

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

| | |
|--|-----------|
| МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ВОЗГОРАНИЙ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА <i>Воронцов Т. С.</i> | 3 |
| НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СООТНОШЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ И АДМИНИСТРАТИВНО-ЮРИСДИКЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ГПН ФПС <i>Ефимов И. А., Черепанов Е. А., Крестунов А. А., Галицков В. А.</i> | 22 |
| О ПРОБЛЕМЕ ЦВЕТОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА <i>Федосов С. В., Маличенко В. Г., Торопова М. В., Мальцев А. Н.</i> | 28 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ <i>Пермяков В. Н., Мартынович В. Л.</i> | 38 |
| АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПО НОВОЙ МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА, ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ГОРЮЧЕЙ НАГРУЗКОЙ <i>Субачев С. В., Субачева А. А.</i> | 44 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКР ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ КАК ИСТОЧНИКА ЗАЖИГАНИЯ ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ <i>Трояк Е. Ю., Чернушевич Е. В., Пожаркова И. Н.</i> | 56 |
| СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ ГРАФИТОВЫХ ОТХОДОВ. ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ <i>Кобелев А. М., Луговкин В. В., Барбин Н. М., Арефьева Е. А.</i> | 66 |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭРОВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Ломоносов С. В.</i> | 79 |
| ПОВЕДЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА <i>Шахабов М. М., Сивенков А. Б., Корольченко Д. А.</i> | 85 |

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НАГРЕТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Хафизов И. Ф., Яхи Абдеслам, Попова Е. В., Хафизов Ф. Ш..... **105**

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**ПОЖАРЫ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА НЕФТЕГАЗОПРОВОДАХ
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА ПЕРИОД С 2013 Г. ПО 2022 Г.**

Фирсов А. Г., Надточий О. В., Сибирко В. И., Арсланов А. М..... **112**

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО
ХАРАКТЕРА В МИРЕ И НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Королев Д. С., Вытовтов А. В., Куприенко П. С., Русских Е. А..... **130**

УДК 614.841.4:539

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ВОЗГОРАНИЙ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТА**Воронцов Тарас Сергеевич**

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Иваново, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной работе приводится теоретическое обоснование применения водногелевых составов (ВГС) при помощи мобильных средств пожаротушения: автомобиль первой помощи (АПП), беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с модульной установкой пожаротушения (МУП) и огнетушащими капсулами, первичных средств пожаротушения (огнетушитель водный (ОВ–2,5)).

Выполнен расчет-обоснование возможности применения водногелевых составов при помощи насосов комбинированного типа и высокого давления, транспортировки по рукаву высокого давления и напорным рукавам с обеспечением требуемого напора на стволе. Выявлено влияние концентрации гелеобразователя на потери напора при транспортировке огнетушащих составов. Разработана методика по применению гелей при тушении пожара пиротехнических изделий на объекте транспорта.

Представлены результаты эксперимента по подаче гидрогелей с различными концентрациями гелеобразователя с помощью огнетушителя с насадком распылительного типа. Определена зависимость длины струи от концентрации гелеобразователя в растворе. Предложена методика применения гелей с оптимальной концентрацией в огнетушителях для ликвидации пожаров пиротехнических изделий на ранней стадии.

Рассмотрены результаты эксперимента применения водногелевого состава с концентрацией 0,2 масс. % в модульной установке пожаротушения. Разработана методика применения беспилотных летательных аппаратов для тушения пожара пиротехнических изделий еврофуры с прицепом при помощи модульных установок пожаротушения и огнетушащих капсул, содержащих водногелевые составы.

Ключевые слова: суспензии, водногелевые составы, тушение пиротехники, квадрокоптеры для пожаротушения, огнетушащие гели

METHODOLOGY FOR THE USE OF WATER-GEL COMPOSITIONS IN THE ELIMINATION OF IGNITIONS OF PYROTECHNIC PRODUCTS AT TRANSPORT FACILITIES**Taras S. Vorontsov**

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

This paper provides a theoretical justification for the use of water-gel suspension (WGS) with the help of mobile fire extinguishing equipment (first aid vehicle (APP), unmanned aerial vehicles (UAVs) with a modular fire extinguishing installation (MUP) and fire extinguishing capsules, primary fire extinguishing equipment (water fire extinguisher (OV-2.5)).

The calculation-justification of the possibility of using water-gel compositions with the help of pumps of a combined type and high pressure, transportation along a high-pressure hose and pressure hoses with the required pressure on the wellbore has been performed. The influence of the concentration of the gelling agent on the pressure loss during the transportation of fire extinguishing compositions was revealed. A technique has been developed for the use of gels in extinguishing a fire of pyrotechnic products at a transport facility.

The results of an experiment on the supply of hydrogels with different concentrations of a gelling agent using a fire extinguisher with a spray nozzle are presented. The dependence of the jet length on the concentration of the gelling agent in the solution was determined. A technique is proposed for using gels with an optimal concentration in fire extinguishers to eliminate fires in pyrotechnic products at an early stage.

The results of an experiment using a water-gel composition with a concentration of 0.2 wt. % in a modular fire extinguishing installation. A technique has been developed for the use of unmanned aerial vehicles to extinguish the fire of pyrotechnic products of a euro truck with a trailer using modular fire extinguishing installations and fire extinguishing capsules containing water-gel compositions.

Keywords: suspensions, water-gel compositions, pyrotechnics extinguishing, quadcopters for fire extinguishing, fire extinguishing gels

Введение

На территории Российской Федерации происходит увеличение спроса на пиротехнические изделия [1, 2]. Объектами возникновения пожаров пиротехнических изделий, как правило, являются предприятия, склады и, в особенности, транспорт. Пожарам подвержены все звенья транспортной цепочки, однако наиболее опасными и сложными являются объекты автомобильного транспорта, ввиду прохождения транспортных маршрутов вблизи населенных пунктов, сложности ликвидации возгораний ограниченным запасом огнетушащих веществ пожарных подразделений [3] (рис. 1).

В связи с этим разработка новых способов тушения пожаров пиротехнических изделий и совершенствование рецептур огнетушащих веществ (ОТВ) является актуальной задачей. Перспективными являются водогелевые составы (ВГС), которые характеризуются повышенными огнетушащими, теплозащитными свойствами и отличаются своей экологичностью по сравнению с воздушно-механической пеной. Исследования ВГС как огнетушащих составов проводятся как в России, так и за рубежом [4].

Целью настоящей работы было исследование свойств и тактико-техническое обоснование применения ВГС при ликвидации возгораний данного

класса веществ современной пожарной техникой.



Рис. 1. Пожары пиротехнических изделий на объектах транспорта: а) на трассе Комсомольск – Хабаровск; б) в Акмолинской области на трассе Нур-Султан – Щучинск

Fig. 1. Fires of pyrotechnic products at transport facilities: a) on the Komsomolsk – Khabarovsk highway; b) in the Akmola region on the Nur-Sultan – Shchuchinsk highway

Материалы и методы исследований

В качестве исследуемого ОТВ рассматривался гидрогель на основе редкосшитого полимера акриловой кислоты

(PAA) Carbopol ETD 2020 с концентрацией гелеобразующего компонента, указанного в масс. %. Составы получены по технологии, описанной в [5]. Сводные данные об ОТВ представлены в табл. 1 [6].

Таблица 1

Сводные данные об огнетушащих составах, используемых в исследовании

Table 1

Summary data on fire extinguishing agents used in the study

| Обозначение Designation | Базовый компонент Basic component | Концентрация гелеобразователя (Carbopol ETD 2020) масс. % Concentration of gelling agent (Carbopol ETD 2020) by mass. % | Плотность ОТВ, кг/м ³ Density of OTV, kg/m ³ | Вязкость Пуазейля ОТВ (η), (Па·с)·10 ⁻² Poiseuille viscosity OTV (η), (Pa·s)·10 ⁻² |
|----------------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| Вода Water | водопроводная вода tap water | – | 1000 | 1,06 |
| ВГС-0,10 WGS-0,10 | водный дистиллят water distillate | 0,10 | 1062 | 0,48 |
| ВГС-0,125 WGS-0,125 | водный дистиллят water distillate | 0,125 | 1040 | 0,55 |
| ВГС-0,20 WGS-0,20 | водный дистиллят water distillate | 0,20 | 1028 | 14,12 |
| ВГС-0,25 WGS-0,25 | водный дистиллят water distillate | 0,25 | 1007 | 107,81 |
| ВГС-0,30 | водный дистиллят | 0,30 | 1088 | 171,63 |

| Обозначение Designation | Базовый компонент Basic component | Концентрация гелеобразователя (Carbopol ETD 2020) масс. % Concentration of gelling agent (Carbopol ETD 2020) by mass. % | Плотность ОТВ, кг/м ³ Density of OTV, kg/m ³ | Вязкость Пуазейля ОТВ (η), (Па·с)·10 ⁻² Poiseuille viscosity OTV (η), (Pa·s)·10 ⁻² |
|----------------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| WGS-0,30 | water distillate | | | |
| ВГС-0,50 WGS-0,50 | водный дистиллят water distillate | 0,50 | 1014 | 190,23 |
| ВГС – 1,00 WGS-1,00 | водный дистиллят water distillate | 1,00 | 1003 | 511,39 |

Исследование подачи ВГС с помощью огнетушителя

При исследовании возможности подачи ВГС в первичных средствах пожаротушения применялся аналог огнетушителя воздушно-эмульсионного объемом 2,5 л с насадкой распылительного типа с диаметром отверстий 3 мм. Пуск ОТВ осуществлялся при нажатии на ручку запорно-

пускового устройства. ОТВ подавались на открытом пространстве (температура окружающей среды –3 °С) в безветренную погоду. Время выхода ОТВ составляло 11 ± 0,3 сек. Технические характеристики водно-эмульсионного огнетушителя представлены в табл. 2

Таблица 2
Технические характеристики водно-эмульсионного огнетушителя
Table 2
Technical characteristics of the water-emulsion fire extinguisher

| № п/п № p/p | Наименование параметра, единицы измерения Name of the parameter, unit of measurement | Показатель Indicator |
|----------------|--|--|
| 1. | Объем ВГС, л WGS volume, l | 2,5 |
| 2. | Продолжительность приведения огнетушителя в действие не более, с The duration of the fire extinguisher actuation is not more than, with | 5 |
| 3. | Рабочее давление в корпусе огнетушителя, МПа Working pressure in the fire extinguisher housing, МПа | 1,6 ± 0,2 % |
| 4. | Габаритные размеры огнетушителя, мм Overall dimensions of the fire extinguisher, mm | - высота 463 / height 463 - диаметр корпуса 110 / case diameter 110 |
| 5. | Масса заряженного огнетушителя не более, кг The weight of the charged fire extinguisher is not more than, kg | 4,5 ± 0,5 |

| | | |
|----|--|--|
| 6. | Материал корпуса огнетушителя Fire extinguisher body material | Сталь с полимерным антикоррозионным покрытием / Steel with polymer anticorrosive coating |
| 7. | Диаметр отверстий, мм Diameter of holes, mm | 3 |

В исследовании применялись методики определения длины струи ОТВ [9], скорости истечения из насадки [10,11], расхода ОТВ.

Расход ОТВ определялся по формуле (1), а скорость истечения из насадки определялась по формуле (2) с учетом вязкости ВГС.

$$Q_{\text{ОТВ}} = V_{\text{ОТВ}}/t_{\text{ОТВ}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ОТВ}}$ — расход ОТВ, л/с;

$V_{\text{ОТВ}}$ — объем ОТВ в огнетушителе, л;

$t_{\text{ОТВ}}$ — время выхода ОТВ из огнетушителя, с.

$$v_{\text{ист}} = 4V_{\text{жид}}/\pi d^2 \varphi_{\text{соп}}, \quad (2)$$

где $v_{\text{ист}}$ — скорость истечения ОТВ, м/с;

$V_{\text{жид}}$ — объемный расход ОТВ, определен по формуле (3), м³/с;

d — диаметр сечения форсунок, м;

$\varphi_{\text{соп}}$ — коэффициент заполнения сопла (0,96).

$$V_{\text{жид}} = \frac{\pi d^2}{4} K_{\text{ж}} \sqrt{\frac{2p_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (3)$$

где d — диаметр сопла форсунки, м;

$K_{\text{ж}}$ — коэффициент расхода жидкости;

$p_{\text{ж}}$ — напор, давление жидкости перед форсункой, Па;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости кг/м³.

