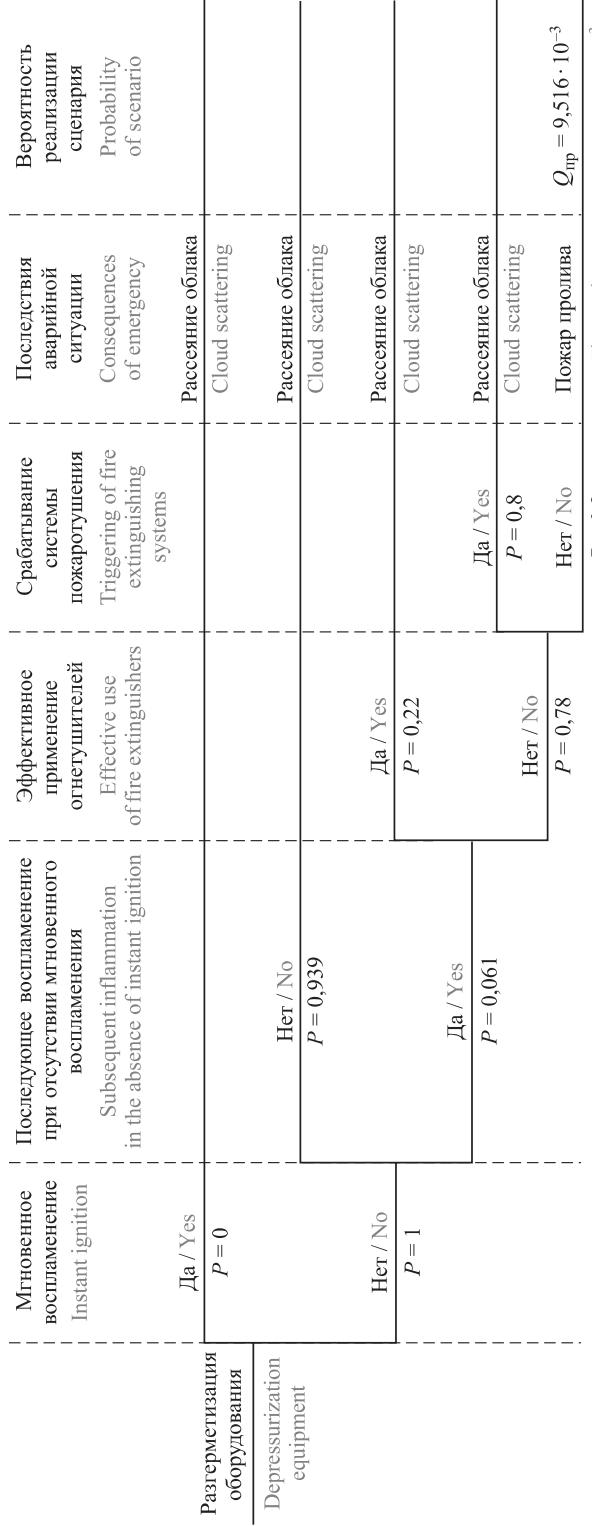
\* С учетом круглосуточной работы насосной станции / Given the round-the-clock operation of the pump station.

\*\* Все сотрудники обучены применению огнетушителей / All staff is trained in the use of fire extinguishers.