Длина струи определялась по дальней границе распространения основной массы огнетушащего вещества на 4-й секунде подачи огнетушащего состава. Распределение массы ОТВ отслеживалось по горизонтальной проекции струи на снежной поверхности. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

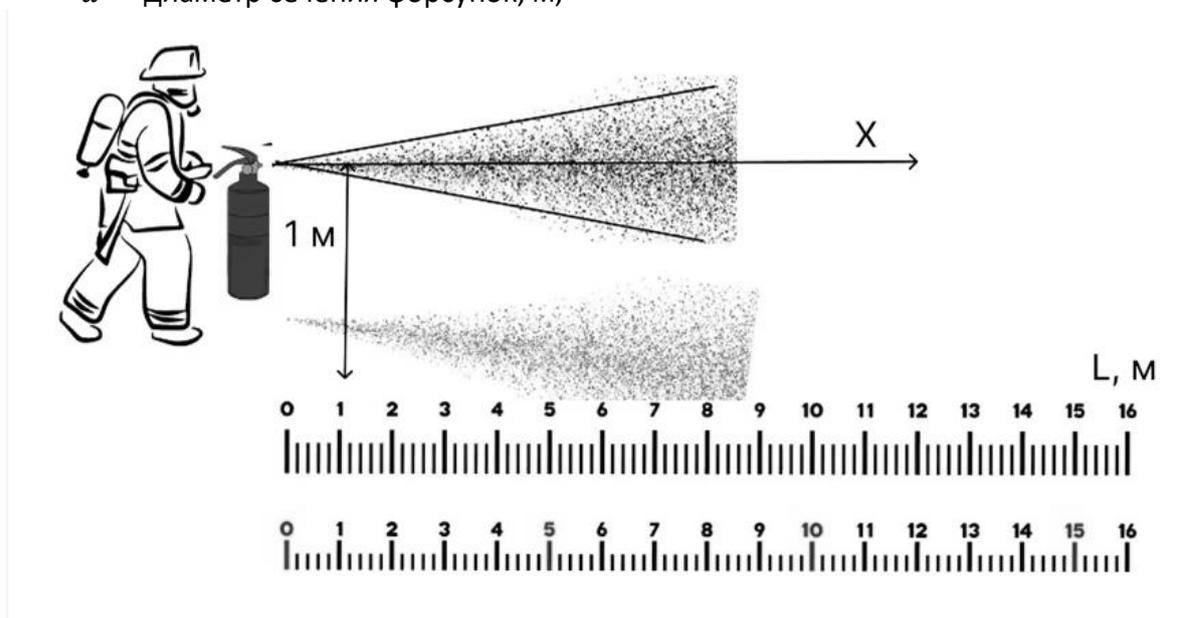


Рис. 2. Принципиальная схема проведения испытаний

Fig. 2. Schematic diagram of the test

*Исследование подачи ВГС
с помощью МУПТ*

В качестве прибора подачи ОТВ использовалась модульная установка пожаротушения тонкораспыленной водой (МУПТ) с рабочим объемом 18 литров. Диаметр распыленных капель не превышал 150 мкм. Технические характеристики МУП ТРВ представлены на табл. 3. Тушение модельного очага МУПТ производилось путем подачи в очаг горения диспергированного ОТВ. Запуск МУПТ

осуществлялся дистанционно посредством замыкания контактов. Вытеснение ОТВ из корпуса модуля производилось газом, вырабатываемым газогенерирующим элементом. В качестве ОТВ применялись вода и ВГС с концентрацией гелеобразователя 0,1 и 0,2 масс. %. Определение огнетушащей способности проводилось в соответствии с п. 9.13 ГОСТ Р 53288-2009. Влажность пиломатериала не более 13 ± 1 %. Температура воздуха в очаге класса А составляла около 20 °С.

Таблица 3
Технические характеристики МУП ТРВ
Table 3
Technical characteristics of CBM TRV

| № п/п № p/p | Характеристика Characteristic | Показатель Indicator |
|----------------|---|-------------------------|
| 1. | Объем ОТВ Volume of extinguishing agent | 18 литров 18 liters |
| 2. | Расход ОТВ Expenditure of extinguishing agent | 4,5 л/с 4.5 liters/s |
| 3. | Масса модуля полная Module total weight | 32 кг 32 kg |
| 4. | Продолжительность подачи ОТВ The duration of the supply of extinguishing agent | 4 с 4 s |
| 5. | Высота размещения форсунки Height of nozzle placement | 6 м 6 m |

*Исследование подачи ВГС с помощью
насосно-рукавных систем (НРС)*

Для моделирования подачи ВГС по НРС в качестве исходных данных

использовались характеристики пожарного автомобиля первой помощи марки АПП-1.0-40-2 001ТМ. Характеристики автомобиля представлены в табл. 4.

Таблица 4
Характеристики АПП-1.0-40-2 001ТМ
Table 4
APP characteristics-1.0-40-2 001ТМ

| Наименование параметра / Name of the parameter | Показатель / Indicator |
|--|---|
| Базовое шасси ЗИЛ-5301 ЮО / Basic chassis ZIL-5301 South | Колесная формула 4×2 / Wheel formula 4×2 Полная масса 6950 кг / Gross weight 6950 kg |

| | |
|--|---|
| Габаритные размеры / Overall dimensions | Длина 6950 мм / Length 6950 mm Ширина 2350 мм / Width 2350 mm Высота 2680 мм / Height 2680 mm |
| Максимальная скорость / Maximum speed | 95 км/ч / 95 km/h |
| Число мест боевого расчета / Number of combat crew seats | 3 человека / 3 people |
| Емкость цистерны для воды / Water tank capacity | Не менее 1000 литров / At least 1000 liters |
| Емкость бака для пенообразователя / Capacity of the foaming agent tank | 90 литров / 90 liters |

Гидравлический расчет проводился по стандартной методике [7, 8] для всех диаметров напорных рукавов (РПМ), имеющих в комплекте АПП ($\varnothing 50$, $\varnothing 65$, $\varnothing 80$), в том числе для рукавов высокого давления ($\varnothing 25$).

Характеристики пожарных насосов, использующихся в АПП, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристики пожарных насосов НЦПВ 40/200 и НЦПК-40/100-4/400

Table 5

Characteristics of fire pumps NCPN 40/200 and NCPK-40/100-4/400

| Наименование параметра Name of the parameter | Показатель Indicator | |
|---|---|--|
| тип type | центробежный высокого давления high pressure centrifugal | центробежный двухступенчатый комбинированный centrifugal two-stage combined |
| модель model | НЦПВ 40/200 NCPV 40/200 | НЦПК-40/100-4/400 NCPK-40/100-4/400 |
| номинальная подача насоса nominal pump flow | 20 л/с 20 liters/s | При напоре 100 м вод.ст. – 40 л/с при напоре 440 м вод.ст. – 2 л/с при совместной работе двух ступеней: -низкой 20 л/с -высокой 2 л/с At a head of 100 m.water.st. 40 liters/s at a head of 440 m.water.st. 2 liters/s when two stages work together: -low 20 liters/s -high 2 liters/s |
| напор на выходе насоса pressure at the pump outlet | При частоте вращения 3200 об/мин и подаче 15 л/с – 300 м напор насоса в номинальном режиме – 200 м | Нормального давления не менее 100 м вод.ст. (10 атм) высокого давления не менее 440 м вод.ст. (44 атм) |

| | | |
|--|---|--|
| | At a rotation speed of 3200 rpm and a supply of 15 liters/s – 300 m pump head in nominal mode – 200 m | Normal pressure of at least 100 m.water.st. (10 atm) high pressure of at least 440 m.water.st. (44 atm) |
|--|---|--|

Число Рейнольдса, используемое для выявления режима движения жидкости в трубопроводе, определялось по формуле:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot U}{\eta} \quad (4)$$

где ρ – плотность жидкости;

d – диаметр трубопровода (трубопровода высокого давления принимаем равным 25 мм, для напорных рукавов (РПМ-3,0) принимаем равным 50, 65, 80 мм;

U – скорость потока в трубопроводе;

η – коэффициент динамической вязкости (определен экспериментально для ВГС).

Для расчета потери напора по длине трубопровода при турбулентном режиме движения жидкости использовалась формула Вейсбаха – Дарси:

$$h_{дл} = \lambda \frac{lU^2}{2gd}, \quad (5)$$

где $h_{дл}$ – потери напора по длине;

λ – коэффициент гидравлического сопротивления;

l – длина трубопровода (60 м);

U – скорость движения жидкости;

g – ускорение силы тяжести;

d – диаметр трубопроводной магистрали.

Скорость движения ОТВ вычислялась по формуле:

$$U = \frac{Q}{A}, \quad (6)$$

где Q – расход жидкости через трубопровод (2 л/с);

A – площадь живого сечения

$$(A = \frac{\pi d^2}{4});$$

d – внутренний диаметр трубы.

Коэффициент гидравлического сопротивления рассчитывался исходя из режима движения жидкости.

Для расчета потерь напора по длине трубопровода при ламинарном режиме движения жидкости использовалась формула Пуазейля – Гагена:

$$h_{дл} = \frac{32Ul\eta}{2gd^2}, \quad (7)$$

где $h_{дл}$ – потери напора по длине;

U – скорость движения жидкости;

l – длина трубопровода (60 м);

η – коэффициент динамической вязкости жидкости;

g – ускорение силы тяжести;

d – диаметр трубопроводной магистрали (25, 50, 65, 80 мм).

Для расчета необходимого напора на насосе использовалась формула:

$$H_{тр}^{насос} = n \cdot S_p \cdot Q^2 + H_{ств} + Z_{ств}, \quad (8)$$

где n – количество рукавов, шт.;

S_p – сопротивление одного рукава в рукавной линии в зависимости от типа и диаметра;

Q – суммарный расход ОТВ из стволов, подсоединенных к одной наиболее нагруженной рукавной линии, л/с;

$H_{ств}$ – напор на стволе, м вод.ст.;

$Z_{ств}$ – высота подъема пожарного ствола, м.

С учетом потерь напора (см. в табл. 7), формула примет вид:

$$H_{тр}^{насос} = H_{р.л.} + H_{ств} + Z_{ств}, \quad (9)$$

где $H_{р.л.}$ – потери напора в рукавной линии, м вод.ст.,

$H_{ств}$ – напор на стволе, м вод. ст.;

$Z_{ств}$ – высота подъема пожарного ствола, м, принималось равным нулю.

Результаты и обсуждение

Результаты подачи ВГС с помощью огнетушителя

Расход ОТВ из огнетушителя определялся по формуле (1) и составил 0,227 л/с. Скорость истечения из насадки определялась по формуле (2) и в среднем составила 56,91 м/с.

В результате проведенных испытаний огнетушитель обеспечил выпуск всех исследуемых ОТВ в полном объеме. Зависимость длины струи от концентрации ВГС представлена на рис 3.

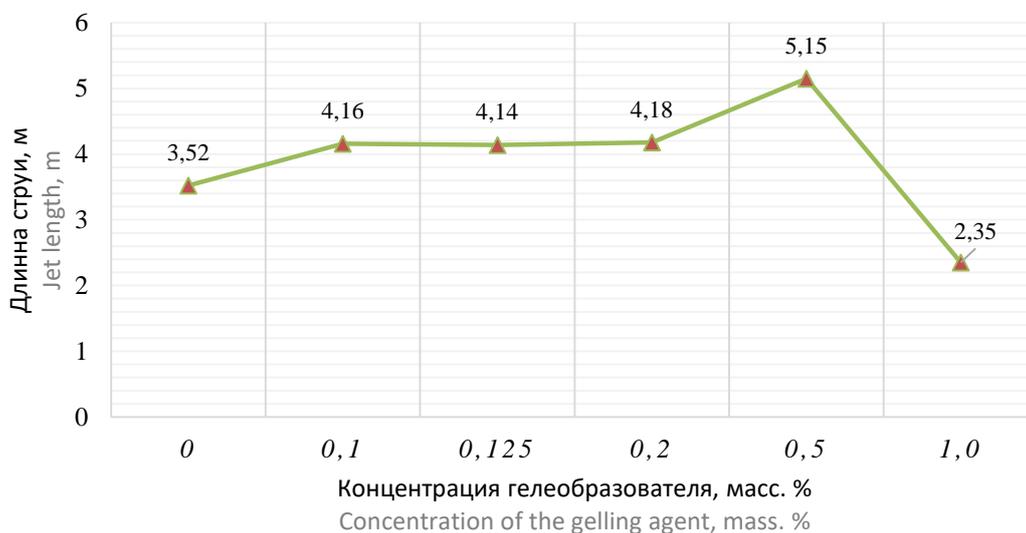


Рис. 3. Зависимость длины струи от концентрации гелеобразователя
Fig. 3. Dependence of the jet length on the concentration of the gelling agent

Увеличение длины струи происходит при концентрациях 0,1...0,5 масс. %. Наибольшая длина струи наблюдалась при концентрации гелеобразователя 0,5 масс. % (увеличение длины на 46 % по сравнению с водой), а наименьший результат – 1,0 масс. % (снижение длины на 33 % по сравнению с водой). Увеличение длины струи предположительно связано с увеличением кинетической энергии капель, ввиду повышения плотности ОТВ, при одинаковом начальном давлении в системе [13]. Однако, несмотря на, увеличенную кинетическую энергию, состав ВГС 1,0 масс. % обладает повышенной вязкостью, что предположительно влияет на процесс диспергирования в газовой среде. В публикации [Ошибка! Источник ссылки не найден.] исследовались перемычки, образующиеся при отрыве капель вязких (масло, глицерин) и маловязких (вода, спирт) жидкостей. По результатам данных

работ можно предположить, что в маловязких жидкостях перемычки являются быстроформирующимися и короткими, тогда как в вязких – короткие трансформируются в нитевидные с переменной толщиной и существуют дольше, чем в маловязких. Следовательно, они являются более прочными и эластичными, что, предположительно, увеличивает силу, противодействующую кинетической энергии при диспергировании.

Результаты подачи ВГС с помощью МУПТ

В результате работы МУПТ модельный очаг был потушен. После выпуска ВГС с концентрациями гелеобразователя 0,1 и 0,2 масс. % повторного возгорания не выявлено в течение 10 минут, при тушении водой обнаружено повторное возгорание на 5-й минуте. Время тушения модельного очага МУПТ представлено на Рис. 4.

Интенсивность подачи ОТВ и площадь тушения в зависимости от высоты размещения модуля показана на Рис. 5. В работе [15] для тушения модельного очага класса А водногелевый состав с концентрацией гелеобразователя 0,2 масс. % подается с интенсивностью 0,024 л/(с·м²).

Для обеспечения требуемой интенсивности методом аппроксимации найдено значение высоты размещения модуля – 8,79 м. На заданной высоте при помощи аппроксимации рассчитана площадь тушения – 32,53 м².

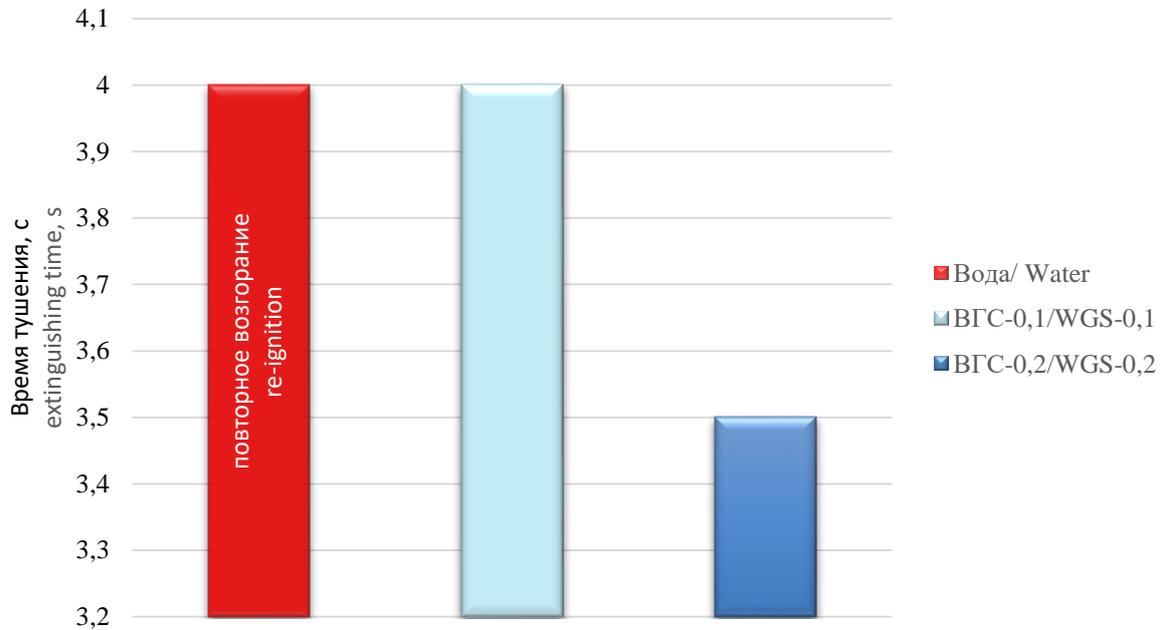


Рис. 4. Время тушения модельного очага МУПТ

Fig. 4. Extinguishing time of the model MUPT hearth

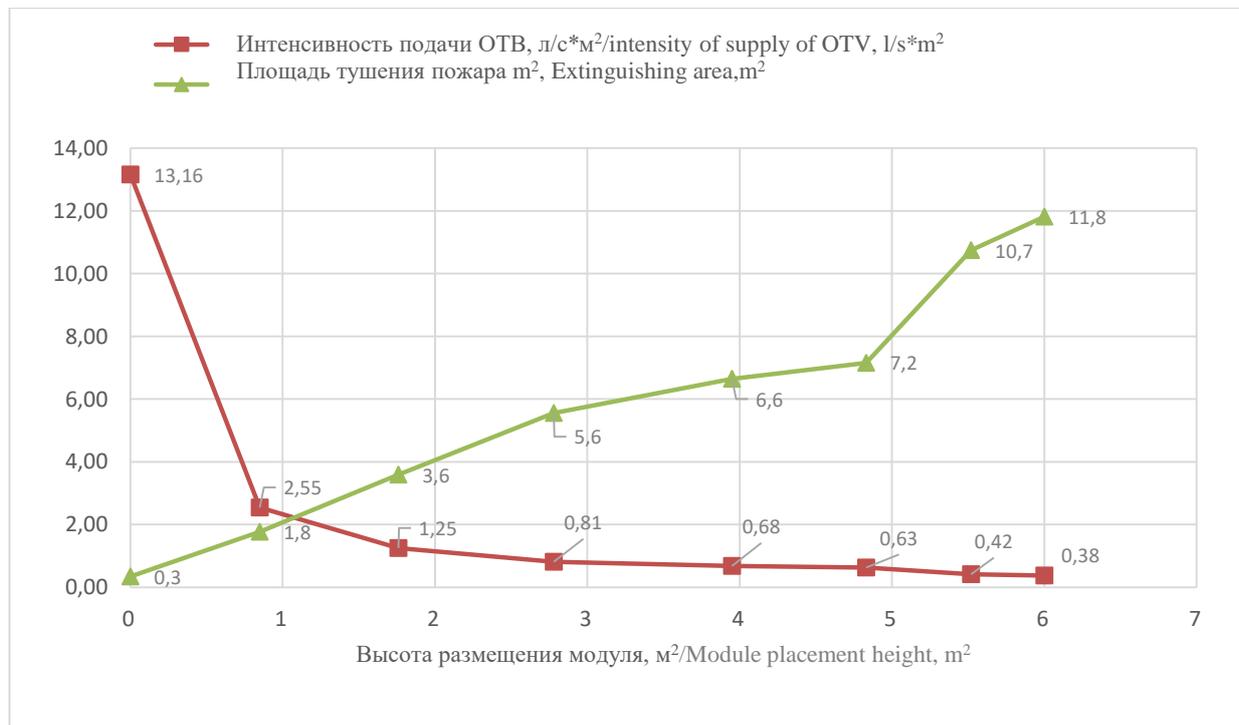


Рис. 5. Зависимость интенсивности подачи ОТВ и площади тушения пожара от высоты размещения модуля

Fig. 5. Dependence of the intensity of the supply of OTV and the fire extinguishing area on the height of the module placement

Применение модульных установок пожаротушения возможно при обеспечении требуемой интенсивности для тушения твердых материалов с оптимальной высотой подачи не более 8,79 м и расчетной площадью 32,53 м².

Результаты расчетов подачи ВГС с помощью НРС

В табл. 6 представлена зависимость режима движения жидкости от концентрации гелеобразователя в ОТВ, полученная по результатам расчетов по формуле (4).

Таблица 6

Распределение режимов движения жидкости в зависимости от концентрации гелеобразующего компонента

Table 6

Distribution of fluid flow modes depending on the concentration of the gel-forming component

| Концентрация гелеобразователя, масс. % Concentration of the gelling agent, mass. % | Число Рейнольдса Reynolds number | | | | Режим движения жидкости Fluid flow mode |
|---|-------------------------------------|---------|---------|----------|--|
| | Ø25 | Ø50 | Ø65 | Ø80 | |
| — | 96142,3 | 47128,6 | 36417,5 | 31215,03 | турбулентный turbulent |
| 0,10 | 22547,8 | 11052,8 | 8540,8 | 7320,70 | турбулентный turbulent |
| 0,125 | 19270,4 | 9446,3 | 7299,4 | 6256,63 | турбулентный turbulent |
| 0,20 | 741,9 | 363,7 | 281,0 | 240,90 | ламинарный laminar |
| 0,25 | 95,2 | 46,7 | 36,1 | 30,91 | ламинарный laminar |
| 0,30 | 64,6 | 31,7 | 24,5 | 20,98 | ламинарный laminar |
| 0,50 | 54,3 | 26,6 | 20,6 | 17,64 | ламинарный laminar |
| 1,00 | 19,9 | 9,8 | 7,6 | 6,49 | ламинарный laminar |

По результатам проведенных расчетов было определено, что вода и ВГС с концентрациями гелеобразователя 0,1 масс. %

и 0,125 масс. % имеют турбулентный режим движения, а при увеличении гелеобразователя до 0,2 масс. % жидкость переходит в ламинарный режим движения.

Результаты расчета потерь давления по длине трубопровода по формулам (5),(7) представлены в табл. 7.

Проанализировав полученные данные потерь напора в трубопроводе высокого давления, можно сделать вывод, что наименьшее сопротивление имеет вода,

а наибольшее ВГС с концентрацией 1,0 масс. %. Также необходимо отметить снижение потерь напора при увеличении диаметра рукавов. Так во время ламинарного режима движения ВГС при увеличении диаметра в 2 раза наблюдается снижение потерь давления более чем в 17 раз.

Сводные данные расчета напора в насосе пожарного автомобиля для исследуемых ОТВ представлены в табл. 8.

Таблица 7
Потери напора в трубопроводе
Table 7
Pressure losses in the pipeline

| Обозначение Designation | Потери давления по длине трубопровода ($h_{дл}$), м вод.ст. Pressure losses along the length of the pipeline (h_{dl}), m.water.st. | | | |
|----------------------------|---|--------|-------|-------|
| | Ø25 | Ø50 | Ø65 | Ø80 |
| Вода Water | 49,01 | 0,03 | 0,01 | 0,01 |
| ВГС-0,10 WGS-0,10 | 58,28 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |
| ВГС-0,125 WGS-0,125 | 59,84 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |
| ВГС-0,20 WGS-0,20 | 87,67 | 5,06 | 1,80 | 0,97 |
| ВГС-0,25 WGS-0,25 | 683,33 | 39,46 | 14,07 | 7,59 |
| ВГС-0,30 WGS-0,30 | 1006,86 | 58,14 | 20,73 | 11,19 |
| ВГС-0,50 WGS-0,50 | 1197,41 | 69,14 | 24,65 | 13,31 |
| ВГС – 1,00 WGS-1,00 | 3254,27 | 187,90 | 66,99 | 36,16 |

Таблица 8
Сводные данные о требуемом напоре в насосе
Table 8
Summary data on the required pressure in the pump

| Обозначение Designation | Напор на насосе при напоре на стволе 30 м вод.ст. The pressure on the pump at the pressure on the trunk is 30 m water.art. | | | |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|
| | Ø25 | Ø50 | Ø65 | Ø80 |
| Вода | 79,01 | 30,03 | 30,01 | 30,01 |

| Обозначение Designation | Напор на насосе при напоре на стволе 30 м вод.ст. The pressure on the pump at the pressure on the trunk is 30 m water.art. | | | |
|----------------------------|---|---------|-------|-------|
| | Ø25 | Ø50 | Ø65 | Ø80 |
| Water | | | | |
| ВГС-0,10 WGS-0,10 | 88,28 | 30,06 | 30,03 | 30,02 |
| ВГС-0,125 WGS-0,125 | 89,84 | 30,06 | 30,03 | 30,02 |
| ВГС-0,20 WGS-0,20 | 117,67 | 35,06 | 31,8 | 30,97 |
| ВГС-0,25 WGS-0,25 | 713,33* | 69,46 | 44,07 | 37,59 |
| ВГС-0,30 WGS-0,30 | 1036,86* | 88,14 | 50,73 | 41,19 |
| ВГС-0,50 WGS-0,50 | 1227,41* | 99,14 | 54,65 | 43,31 |
| ВГС – 1,00 WGS-1,00 | 3284,27* | 217,9** | 96,99 | 66,16 |

*Примечание: * отмечены значения, превышающие номинальный напор ступени высокого давления пожарного насоса НЦПК 40/100-4/400; ** отмечены значения, превышающие номинальный напор пожарного насоса НЦПВ 40/200.*

По результатам расчетов напора на насосе выявлено, что использовать в катушке высокого давления не представится возможным ВГС с концентрациями 0,25...1,00 масс. %. При использовании ВГС в насосно-рукавных системах есть ограничение в виде концентрации гелеобразователя 1,00 масс. %. Подачу ВГС с остальными концентрациями целесообразно осуществлять как по магистральным (Ø80), так и по рабочим рукавными линиям (Ø50, Ø65). При выявлении огнетушащих и теплозащитных свойств ВГС в исследовании [12] оптимальной концентрацией стал водногелевый состав с концентрацией гелеобразователя 0,5 масс. %.