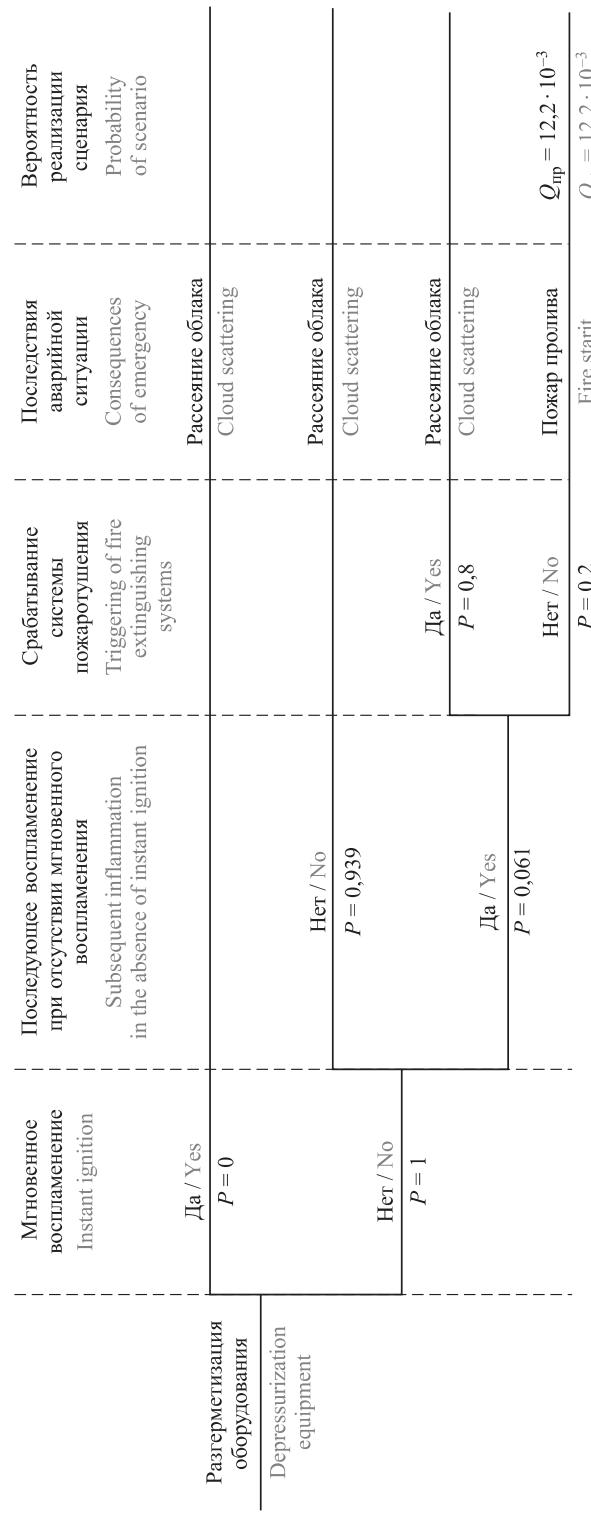
\*\*\* По ГОСТ Р 51057–2001, п. В.3.3.6 / State standard of the Russian Federation 51057–2001, par. V.3.3.6.

При меч ани е . Все значения приведены в соответствии с опубликованными данными.

Note . All values are given in accordance with the published data.



**Рис. 1.** Логическое дерево событий для сценария с применением огнетушителей  
**Fig. 1.** The logical tree of events for the scenario with the use of fire extinguishers



**Рис. 2.** Логическое дерево событий для сценария без применения огнетушителей  
**Fig. 2.** The logical tree of events for the scenario without the use of fire extinguishers

$Q_{\text{поп}}$  — количество теплоты, отнимаемое огнетушащим порошком из зоны горения, Дж/кг;  
 $V$  — линейная скорость распространения пламени по нефтепродукту, м/с;  
 $W$  — массовая скорость испарения нефтепродукта, кг/(м<sup>2</sup>·с);  
 $Q_{\text{низш}}$  — низшая теплота сгорания нефтепродукта, Дж/кг.

### Результаты и их обсуждение

С использованием формул (1)–(4) определен потенциальный риск для гипотетического объекта защиты, в качестве которого принята насосная станция по перекачке дизельного топлива.

Исходные данные для расчетов сведены в таблицу.