Методика применения ВГС при тушении пожаров пиротехнических изделий на транспорте

Методика применения ВГС при пожаротушении с помощью НРС

Исходя из данных, представленных в табл. 8, можно сделать вывод, о том, что для подачи ВГС необходимо иметь на АПП следующее оборудование:

- пожарный насос, не уступающий по номинальному напору НЦПК 40/100-4/400 или НЦПВ 40/200;
- катушку и ствол высокого давления (СВД);
- напорные рукава типа РПМ-3,0 с условными диаметрами 51, 66, 77 мм;
- пожарный ствол КУРС-8И с возможностью снижать расход ОТВ до 2 л/с.

Согласно расчетам ВГС с концентрациями 0,10–1,00 масс. % можно применять в НРС, однако следует учитывать износ насоса и пожарных рукавов, а также примечания к табл. 8. Влияние свищей и ремонта пожарных рукавов на потери напора по длине рукавной линии требует дополнительного исследования.

Методика применения исследуемого ОТВ предусматривает, что ВГС приготавливается заблаговременно и заправляется в бак для воды АПП. При прибытии к месту пожара пожарный расчет из двух пожарных и водителя на АПП (при применении ствола высокого давления 1 пожарного и одного водителя) производит разведку пожара, определяют места установки техники, позиции ствольщика и производят полное развертывание.

Определено максимальное время работы ствола с расходом 2 л/с – 7 мин. Следовательно, для тушения пожара фуры площадью 39 м² потребуется два пожарных автомобиля АПП. Типовая схема развертывания сил и средств для применения исследуемого ОТВ в НРС представлена на рис. 6.

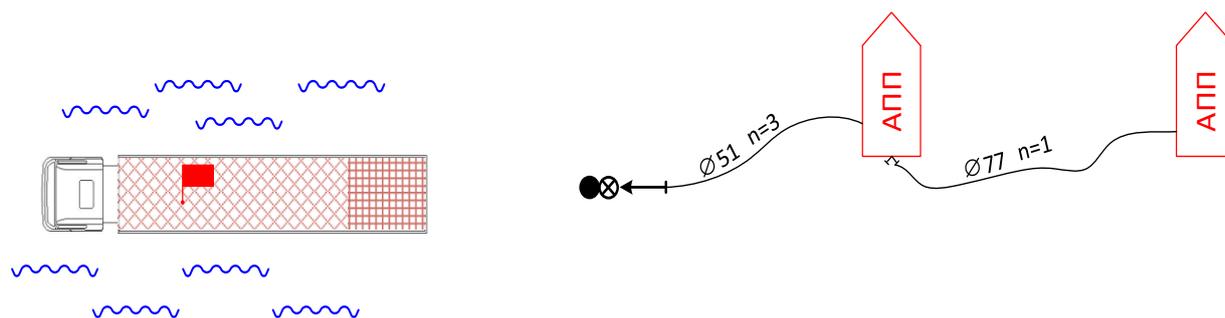


Рис. 6. Схема развертывания сил и средств для подачи ВГС

Fig. 6. Scheme of deployment of forces and means for the submission of WGS

*Методика применения ВГС
при пожаротушении с помощью
огнетушителя*

Применение ВГС в огнетушителях закачного типа обеспечивает создание на поверхности изоляционного слоя, отвод тепла из зоны горения и тепловую защиту негорящих материалов и может позволить тушение на уровне современных средств пожаротушения, которыми укомплектовываются объекты транспорта [17]. Водногелевые составы полностью безопасны

для людей и окружающей среды, поэтому персонал, применяющий данные огнетушители, может исключить защиту дыхательных путей от проникновения ОТВ, что необходимо при использовании ОП-5.

Данные огнетушители целесообразно применять реагирующим подразделениям для тушения вновь возникших очагов в результате разлета горящих элементов фейерверков. Схема применения огнетушителя с ВГС представлена на рис. 7.

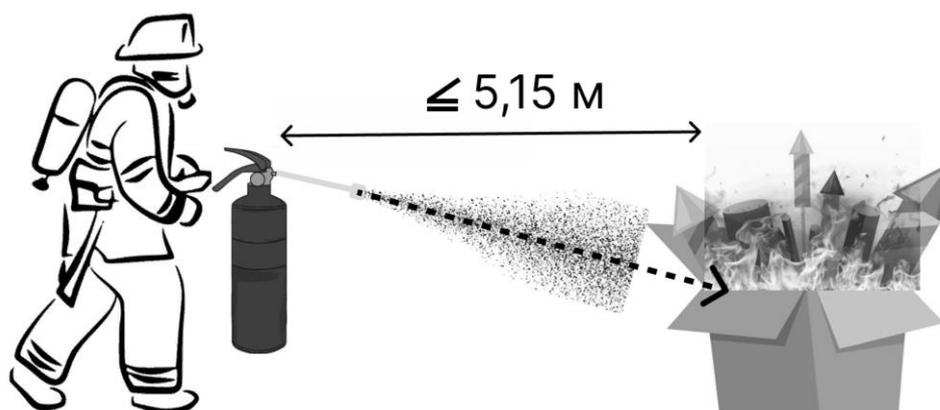


Рис. 7 Схема применения огнетушителя с ВГС

Fig. 7 Scheme of using a fire extinguisher with WGS

Методика применения ВГС при пожаротушении с помощью БПЛА

На сегодняшний день на базе БПЛА возможно применять огнетушащие капсулы с эффективными концентрациями ВГС, создавая заряды весом 0,5 кг; 0,7 кг

и 1,3 кг (рис. 8). Принципом работы капсулы является подача ОТВ в зону горения посредством высвобождения газов и разрушения корпуса.

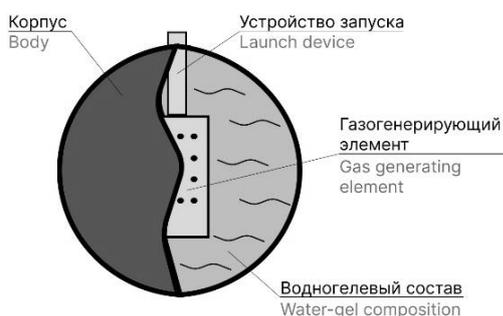


Рис. 8 Огнетушащие шары с ВГС и сбрасывающее устройство БПЛА

Fig. 8 Fire extinguishing balls with WGS and UAV drop device

Модульные установки пожаротушения являются эффективными, а применение технологии тонкого распыла позволяет увеличить теплоотвод из зоны горения и сократить необходимое количество ОТВ. Исходя из возможной площади

пожара (39,44 м²) на рис. 9 представлены размещение МУП ТРВ на квадрокоптере и схема проведения воднотелевой атаки БПЛА с МУП при тушении объектов транспорта.



Рис. 9. а) Размещение МУП ТРВ на БПЛА; б) схема проведения водногелевой атаки БПЛА с МУП при тушении

Fig. 9. a) Placement of the MUP TRV on the UAV; b) a scheme for carrying out a water-gel attack of an UAV with MUP during extinguishing

Для применения дронов с МУП при тушении пожаров необходимо сформировать подразделение на базе специализированной пожарно-спасательной части. В состав подразделения включить транспортный модуль пожарных БПЛА (расчет: 1 водитель,

1 техник) с запасом ОТВ (МУП, огнетушащих капсул) и пункт управления БПЛА (расчет: 1 водитель, 1 оператор). Алгоритм применения пожарных БПЛА представлен на рис. 10.

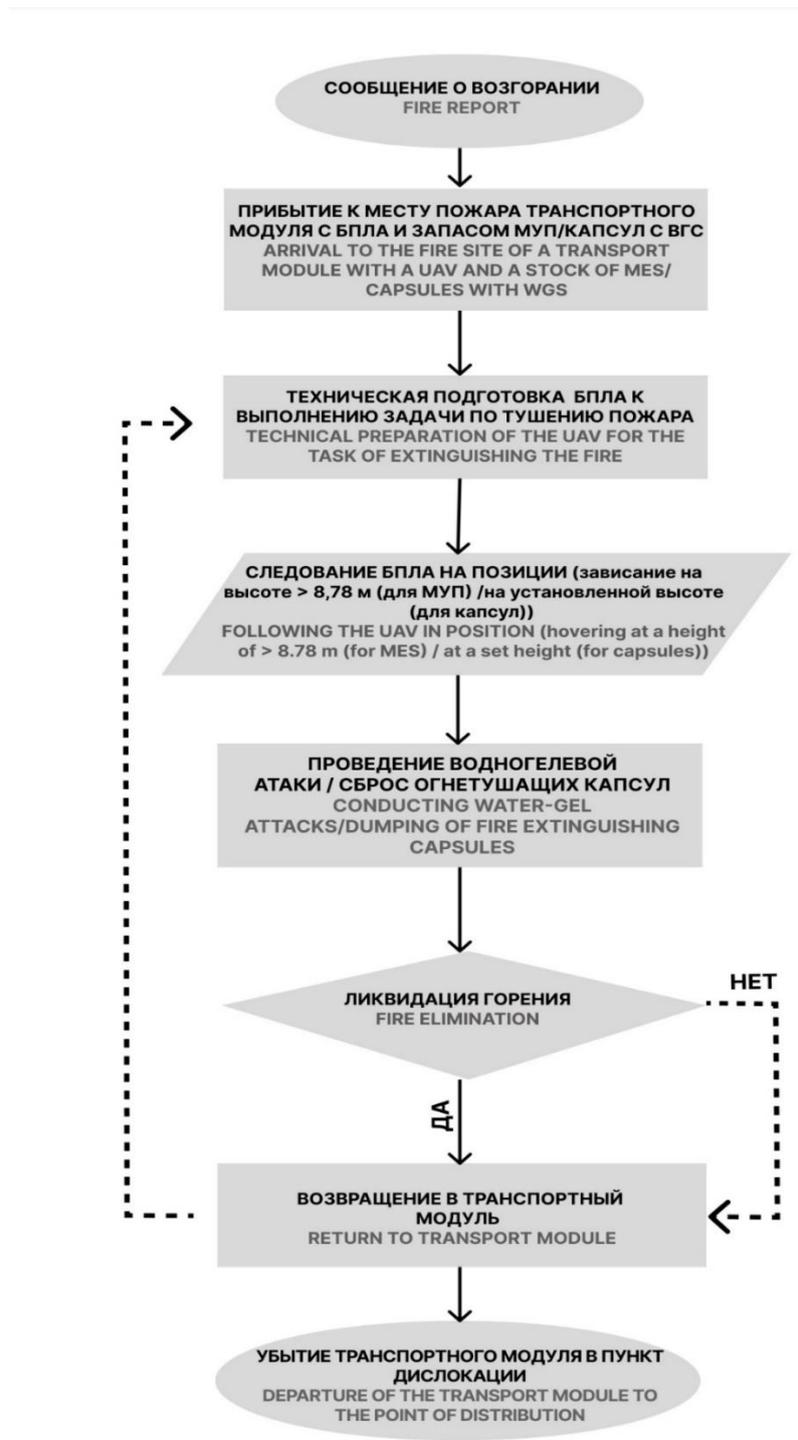


Рис. 10. Алгоритм применения пожарных БПЛА на месте вызова

Fig. 10. Algorithm for the use of firefighting UAVs at the call site

Выводы

Проведенные расчеты и экспериментальные данные подтверждают перспективность применения ВГС в качестве агента тушения пожаров пиротехнических

изделий. Необходимо отметить, что применять их могут как пожарные подразделения, при помощи имеющейся на вооружении техники и ПТВ, квадрокоптеров с МУП и огнетушащими капсулами, так и персонал объектов транспорта и транспортной инфраструктуры при помощи

первичных средств пожаротушения. При использовании ВГС будут созданы условия для тушения пожара и тепловой защиты, а при недостаточности объема для ликвидации распространение огня будет ограничено.