Площадь пролива нефтепродукта, на которой целесообразно применять огнетушитель имеющегося типоразмера, вычисленная по формуле (4), составляет:

$$S^* = \sqrt[3]{3,14 \left( \frac{5 \cdot 3,3 \cdot 0,45}{0,048 \cdot 43} \right)^2} = 3,43 \text{ м}^2.$$

С учетом значений, полученных в результате вычислений по формуле (4), эффективность применения огнетушителей при тушении пролива нефтепродуктов в насосной станции по формуле (3) составит:

$$P_{\phi} = 1 \cdot 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{2,25}{3,43} = 0,22.$$

Исходя из имеющихся данных, построено логическое дерево событий для двух сценариев: 1) с применением огнетушителей (рис. 1); 2) без их применения (рис. 2).

По полученным данным определена величина потенциального пожарного риска для каждого сценария по формуле [6]:

$$P_i = \sum_{j=1}^j Q_j \cdot Q_{dij},$$

где  $j$  — число сценариев возникновения пожара в здании;

$Q_j$  — частота реализации в течение года  $j$ -го сценария пожара, год<sup>-1</sup>;

$Q_{dij}$  — условная вероятность поражения человека при его нахождении в  $i$ -м помещении при реализации  $j$ -го сценария пожара [6].

Для расчетной аварии принята частота разгерметизации насоса, равная  $1,0 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> (согласно табл. П 1.1 в [6]), т. е. произошло полное разрушение насоса, перекачивающего дизельное топливо, а условная вероятность поражения человека  $Q_{dij} = 1,00$ . Тогда потенциальный риск будет составлять:

- для сценария с применением огнетушителей:

$$P_{\text{огн}} = 9,5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1};$$

- для сценария без применения огнетушителей:

$$P_{\text{б/огн}} = 12,2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Разница в величине потенциального риска составляет:

$$\Delta P = P_{\text{б/огн}} - P_{\text{огн}} = \\ = 12,2 \cdot 10^{-7} - 9,5 \cdot 10^{-7} = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Следовательно, величина индивидуального пожарного риска  $R_m$  прямо пропорциональна потенциальному риску  $P$ . Относительное изменение величины индивидуального пожарного риска при применении и без применения огнетушителей будет составлять:

$$\frac{R_{m(\text{б/огн})} - R_{m(\text{огн})}}{R_{m(\text{б/огн})}} = 22,1 \text{ \%}.$$

### Заключение

Представленные в статье данные свидетельствуют о том, что применение порошковых огнетушителей может оказать существенное влияние (порядка 20 %) на расчетную величину пожарного риска. В связи с этим необходимо учитывать их применение при расчетах пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами, для которых предусмотрено оснащение порошковыми огнетушителями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 01.08.2017).
2. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2011–2016 гг. — М. : ЗАО НТЦ ПБ, 2012–2017.
3. Soares C. G. (ed.). Safety and reliability of industrial products, systems and structures. — London : CRC Press / Taylor & Francis Group, 2010. — 472 p. DOI: 10.1201/b10572.
4. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (в ред. от 01.03.2017) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390. URL: <http://base.garant.ru/70170244/#help> (дата обращения: 01.08.2017).