Применение ВГС с помощью БПЛА позволит оперативно доставлять ОТВ точно в зону горения, избежать гибели среди пожарных, участвующих в тушении пиротехнических изделий и взрывчатых веществ в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Перминов В. П., Султанов Ф. Ф., Саяпова Д. Ф. Актуальные вопросы изменения законодательства России в области пожарной безопасности // Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (firesafety 2019): материалы I Всероссийской научно-практической конференции в 2 т., Уфа, 23 октября 2019 г. – Уфа, 2019. – Т. 2. – С. 103–108.
2. Ожоги мирного времени. Источники опасности / В. А. Соколов и др. // Клиническая медицина. 2015. Т. 93. № 6. С. 30–35.
3. Чрезвычайные ситуации и их последствия в 2021 г.: стат. сб. / А. А. Порошин и др. М., 2022. 70 с.
4. Tian X. et al. Research on Structure and Fire Control System of Fire Fighting UAV Based on Polymer Gel Fire Bomb //2022 IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC). – IEEE, 2022. – Т. 10. – С. 842-845.
5. Гаджиев Ш. Г. Тактико-техническое обеспечение огнезащиты и тушения пожаров модифицированными водногелевыми составами на транспорте: дисс. ... канд. техн. наук. СПб., 2018. 127 с.
6. Михайлова В. И. Реализация систем тепловой защиты резервуарного парка для хранения нефтепродуктов на основе модифицированных водногелевых составов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 1 (57). С. 119–122.
7. Калицун В. И., Кедров В. С., Ласков Ю. М. Гидравлика, водоснабжение и канализация. М., 2001. 397 с.
8. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика. М., 1975. 323 с.
9. ГОСТ Р 51057–01. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2001.
10. Тимонин А. С. Инженерно-экологический справочник. Калуга, 2003. Т. 1. 917 с.
11. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. М., 1984. 249 с.
12. Воронцов Т. С., Иванов А. В. Исследование физико-химических свойств водногелевых огнетушащих составов в условиях ликвидации горения промышленных взрывчатых веществ и их компонентов // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2. С. 50–58.
13. Куприн Г. Н., Куприн Д. С., Колыхалов Д. Г. Огнетушитель газогенераторный для взрывопожаропредотвращения и твердопенного тушения. 2019.
14. Чашечкин Ю. Д., Прохоров В. Е. Трансформации перемишки в процессе отрыва капли // Прикладная механика и техническая физика. 2016. Т. 57. № 3. С. 16–31.
15. Гаджиев Ш. Г., Иванов А. В., Крутолапов А. С. Тактико-техническое обоснование применения модифицированных водногелевых составов для тепловой защиты и тушения пожаров // Управления рисками в техносфере. 2016. С. 51.
16. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пиротехнических изделий»: принят решением Комиссии Таможенного союза от 16.08.2011 № 770. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
17. Вогман Л. П., Зуйков В. А. Нормы и правила по обеспечению пожарной безопасности при обращении пиротехнической продукции. Часть II. Пожарная безопасность при реализации, хранении, утилизации, транспортировании пиротехнических изделий и проведении фейерверков на открытом воздухе и в помещениях // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 9. С. 5–24.

REFERENCES

1. Perminov V. P., Sultanov F. F., Sayapova D. F. Actual issues of changing the legislation of Russia in the field of fire safety / V. P. Perminov. Modern problems of fire safety: theory and practice (firesafety 2019) : Materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference: in 2 volumes, Ufa, October 23, 2019 / Ufa State Aviation

- Technical University; The Main Directorate of the Ministry of Emergency Situations of Russia in the Republic of Bashkortostan. Volume II. – Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2019; 103–108. (rus).
2. Sokolov V. A. et al. Peacetime burns. Sources of danger. Clinical medicine, 2015. Vol. 93.6: 30–35. (rus).
 3. Emergency situations and their consequences in 2021: statistical collection / Doctor of Technical Sciences A.A. Poroshin, Candidate of Technical Sciences Yu.A. Matyushin, Candidate of Technical Sciences A.G. Firsov, A.M. Arslanov, V.N. Kopchenov. M.: VNIPO, 2022; 70. (rus).
 4. Tian X. et al. Research on Structure and Fire Control System of Fire Fighting UAV Based on Polymer Gel Fire Bomb. IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC; 2022; 10: 842–845.
 5. Gadzhiev Sh.G. Tactical and technical support of fire protection and fire extinguishing with modified water-gel compositions in transport: dissertation of Candidate of Technical Sciences 05.26.03 / Gadzhiev Shamil Gadzhievich. St. Petersburg, 2018; 127. (rus).
 6. Mikhailova V. I. Implementation of thermal protection systems of a tank farm for storing petroleum products based on modified water–gel compositions. XXI century: results of the past and problems of the present plus, 2022; 1(57): 119– 122. – DOI 10.46548/21vek-2022-1157-0024. (rus).
 7. Kalitsun V. I. Kedrov V. S., Laskov Yu. M. Hydraulics, water supply and sewerage. Stroyizdat, 2001; 397. (rus).
 8. Altshul A.D., Kiselev P.G. Hydraulics and aerodynamics. Stroyizdat, 1975; 323. (rus).
 9. GOST R. 51057-01. Portable fire extinguishers. General technical requirements. Test methods. Moscow: Publishing House of standards, 2001. (rus).
 10. Timonin A.S. Engineering and environmental handbook. Kaluga, Publishing House, 2003; 917. (rus).
 11. Pages D.G., Galustov V.S. Fundamentals of the technique of spraying liquids. Chemistry, 1984; 249. (rus).
 12. Vorontsov T. S., Ivanov A.V. Investigation of the physicochemical properties of water-gel extinguishing compounds in the conditions of elimination of combustion of industrial explosives and their components. Modern problems of civil protection Founders: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, 2022; 2: 50–58. (rus).
 13. Kuprin G. N., Kuprin D. S., Kolykhalov D. G. Gas generator fire extinguisher for explosion and fire prevention and solid-foam extinguishing, 2019. (rus).
 14. Chashechkin Yu. D., Prokhorov V. E. Transformation of the jumper in the process of separation of a drop. Applied mechanics and technical physics, 2016. 57(3): 16–31. (rus).
 15. Gadzhiev Sh. G., Ivanov A.V., Krutolapov A. S. Tactical and technical justification of the use of modified water-gel compositions for thermal protection and fire extinguishing. Risk management in the technosphere, 2016; 51. (rus).
 16. Technical Regulations of the Customs Union "On the safety of pyrotechnic products": adopted by the decision of the Commission of the Customs Union of 16.08.2011 No. 770. Access from help.- the legal system "ConsultantPlus". (rus).
 17. Vogman L. P., Zuikov V. A. NORMS AND RULES FOR ENSURING FIRE SAFETY WHEN HANDLING PYROTECHNIC PRODUCTS Part II. Fire safety during the sale, storage, disposal, transportation of pyrotechnic products and fireworks in the open air and indoors //Fire and explosion safety, 2015; 24 (9): 5–24. (rus).

Информация об авторах

Воронцов Тарас Сергеевич, преподаватель кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр-кт Строителей, д. 33; SPIN-код: 3730-9590; e-mail: taras.chek@yandex.ru

Information about the authors

Taras S. Vorontsov, Teacher of the Department of Fire-fighting, Physical Training and Gas-smoke Protection Service, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Stroiteley Ave., 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; SPIN-code: 3730-9590; e-mail: taras.chek@yandex.ru

УДК 614.84

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СООТНОШЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-НАДЗОРНОЙ И АДМИНИСТРАТИВНО-ЮРИСДИКЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНОВ ГПН ФПС

Ефимов Иван Александрович¹, Черепанов Евгений Александрович¹, Кректунов Алексей Александрович¹, Галицков Владимир Александрович^{1,2}

¹Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье на основе организационных и нормативных правовых подходах рассматриваются некоторые вопросы соотношения контрольно-надзорной и административно-юрисдикционной деятельности органов ГПН ФПС в связи с реформированием процесса осуществления контрольно-надзорной деятельности и реализации полномочий при производстве по делам об административных правонарушениях. Анализируются вопросы соотношения механизма привлечения лиц к административной ответственности и мер, применяемых по результатам контрольно-надзорных мероприятий. В статье исследуется возможность внесения системных изменений в нормативные правовые акты, регламентирующие административно-юрисдикционную и контрольно-надзорную деятельность. Обосновывается необходимость эффективного соотношения контрольно-надзорных и административно-юрисдикционных полномочий органов ГПН ФПС в целях повышения эффективности профилактики нарушения требований пожарной безопасности. На основе исследования обосновывается необходимость правовой регламентации осуществления рейдов органами ГПН ФПС, что позволяет обоснованно привлекать лиц к административной ответственности вне рамок осуществления контрольно-надзорной деятельности.

Ключевые слова: административно-юрисдикционная деятельность, контрольно-надзорная деятельность, производство по делам об административных правонарушениях, органы ГПН ФПС

SOME QUESTIONS OF CORRELATION OF CONTROL AND SUPERVISION AND ADMINISTRATIVE AND JURISDICTIONAL ACTIVITIES OF THE FPS BODIES

Ivan A. Efimov¹, Evgeny A. Cherepanov¹, Alexey A. Krektunov¹, Vladimir A. Galitskov^{1,2}

¹ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

Based on organizational and regulatory legal approaches, the article discusses some issues of the correlation of control and supervisory and administrative-jurisdictional activities of the state fire supervision of the federal fire service, in connection with the

reform of the process of carrying out control and supervisory activities and the exercise of powers in proceedings on cases of administrative offenses. The issues of the relationship between the mechanism for bringing persons to administrative responsibility and the measures applied based on the results of control and supervisory activities are analyzed. The article explores the possibility of introducing systemic changes to the regulatory legal acts regulating administrative-jurisdictional and control-supervisory activities. The necessity of an effective correlation of control and supervisory and administrative-jurisdictional powers of the bodies of the State Fire Service of the Federal Fire Service in order to increase the effectiveness of prevention of violations of fire safety requirements is substantiated. On the basis of the study, the necessity of legal regulation of the implementation of raids by the bodies of the State Patrol Service of the FPS is substantiated, which makes it possible to reasonably bring persons to administrative responsibility outside the framework of the implementation of control and supervisory activities.

Keywords: administrative and jurisdictional activities, control and supervisory activities, proceedings on cases of administrative offenses, state fire supervision authorities

С принятием Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» от 31.07.2020 г. №248 было положено начало реформированию контрольно-надзорной деятельности органов ГПН ФПС и были внесены изменения в Кодекс об административных правонарушениях в части регулирования процесса производства по делу об административном правонарушении.

Контрольно-надзорная деятельность и реализация полномочий по привлечению лиц к административной ответственности являются важнейшими направлениями деятельности органов ГПН ФПС.

На сегодняшний момент актуальным является вопрос о соотношении контрольно-надзорной и административно-юрисдикционной деятельности.

Анализ положений ч. 1 ст. 1 Федерального закона от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации» [1] (далее – Федеральный закон № 248-ФЗ) позволяет заключить, что надзор за соблюдением обязательных требований в области

пожарной безопасности обосновывается как реализация надзорными органами МЧС России полномочий, направленных на предупреждение, выявление и пресечение нарушений обязательных требований пожарной безопасности, осуществляемых с помощью механизма профилактики нарушений обязательных требований, проверки и оценки соблюдения физическими и юридическими лицами обязательных требований и выявления нарушений по результатам проверки, а также дальнейшее принятие мер по пресечению выявленных нарушений, вынесение предписания, направленного на устранение выявленного нарушения.

Так, по мнению С. Н. Антонова, К. С. Баканова административную юрисдикцию можно позиционировать как исполнительно-распорядительную деятельность по разрешению индивидуальных административных дел и применению соответствующих юридических санкций к правонарушителям в административном порядке [2].

Административно-юрисдикционная деятельность органов ГПН ФПС включает

последовательность стадий административного производства – возбуждение административного дела, рассмотрение и принятие решений, пересмотр решений, исполнение решения.