5. ВППБ 01-04–98. Правила пожарной безопасности для предприятий и организаций газовой промышленности. — М. : ИРЦ Газпром, 1998. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001963> (дата обращения: 01.08.2017).
6. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 05.06.2017).
7. BS 7974:2001. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice [Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Свод правил]. — London, UK : British Standards Institution, 2001. — 34 p. DOI: 10.3403/02396195.
8. NFPA 551. Guide for the evaluation of fire risk assessments [Руководство по анализу оценки пожарного риска]. — Quincy, MA : NFPA, 2016.
9. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7. Probabilistic risk assessment [Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий. Часть 7: Вероятностная оценка пожарного риска]. — London, UK : British Standards Institution, 2003.
10. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. — М. : ВНИИПО 2012. — 242 с.
11. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для вузов. — 6-е изд. стер. — М. : Высшая школа, 1999. — 576 с.
12. Самойленко Н. И., Кузнецов А. И., Костенко А. Б. Теория вероятностей : учебник. — Харьков : Изд-во “НТМТ”, 2009. — 200 с.
13. Jaynes E. T. Probability theory. The logic of science. — Cambridge : Cambridge University Press, 2003. DOI: 10.1017/CBO9780511790423.
14. Карпов А. П. Огнетушители. Устройство, испытания, выбор, применение, техническое обслуживание и перезарядка. — М. : ВНИИПО, 2003. — 267 с.
15. Бриджмен П. Анализ размерностей / Пер. с англ. — Ижевск : НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. — 148 с.
16. Шишимарев В. Ю. Надежность технических систем : учебник для студентов высших учебных заведений. — М. : Издательский центр “Академия”, 2010. — 304 с.
17. Billinton R., Allan R. N. Reliability evaluation of power systems. — 2<sup>nd</sup> ed. — New York : Plenum Press, 1996. — 614 p.
18. Павловская О. О., Алешин Е. А. Основы теории надежности : учебное пособие. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2007. — 56 с.
19. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф. А. Матвеиччука. — М. : Воениздат, 1979. — 368 с.

*Материал поступил в редакцию 15 августа 2017 г.*

**Для цитирования:** Кожевин Д. Ф., Новиков В. Р., Поляков А. С., Клейменов А. В. Методика расчета пожарного риска на производственных объектах с жидкими моторными топливами с учетом применения порошковых огнетушителей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 1. — С. 27–34. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34.

English

## METHOD FOR CALCULATING FIRE RISK TAKING INTO ACCOUNT THE USE OF FIRE EXTINGUISHERS ON PRODUCTION FACILITIES WITH LIQUID MOTOR FUEL

**KOZHEVIN D. F.**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Physical and Chemical Bases of the Burning and Extinguishing Processes Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: yagmort\_kdf@mail.ru)

**NOVIKOV V. R.**, Senior Lecturer of Special Training Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: novikovvr@mail.ru)

**POLYAKOV A. S.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Professor of Physics and Heating Engineers Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: poljakov\_as@mail.ru)

**KLEYMENOV A. V.**, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Scientific and Technical Development, Department of Development of Oil Refining and Petrochemicals, Directorate of Oil Refining, PJSC Gazprom Neft (Pochtamskaya St., 3-5, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; e-mail: kleymenov.av@gazprom-neft.ru)

## ABSTRACT

Under this science article took place an analysis of the usage of powder fire extinguishers in the calculation of fire risk and the conduct of a quantitative analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities in the Russian Federation and in foreign countries. Based on above mentioned analysis method of calculation fire risk is offered. That method taking into account the usage of powder fire extinguishers at production facilities of the oil and gas complexes, where flammable and combustible liquids, with a flash point higher than the ambient temperature. The method is based on the determination of the useful effect of the usage of powder fire extinguishers in the potential area of the oil spill, where it is suitable to use the specified type of fire extinguishers.

The article provide an example of determining the potential risk at a pumping station for deliver diesel fuel, taking into account the application and without it.

*The object of the research* is the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers in extinguishing fires in oil product spills at oil and gas production facilities.

*The subject of the research* is improvement of the fire risk calculation methodology taking into account the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers at the production facilities of the oil and gas complex.

*Methods.* The general scientific methods of research (system analysis, probability theory, heat exchange, formalization, statistics and analogy) are applied when the work is performing.

### Results:

1. Through the article the effectiveness of the usage of powder fire extinguishers to extinguish the fire of the spill of oil products at the initial stage of its development is determined.

2. A methodology for assessing fire risk at production facilities of the oil and gas complex has been developed, taking into account the use of powder fire extinguishers.

*Scope of application of the results:* the results obtained make it possible to increase the reliability of the safety assessment of oil and gas facilities by taking into account the effectiveness of powder fire extinguishers in case changes are made in legal acts and methods for calculating fire risk.

*Conclusions.* The application of the proposed methodology for calculating fire risk, considering the usage of powder extinguishers at oil and gas facilities, increases the objectivity of fire hazard analysis of protection facilities, which is justified by calculating the contribution from the use of fire extinguishers in calculating fire risk.