С позиции действующего законодательства, органы ГПН ФПС, в рамках контрольно-надзорной деятельности и реализации административно-юрисдикционных полномочий, в целях пресечения нарушения обязательных требований, привлекают лиц к административной ответственности, а также выносят предписание об устранении нарушений обязательных требований. Применение данных мер подтверждается и результатами изучения правоприменительной практики по вопросам применения органами ГПН ФПС данных мер реагирования на нарушения обязательных требований, в виде выдачи предписания и возбуждения дела об административном правонарушении.

В судебной практике содержатся несколько вариантов применения указанных мер. Во-первых, совместное вынесение предписания об устранении нарушений обязательных требований и привлечение к административной ответственности [3]. Во-вторых, только привлечение к административной ответственности, без вынесения предписания об устранении обязательных требований [4]. В-третьих, вынесение только предписания об устранении обязательных требований, без привлечения лица к административной ответственности [5].

Исполнимость предписания является важным требованием к данному виду ненормативного акта и одним из элементов законности предписания, поскольку предписание исходит от государственного органа, обладающего властными полномочиями, носит обязательный характер и для его исполнения устанавливается определенный срок [6].

Правовая регламентация механизма вынесения предписания действующим законодательством предусмотрена. Следует отметить, что внесение изменений в Кодекс об административных правонарушениях РФ, посредством дополнения ст. 19.6.1 ч. 4 и 5, которые предусматривают административную ответственность должностных лиц, уполномоченных на осуществление государственного контроля (надзора), за неисполнение обязанности по выдаче предписания на устранение нарушений обязательных требований, подчеркивает мнение законодателя об обязанности вынесения предписания об устранении нарушения обязательных требований в каждом случае их выявления.

Следует отметить, что положения ст. 90 Федерального закона № 248-ФЗ позволяют не привлекать к административной ответственности за нарушение обязательных требований в области пожарной безопасности лицо при условии, что им исполнено надлежащим образом выданное предписание. Однако в случаях, при которых лицо не привлекается к административной ответственности, должны быть конкретизированы в соответствующем положении о надзоре, то есть в данном случае речь идет о Положении о федеральном государственном пожарном надзоре [7]. Анализ норм указанного положения позволяет заключить, что правовая регламентация случаев, при наличии которых лицо не привлекается к административной ответственности, положением о федеральном государственном пожарном надзоре не осуществляется. Указанное выше позволяет говорить об определенных системных пробелах в правовой регламентации контрольно-надзорной и административно-юрисдикционной деятельности. С одной стороны, нормативный правовой акт, регламентирующий контрольно-надзорную деятельность,

содержит указание на возможность предусмотреть в положении о федеральном государственном пожарном надзоре случаи, при которых лицо не привлекается к административной ответственности, при этом в самом положении данные случаи не регламентированы. Внесение в положение о федеральном государственном пожарном надзоре данных случаев будет способствовать возникновению противоречий с Кодексом об административных правонарушениях РФ.

Одним из актуальных вопросов в части соотношения административно-юрисдикционной и контрольно-надзорной деятельности является порядок возбуждения дела об административном правонарушении органов, наделенным полномочиями по осуществлению государственного надзора.

Ст. 28.1 Кодекса об административных правонарушениях РФ предусматривает возможность начать процедуру привлечения лица к административной ответственности только по результатам проведения контрольного (надзорного) мероприятия во взаимодействии с контролируемым лицом, проверки, совершения контрольного (надзорного) действия в рамках постоянного государственного контроля (надзора), постоянного рейда и оформления их результатов [8].

Обстановка, сложившаяся с природными пожарами в РФ 2022–2023 гг.,

подчеркивает необходимость незамедлительного реагирования со стороны органов государственного пожарного надзора. Механизм реагирования реализуется посредством проведения рейдов по контролю за соблюдением гражданами установленных запретов и обязательных требований пожарной безопасности. По смыслу ст. 97.1 Федерального закона № 248-ФЗ рейд заключается в возможности постоянного нахождения и перемещения должностного лица на определенной территории в целях выявления и пресечения нарушений установленных запретов и обязательных требований пожарной безопасности.

По нашему мнению, в целях урегулирования соотношения контрольно-надзорной и административно-юрисдикционной деятельности, возможности привлечения лиц к административной ответственности вне результатов контрольно-надзорных мероприятий, целесообразно внести изменения в Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», дополнив его нормой, предусматривающей правовую регламентацию механизма осуществления рейда за соблюдением обязательных требований пожарной безопасности, в сроки действия установленного особого противопожарного режима в случае повышения пожарной опасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: федер. закон от 31.07.2020 № 248-ФЗ // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <http://base.garant.ru/74449814/> (дата обращения: 31.05.2023).
2. Антонов С. Н., Баканов К. С. Развитие учения И. И. Веремеенко о соотношении контрольно-надзорной и административно-юрисдикционной деятельности в области дорожного движения // Административное право и процесс. 2023. № 3. С. 31–35.
3. Решение Арбитражного суда Ямало-Ненецкого автономного округа от 27 августа 2018 г. по делу А81-5094/2018 // Судебные и нормативные акты РФ: информационно-правовой портал. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/9OaL1PQ0Gs1w> (дата обращения: 29.05.2023).
4. Решение Пудожского районного суда Республики Карелия от 13 мая 2020 г. по делу 12-25/2020 // Судебные и нормативные акты РФ: информационно-правовой портал. URL: <https://sudact.ru/regular/doc/vgtBjjDpa6QC> (дата обращения: 30.05.2023).

5. Решение Арбитражного суда Иркутской области от 21 марта 2022 г. по делу А19-11112/2021 // Судебные и нормативные акты РФ: информационно-правовой портал. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/Ri0acQrKN3Lt> (дата обращения: 31.05.2023).
6. Определение Верховного Суда РФ от 22.05.2017 № 309-КГ17-4669 по делу № А07-6666/2016 // Судебные и нормативные акты РФ: информационно-правовой портал. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/Ri0acQrKN3Lt> (дата обращения: 31.05.2023).
7. О федеральном государственном пожарном надзоре: постановление Правительства РФ от 12.04.2012 № 290 // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <http://base.garant.ru/70161266/> (дата обращения: 01.06.2023).
8. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: федер. закон от 30.12.2021 № 195-ФЗ // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <http://base.garant.ru/12125267/> (дата обращения: 31.05.2023).

REFERENCES

1. On state control (supervision) and municipal control in the Russian Federation: feder. Law of July 31, 2020 No. 248-FZ // Information and legal portal GARANT.RU. URL: <http://base.garant.ru/74449814/> (date of access: 05/31/2023). (rus).
2. Antonov S.N., Bakanov K.S. The development of the teachings of I.I. Veremeenko on the relationship between control and supervision and administrative and jurisdictional activities in the field of road traffic. Administrative Law and Process, 2023, No. 3. P. 31-35. (rus).
3. The decision of the Arbitration Court of the Yamalo-Nenets Autonomous District of August 27, 2018 in the case А81-5094 / 2018 // Information and legal portal Judicial and regulatory acts of the Russian Federation. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/9OaL1PQ0Gs1w> (date of access: 05/29/2023). (rus).
4. Decision of the Pudozhsky District Court of the Republic of Karelia dated May 13, 2020 in case 12-25/2020// Information and legal portal Judicial and regulatory acts of the Russian Federation. URL: <https://sudact.ru/regular/doc/vgtBjjDpa6QC> (date of access: 05/30/2023). (rus).
5. Decision of the Arbitration Court of the Irkutsk Region dated March 21, 2022 in the case А19-11112/2021// Information and legal portal Judicial and regulatory acts of the Russian Federation. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/Ri0acQrKN3Lt> (date of access: 05/31/2023). (rus).
6. Determination of the Supreme Court of the Russian Federation of May 22, 2017 No. 309-KG17-4669 in case No. А07-6666 / 2016 // Information and legal portal Judicial and regulatory acts of the Russian Federation. URL: <https://sudact.ru/arbitral/doc/Ri0acQrKN3Lt> (date of access: 05/31/2023). (rus).
7. On the federal state fire supervision: Decree of the Government of the Russian Federation of 04/12/2012 No. 290 // Information and legal portal GARANT.RU. URL: <http://base.garant.ru/70161266/> (date of access: 06/01/2023). (rus).
8. Code of the Russian Federation on Administrative Offenses: Feder. Law of December 30, 2021 No. 195-FZ // Information and legal portal GARANT.RU. URL: <http://base.garant.ru/12125267/> (date of access: 05/31/2023). (rus).

Информация об авторах

Ефимов Иван Александрович, кандидат юридических наук, доцент, доцент кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22, AuthorID: 799824; e-mail: e3efimov@yandex.ru

Черепанов Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры надзорной деятельности и права, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия,

Information about the authors

Ivan A. Efimov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervisory Activities and Law, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; AuthorID: 799824; e-mail: e3efimov@yandex.ru

Evgeny A. Cherepanov, Senior Lecturer of the Department of Supervisory Activities and Law, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira

620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22,
AuthorID: 849208;
e-mail: cherepanov_evgen@mail.ru

Крекунов Алексей Александрович,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент, доцент кафедры надзорной дея-
тельности и права, Уральский институт
ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Ека-
теринбург, ул. Мира, д. 22, ORCID: 0000-
0003-2160-3305;
e-mail: alexkrec96@mail.ru

Галицков Владимир Александрович,
кандидат юридических наук, доцент ка-
федры надзорной деятельности
и права, Уральский институт ГПС МЧС
России, Россия, 620062, г. Екатеринбург,
ул. Мира, д. 22, доцент кафедры консти-
туционного и международного права,
Уральский государственный экономиче-
ский университет, Россия, 620144, г. Ека-
теринбург, ул. 8 Марта/Народной Воли,
62/45
AuthorID: 695223;
e-mail: V_galitskov@mail.ru

St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian
Federation; AuthorID: 849208;
e-mail: cherepanov_evgen@mail.ru

Alexey A. Krekunov, Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor, Associate Professor
of the Department of Supervisory Activi-
ties and Law, Ural Institute of State Fire
Service of EMERCOM of Russia, Mira St.,
22, Yekaterinburg, 620062 Russian Feder-
ation; ORCID: 0000-0003-2160-3305;
e-mail: alexkrec96@mail.ru

Vladimir A. Galitskov, Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Supervisory Activities and Law, Ural
Institute of State Fire Service of
EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekate-
rinburg, 620062 Russian Federation, Asso-
ciate Professor of the Department of Con-
stitutional and International Law, Ural
State University of Economics, March
8/Narodnaya Volya St., 62/45, Yekaterin-
burg, 620144 Russian Federation,
AuthorID: 695223;
e-mail: V_galitskov@mail.ru

УДК 691- 408.62

О ПРОБЛЕМЕ ЦВЕТОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТЕРМОИНДИКАТОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА

Федосов Сергей Викторович^{1,2}, Маличенко Вячеслав Геннадиевич³, Торопова Мария Владиевна³, Мальцев Алексей Николаевич⁴

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

²Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

³Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

⁴Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново, Россия

АННОТАЦИЯ

Авторами предложено решение проблемы получения достоверных исходных данных о высокотемпературном воздействии пожара на мелкозернистый бетон. Указанные сведения необходимы для оценки возможности эксплуатации поврежденного пожаром здания. Возможность решения данной проблемы обусловлена предложенной методикой цветовой дифференциации термоиндикаторов при помощи технических средств после воздействия высокой температуры пожара. В статье обсуждаются результаты проведенного исследования по оценке испытываемых образцов мелкозернистого бетона. Практическая значимость исследования заключается в получении представления о термохромных изменениях термоиндикаторного покрытия мелкозернистого бетона. Эти данные позволяют спрогнозировать возможные последствия воздействия высокотемпературного источника нагрева на мелкозернистый бетон.

Элементами научной новизны обладает разработанная методика испытания термоиндикаторного покрытия мелкозернистого бетона в условиях высокотемпературного воздействия в целях создания базы данных об эталонах для некоторых условий. Данная методика предполагает использование цифрового аппарата для определения изображения цветочных линий RGB для различных поверхностей исследуемых образцов с последующей обработкой при помощи пакета MATLAB. В рамках исследования установлена закономерность изменения цвета испытываемого покрытия на грунтованной поверхности мелкозернистого бетона при изменении их температуры.

Ключевые слова: термоиндикатор, мелкозернистый бетон, высокотемпературный нагрев

ON THE PROBLEM OF COLOR DIFFERENTIATION OF THERMAL INDICATORS BASED ON THE RESULTS OF HIGH-TEMPERATURE FIRE EXPOSURE

Sergey V. Fedosov^{2,3}, Vyacheslav G. Malichenko³, Alexander A. Lazarev⁴, Maria V. Toropova³, Aleksey N. Maltsev⁴

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

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology», Yoshkar-Ola, Russian Federation

³Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Ivanovo State Politechnical University», Ivanovo, Russian Federation

⁴ Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

The authors propose a solution to the problem of obtaining reliable initial data on the high-temperature effect of fire on fine-grained concrete. This information is necessary to assess the possibility of operating a building damaged by fire. The possibility of solving this problem is due to the proposed method of color differentiation of thermal indicators using technical means after exposure to high fire temperature. The article discusses the results of the conducted research on the evaluation of test samples of fine-grained concrete. The practical significance of the study lies in obtaining an idea of thermochromic changes in the thermoindicator coating of fine-grained concrete. These data make it possible to predict the possible consequences of the impact of a high-temperature heating source on fine-grained concrete.

The developed method of testing the thermoindicator coating of fine-grained concrete under high-temperature exposure has elements of scientific novelty in order to create a database of standards for certain conditions. This technique involves the use of a digital device to determine the image of RGB color lines for various surfaces of the studied samples with subsequent processing using the MATLAB. Within the framework of the study, the regularity of the color change of the tested coating on the primed surface of fine-grained concrete with a change in their temperature was established.

Keywords: thermal indicator, fine-grained concrete, high-temperature heating

Введение

Предпосылкой применения панельного строительства во всем мире является массовое его внедрение на территориях, где прежде всего это экономически выгодно с возможностью производить крупные панельные плиты и получать быструю прибыль за счет существенного сокращения затрат на строительство и удешевления стоимости квадратного метра, а также при технологии строительства панельных многоквартирных домов (далее – МКД) имеются все ресурсы для такого строительства. Качественными пока-

зателями панельного строительства является их быстрая сборка, контроль качества выпускаемых промышленным способом конструкций несомненно выше, чем у конструкций, изготавливаемых в условиях строительных площадок, расчетная этажность таких конструкций жилого дома может составлять 25 этажей и более. При эксплуатации панельных жилых зданий важной характеристикой является их долговечность. Основным требуемым параметром для панельных жилых зданий является эксплуатационная надежность, которая включает в себе сохранение эксплуатационных характеристик на протяжении всего срока эксплуатации, в том числе

и после пожара. Потребность в разработке методов расчета долговечности обуславливается необходимостью увеличения сроков эксплуатации ограждающих конструкций панельных жилых домов, а также снижение затрат на их восстановление в случае пожара [1, 2]. Данная характеристика неотделима от предела огнестойкости ограждающих конструкций, так как возникновение пожаров в многоквартирном панельном жилье не редкость. Статистика пожаров показывает, что пожары в панельных жилых домах возникают достаточно часто [3]. Этим также обусловлен выбор в рамках проводимого исследования мелкозернистого бетона в качестве материала для нанесения термочувствительной краски, так как данный бетон применяется при панельном строительстве. Существующие методики определения возможности МКД к эксплуатации после пожара предполагают определение температуры высокотемпературного воздействия. Однако, как правило, такие измерения во время пожара никто не проводит. Возможным вариантом решения этой задачи может стать использование термоиндикаторов.

В настоящее время существует большое количество способов измерения температуры, одним из таких является использование термоиндикаторов, которые нашли свое применение в исследованиях тепловых процессов. Методы индикации температуры с помощью термочувствительных покрытий достаточно просты и рентабельны, что само по себе не требует больших финансовых затрат. Первые упоминания применения термочувствительных соединений для индикации температуры датируются 20-ми гг. XX века. На ряде предприятий и заводов в Советском Союзе применялись краски на основе солей ртути, которыми контролировался перегрев вращающихся и движущихся деталей [4]. Возможность использования термоиндикаторов указывалась также

в работах М. В. Долгова [4], Rajadurai R. S., Lee J.-H., Choi E., Kang J.-W. и др [5, 6].

Вместе с тем при выборе такого решения возникает проблема цветовой дифференциации термоиндикаторов по результатам высокотемпературного воздействия пожара на бетон, так как практически отсутствуют исследования по данной проблематике, а человек не всегда способен дифференцировать слабо различимые оттенки. С учетом изложенного актуальность исследования заключается в противоречии между потребностью в решении проблемы цветовой дифференциации термоиндикаторов по результатам высокотемпературного воздействия пожара на бетон в целях обеспечения безопасности зданий и отсутствием соответствующих методик.

Объектом исследования является мелкозернистый бетон М300 с нанесенным на его поверхность грунтом и термоиндикаторным покрытием в виде краски.

Предметом исследования была динамика изменения цвета термоиндикаторного покрытия исследуемого образца и грунта на поверхности мелкозернистого бетона М300 при повышении температуры.

Задачи исследования:

1. Разработать методику испытания термоиндикаторного покрытия, нанесенного на мелкозернистый бетон М300 в условиях высокотемпературного воздействия в целях создания базы данных об эталонах для некоторых условий.

2. При помощи технических средств определить цвета поверхностей образцов мелкозернистого прогрунтованного бетона М300, на которые нанесено термоиндикаторное покрытие (краска LA-CO Tempilaq Advaced 399 °C).

3. Установить закономерность изменения цвета термоиндикаторного покрытия (краска LA-CO Tempilaq Advaced

399 °С) при изменении температуры грунтованной поверхности образца бетона М300.

Методы исследования:

В процессе проведения исследования предполагалось нанесение термоиндикаторного покрытия (далее – ТИП) в виде краски LA-CO Tempilaq Advanced 399 °С на мелкозернистый бетон (далее – МБ) в целях сбора информации о состоянии температуры образца при изменении его цвета с применением высокотемпературного нагрева. При изготовлении бетона был использован портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н с нормальной густотой цементного теста – $25,8 \pm 0,81$ %; с началом схватывания – 180 ± 25 мин; с концом схватывания – 235 ± 25 мин; с выдержанной равномерностью изменения объема. С целью фиксации изменения цвета был проведен ряд стендовых испытаний высокотемпературного нагрева образца МБ в различных условиях. В качестве примера рассматриваются условия, пред-

полагающие нанесение термоиндикаторной краски на грунтованную поверхность МБ. Для подготовки образцов были выполнены мероприятия, которые полностью копируют процесс нанесения покрытий на материалы в реальных зданиях. Процесс подготовки образцов состоял из двух этапов. Первый этап включал в себя подготовку поверхностей покрытия МБ, а второй этап начинался с нанесения покрытия краски на модифицированную поверхность МБ.

Бетонные образцы размером $100 \times 100 \times 100$ мм были изготовлены в соответствии с ГОСТ 13015–2012 [7]. Поверхности образцов бетона были очищены и отшлифованы с помощью применения мелкозернистой наждачной бумаги с зернистостью 20–28 мкм, а осевшая пыль после обработки была удалена с помощью компрессорной установки для обеспечения гладкой поверхности и наилучшего обеспечения адгезии нанесенного покрытия к поверхности бетона, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Подготовленная поверхность МБ для нанесения ТИП

Fig. 1. Prepared MB surface for application TYPE

В качестве первого этапа проведения испытаний на подготовленные образцы был нанесен грунтовый раствор в один слой с помощью разглаживающего валика. Затем образцы с грунтованным покрытием помещались в сушильный шкаф при температуре 100 °С в течение

10 мин. Процесс сушки осуществлялся в течение 6 часов при температуре окружающей среды. По прошествии указанного временного периода на поверхность образцов МБ было нанесено ТИП в один слой, как показано на рис. 2.



Рис. 2. ТИП на поверхности образца в один слой

Fig. 2. Type on the sample surface in one layer

Обработанные поверхности оставляли нетронутыми в течение семи дней при комнатной температуре. Затем образцы помещали в камеру муфельной печи и нагревали до целевых температур 100, 200, 300, 400 и 450°C. При каждом заданном температурном режиме образцы выдерживали 30 минут и вынимали для фиксации изображения поверхности образца с помощью цифрового

фотоаппарата. Данное техническое средство было использовано с учетом опыта исследования [5]. После этого образец снова помещали в печь и нагревали до следующей целевой температуры, как показано на рис. 3. Следует также отметить, что применяемое ТИП не является обратимым, то есть оно не восстанавливает свой первоначальный цвет при охлаждении [11].



Рис. 3. Размещение образцов в муфельной печи

Fig. 3. Placement of samples in the muffle furnace

Результаты и их обсуждение

Полученные изображения поверхностей образцов МБ были откорректированы путем изменения освещения и настроек цифрового фотоаппарата в соответствии со стандартами ColorНеха, предусматривающими использование шестизначного цветового

кода, предоставляющего информацию о цветах, полученных с изображений [8-10]. С целью компенсации различий, обусловленных цветом и яркостью источника света, полученные изображения цветочных линий RGB были переведены в стандартизированное, независимое от источника съемки пространство CIE1976 ($L^*a^*b^*$) с использованием

пакета MATLAB. Совершенные действия привели к значениям от 0 до 100 для измерения L^* и ≈ 128 и 128 для измерений a^* и b^* (табл. 1).

Таблица 1

Изменение цвета термоиндикаторного покрытия мелкозернистого бетона при температурном воздействии по шкале изменений цвета RGB и соответствующие им цветовые диаграммы (с грунтованной поверхностью).

Table 1

Color change of the thermoindicative coating of fine-grained concrete under temperature exposure, according to the RGB color change scale and the corresponding color charts (with a primed surface).

| Температура, °C Temperature | Цветовая индикация Color indication | | | Hex Code | Описание цвета Color Description |
|-----------------------------------|--|--------------|-------------|-------------|--|
| | Red (R) | Green (G) | Blue (B) | | |
| 25 | 124 | 169 | 133 | #7CA985 | Лиственный зеленый Крайола Leafy Green Crayola |
| 100 | 135 | 186 | 133 | #87BA85 | Темное зеленое море Dark green sea |
| 200 | 119 | 166 | 118 | #77A676 | Бледно-зеленый Pale green |
| 300 | 105 | 144 | 145 | #699091 | Серый шифер (Аспидно-серый) Slate Gray (Slate Grey) |
| 400 | 127 | 150 | 142 | #7F968E | Темный телегрей Dark telegray |
| 450 | 82 | 92 | 88 | #525C58 | Фельдграу Feldgrau |

На рис. 4 представлены изменения значений RGB на поверхностях образцов МБ, на которые нанесена краска LA-CO Tempilaq Advanced 399 °C.

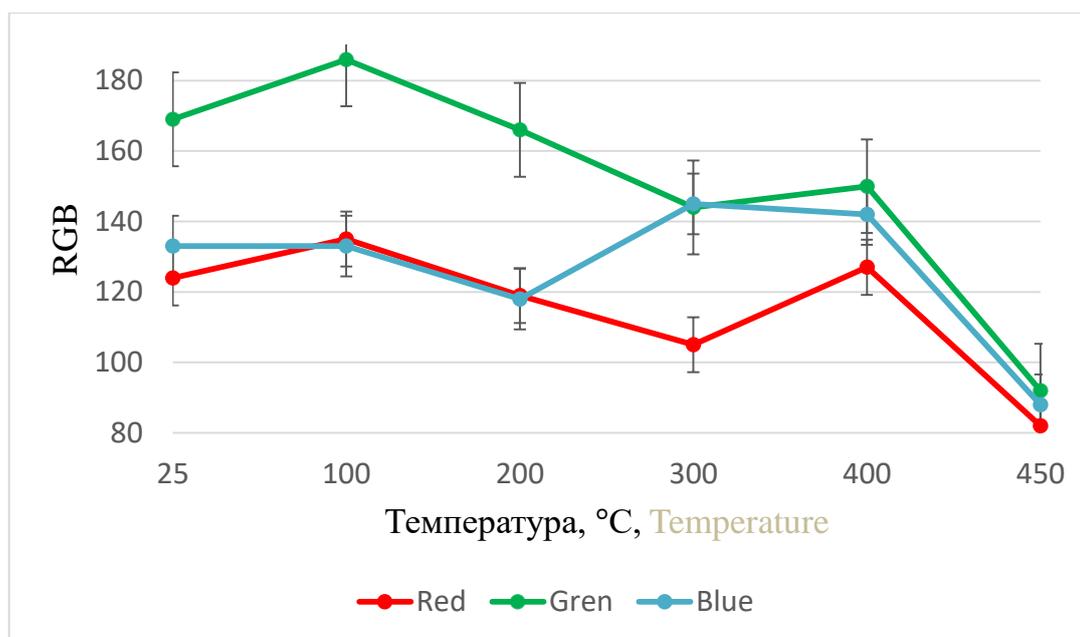


Рис. 4. Изменение значений RGB

Fig. 4. Changing RGB values

При увеличении температуры, начиная с 25 °С, усреднённые значения линий RGB составляли 135, 186, 133 соответственно, обозначение – темное зеленое море; по шестнадцатеричному коду #87BA85 (табл. 1). Они были практически неизменны до 200 °С.