**Keywords:** fire risk; fire extinguisher; efficiency of fire extinguishers; oil and gas facilities; safety.

## REFERENCES

1. *Technical regulations for fire safety requirements.* Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. on 29.07.2017) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 1 August 2017).
2. *Annual report on the activities of the Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision in 2011–2016.* Moscow, ZAO NTTs PB Publ., 2012–2017 (in Russian).
3. Soares C. G. (ed.). *Safety and reliability of industrial products, systems and structures.* London, CRC Press / Taylor & Francis Group, 2010. 472 p. DOI: 10.1201/b10572.
4. *Rules of fire prevention regime in the Russian Federation* (ed. on 01.03.2017). RF Government Decree on 25.04.2012 No. 390 (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/70170244/#help> (Accessed 1 August 2017).

5. VPPB 01-04-98. *Fire prevention rules for enterprises and organizations of the gas industry*. Moscow, IRTs Gazprom Publ., 1998 (in Russian). Available at: <http://docs.ctnd.ru/document/1200001963> (Accessed 1 August 2017).
6. *Methods for determining estimated fire risk values at production facilities*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.ctnd.ru/document/902170886> (Accessed 5 June 2017).
7. BS 7974:2001. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Code of practice*. London, UK, British Standards Institution, 2001. 34 p. DOI: 10.3403/02396195.
8. NFPA 551. *Guide for the evaluation of fire risk assessments*. Quincy, MA, NFPA, 2016.
9. PD 7974-7:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 7. Probabilistic risk assessment*. London, UK, British Standards Institution, 2003.
10. *Posobiye po opredeleniyu raschetnykh velichin pozharnogo riska dlya proizvodstvennykh obyektov* [The manual for determining the calculated values of fire risk for production facilities]. Moscow, VNIIPo Publ., 2012. 242 p. (in Russian).
11. Venttsel E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. 6<sup>nd</sup> ed. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1999. 576 p. (in Russian).
12. Samoylenko N. I., Kuznetsov A. I., Kostenko A. B. *Teoriya veroyatnostey* [Probability theory]. Kharkov, NTMT Publ., 2009. 200 p. (in Russian).
13. Jaynes E. T. *Probability theory. The logic of science*. Cambridge, Cambridge University Press, 2003. DOI: 10.1017/CBO9780511790423.
14. Karpov A. P. *Ognetushiteli. Ustroystvo, ispytaniya, vybor, primeneniye, tekhnicheskoye obsluzhivaniye i perezaryadka* [Fire extinguishers. Device, testing, selection, use, maintenance and recharging]. Moscow, VNIIPo Publ., 2003. 267 p. (in Russian).
15. Bridgman P. W. *Dimensional analysis*. New Haven, Yale University Press, 1932 (Russ. ed.: Bridgman P. Analiz razmernostey. Izhevsk, NITs "Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika" Publ., 2001. 148 p.).
16. Shishmarev V. Yu. *Nadezhnost tekhnicheskikh sistem* [Reliability of technical systems]. Moscow, Izdatelskiy tsentr "Akademiya", 2010. 304 p. (in Russian).
17. Billinton R., Allan R. N. *Reliability evaluation of power systems*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, Plenum Press, 1996. 614 p.
18. Pavlovskaya O. O., Aleshin E. A. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Chelyabinsk, YuUrGU Publ., 2007. 56 p. (in Russian).
19. Matveychuk F. A. (ed.). *Spravochnik po issledovaniyu operatsiy* [Directory of operations research]. Moscow, Voyenizdat Publ., 1979. 368 p. (in Russian).

**For citation:** Kozhevnik D. F., Novikov V. R., Polyakov A. S., Kleymenov A. V. Method for calculating fire risk taking into account the use of fire extinguishers on production facilities with liquid motor fuel. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 27–34 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.01.27-34.