Значения RGB уменьшились на 22 % и увеличились на 9 % при 300 °С, чтобы показать среднее значение 105, 144, 145, соответствующее цвету серый шифер (аспидно-серый) шестнадцатеричный код #699091. После этого значения RGB стали резко меняться с 127, 150, 142 при 400 °С до 82, 92, 88 при 450 °С, которые соответствуют цвету темный телегей и цвету фельдграу (шестнадцатеричные коды #7F968E и #525C58 соответственно). МБ с некоторыми порами на поверхности образцов обеспечивал незначительные отклонения в значениях RGB, что допустимо по отношению к стандартному отклонению в диапазоне от 18 до 23. Полученные данные по наблюдаемой динамике сопоставимы и не противоречат результатам

аналогичного исследования, проведенного Rajadurai R. S., Lee J.-H., Choi E., Kang J.-W. [5].

Выводы

Для решения проблемы цветовой дифференциации термоиндикаторов по результатам высокотемпературного воздействия пожара на МБ в целях обеспечения безопасности зданий было проведено исследование, в рамках которого выполнена работа по выявлению термохромных изменений соответствующих поверхностей. Данный эксперимент позволил получить следующие результаты:

1. Разработана методика испытания ТИП, нанесенного на МБ в условиях высокотемпературного воздействия в целях создания базы данных об эталонах для некоторых условий. В перспективе данная методика позволит накопить достаточное количество экспериментальных данных, необходимых для определения температурных значений, достигнутых в помещении во время пожара.

2. Полученные при помощи цифрового аппарата изображения цветowych линий RGB для различных грунтованных поверхностей образцов МБ, на которые нанесена краска LA-CO Tempilaq Advanced 399 °С, переводятся в стандартизированное, независимое от источника съемки пространство CIE1976 (L*a*b*) при помощи пакета MATLAB. Данное решение позволяет получить результат с незначительными отклонениями.

3. Установлена закономерность изменения цвета ТИП (LA-CO Tempilaq Advanced 399 °С) на грунтованной поверхности МБ при изменении их температуры. При увеличении температуры в диапазоне от 25 °С до 200 °С усреднённые значения линий RGB были практически неизменны: (135, 186, 133 соответственно, обозначение – темное зеленое море; по шестнадцатеричному коду #87BA85. Средние значения RGB при 300 °С равны 105, 144, 145, соответствуют цвету серый шифер (аспидно-серый), по шестнадцатеричному коду #699091. Далее с повышением температуры значения RGB стали резко меняться: с 127, 150, 142 при 400 °С до 82, 92, 88 при 450 °С, которые соответствуют цвету темный телегей и цвету фельдграу (шестнадцатеричные коды #7F968E и #525C58 соответственно). Полученная закономерность может быть использована для идентификации изменения цвета по отношению к интенсивности температурного воздействия, что позволит усовершенствовать методику расследования пожаров и оценку возможности эксплуатации МКД после пожара.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федосов С. В., Баканов М. А. Модели и методы высокотемпературной термической обработки в технологии пеностекла. М., 2021. 302 с.
2. Карташов Э. М., Кудинов В. А. Аналитические методы теории теплопроводности и её приложений. Изд. 4-е. М., 2018. 1072 с.
3. Статистика пожаров. URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/Статистика/2021/ВНИИПО/pozharyi-i-pozharnaya-bezopasnost-2021.pdf> (дата обращения: 22.02.2023).
4. Долгов В. М. Аналоговая модель жидкокристаллического термоиндикатора // Приборы и методы автоматизированных экспериментальных исследований. Днепропетровск, 1976. С. 75–80.
5. MnNH₄P₂O₇-Based Coating for High Temperature Assessment on the Surfaces of Cement Composites / R. S. Rajadurai et al. // Coatings. 2018. № 10. Pp. 1–15.
6. Доморощина Т. И., Лазарев А. А., Торопова М. В. Теоретические основы применения термочувствительных строительных материалов для светосигнального обозначения вертикальных поверхностей // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2020. № 1. С. 185–186.
7. ГОСТ 13015–2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101281> (дата обращения: 22.02.2023).
8. Pascale, D. RGB Coordinates of the Macbeth Color Checker; Babel Color Co.: Montreal, Canada, 2006; pp. 1–16.
9. RGB Tables. URL: https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html (дата обращения: 22.02.2023).
10. ColorHexa. URL: <https://www.color-hex.com/> (дата обращения: 22.02.2023).
11. MARKERPRO: сайт. URL: <https://markerpro.ru/product/termoindikatornaya-kraska-tempilaq/> (дата обращения 19.02.2023).

REFERENCES

1. Fedosov S.V., Bakanov M.A. Models and methods of high-temperature heat treatment in foam glass technology. Moscow, OOO Publishing house «Sputnik+». 2021; 302. (rus).
2. Kartashov E. M., Kudinov V. A. Analytical methods of the theory of thermal conductivity and its applications. Moscow, LENAND, 2018; 1072. (rus).
3. Fire statistics -2021.pdf.URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/Statistics/2021/VNIIPPO/> (date of application: 22.02.2023).

4. Dolgov V. M. Analog model of a liquid crystal thermal indicator. Devices and methods of automated experimental research. Dnepropetrovsk, 1976; 75–80. (rus).
5. Rajadurai R. S., Lee J.-H., Choi E., Kang J.-W. MnNH4P2O7-Based Coating for High Temperature Assessment on the Surfaces of Cement Composites. Coatings, 2018; 10: 1–15. doi:10.3390/coatings10040396
6. Domoroschina T. I., Lazarev A. A., Toropova M. V. Theoretical foundations of the use of thermosensitive building materials for light-signalling of vertical surfaces Assessment of fire resistance of reinforced concrete enclosing structures in conditions of fire development and fire extinguishing // Materials of the All-Russian (with international participation) scientific and technical conference of postgraduates and students. Ivanovo, IVGPU, 2020; 185–186. (rus).
7. GOST 13015-2012 «Concrete and reinforced concrete products for construction. General technical requirements. Rules of acceptance, marking, transportation and storage». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101281>. (date of application: 22.02.2023).
8. Pascale D. RGB Coordinates of the Macbeth Color Checker; Babel Color Co.: Montreal, Canada, 2006; 1–16.
9. RGB Tables. URL: https://www.rapidtables.com/web/color/RGB_Color.html (date of application 22.02.2023).
10. ColorHexa. URL: <https://www.color-hex.com/> date of application: 22.02.2023).
11. Official distributor's website. URL: <https://markerpro.ru/product/termoindikatornaya-kraska-tempilaq/>

Информация об авторах

Федосов Сергей Викторович, академик РААСН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии правительства РФ в области науки и техники, почётный строитель России, лауреат Государственной премии Республики Марий Эл в области архитектуры и строительства, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и организация строительного производства ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Россия, 129337, г. Москва, Ярославское ш., 26; РИНЦ ID: 105900; ScopusAuthorID 70056700404; Researcher id: B-2409-2017; ORCID: 0000-0001-6117-7529; e-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Маличенко Вячеслав Геннадиевич, соискатель, Ивановский государственный политехнический университет, Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, д. 21; РИНЦ ID: 1066291; Scopus Author ID: 57216911136; ORCID: 0000-0002-2475-3758; e-mail: mvg84@bk.ru

Information about the authors

Sergey V. Fedosov, Academician of the RAASN, Honored Scientist of the Russian Federation, Laureate of the RF Government Prize in the field of science and technology, Honorary Builder of Russia, Laureate of the State Prize of the Republic of Mari El in Architecture and Construction, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Volga State Technological University, Yaroslavl sh., 26, Moscow 129337, Russian Federation; RSCI ID: 105900; ScopusAuthorID 70056700404; Researcher id: B-2409-2017; ORCID: 0000-0001-6117-7529; e-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Vyacheslav G. Malichenko, competitor, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky prospect, 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation; RSCI ID: 1066291; Scopus Author ID: 57216911136; ORCID: 0000-0002-2475-3758; e-mail: mvg84@bk.ru

Торопова Мария Владиевна, кандидат технических наук, доцент, Ивановский государственный политехнический университет, Россия, 153000, Иваново, Шереметевский проспект, д. 21; РИНЦ ID: 23655858; Scopus Author ID: 12645550800; ORCID: 0000-0001-9752-7551; Researcher id: AAA-1225-2022; e-mail: mators@mail.ru

Мальцев Алексей Николаевич, адъюнкт очной формы обучения, Ивановская пожарно – спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 153040, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33; РИНЦ ID: 891145; ORCID: 0009-0003-4425-9567; Researcher id: HZL-5850-2023; e-mail: malec-37@mail.ru

Maria V. Toropova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ivanovo State Polytechnic University, Shere-metevsky prospect, 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation; RSCI ID: 23655858; Scopus Author ID: 12645550800; ORCID: 0000-0001-9752-7551; Researcher ID: AAA-1225-2022; e-mail: mators@mail.ru

Aleksey N. Maltsev, adjunct of full-time education, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Prospekt Stroiteley, 33, Ivanovo, 153040, Russian Federation; RSCI ID: 891145; ORCID: 0009-0003-4425-9567; Researcher ID: HZL-5850-2023; e-mail: malec-37@mail.ru

УДК 614.84

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ

Пермяков Владимир Николаевич, Мартынович Владимир Леонидович

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

АННОТАЦИЯ

Обеспечение пожарной безопасности объектов газораспределения и газопотребления (объекты защиты), которые размещаются на территории населенных пунктов вблизи жилых зданий, является актуальной задачей. Одним из обязательных требований по пожарной безопасности является обеспечение объектов защиты источниками противопожарного водоснабжения. Выполнение действующих нормативных требований по обеспечению строящихся в границах населенных пунктов объектов защиты источниками противопожарного водоснабжения в ряде случаев по объективным причинам не представляется возможным. Имеющихся нормативных инструментов для выполнения обязательных требований пожарной безопасности, установленных Федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», недостаточно. Нормативные требования по обеспечению объектов защиты источниками противопожарного водоснабжения не учитывают габаритные размеры объектов защиты, горючесть строительных материалов, из которых они изготовлены, а также класс возможного пожара. Указанные характеристики влияют на целесообразность обеспечения объектов защиты источниками противопожарного водоснабжения, которые регламентируются требованиями нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности. Необходимо внесение корректировок в законодательство по пожарной безопасности в части обеспечения объектов защиты источниками воды для целей пожаротушения с учетом характеристик объекта защиты и целесообразности.

Ключевые слова: газоснабжение, газораспределение, пожарная безопасность, пожаротушение, газораспределительный пункт

ENSURING FIRE SAFETY OF GAS DISTRIBUTION AND GAS CONSUMPTION FACILITIES

Vladimir N. Permyakov, Vladimir L. Martynovich

Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

ABSTRACT

Ensuring fire safety of gas distribution and gas consumption facilities (protection facilities), which are located on the territory of settlements near residential buildings, is an urgent task. One of the mandatory requirements for fire safety is to provide protection facilities with sources of fire-fighting water supply. In some cases, for objective

reasons, it is not possible to comply with the current regulatory requirements for providing protection facilities under construction within the boundaries of settlements with sources of fire-fighting water supply. The existing regulatory tools for fulfilling the mandatory fire safety requirements established by the Federal Law «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» are not enough. Regulatory requirements for the provision of protection facilities with sources of fire-fighting water supply do not take into account the overall dimensions of the protection facilities, the combustibility of the building materials from which they are made, as well as the class of possible fire. These characteristics affect the expediency of providing protection facilities with sources of fire-fighting water supply, which are regulated by the requirements of regulatory documents on fire safety. It is necessary to make adjustments to the legislation on fire safety in terms of providing protection facilities with water sources for fire extinguishing purposes, taking into account the characteristics of the object of protection and expediency.

Keywords: gas supply, gas distribution, fire safety, fire extinguishing, gas distribution point

Введение

В рамках реализации программы газификации России ПАО «Газпром» на 2021–2025 гг. [1] для обеспечения регионов Российской Федерации природным газом проектными организациями осуществляется подготовка проектной документации строительства объектов газораспределения и газопотребления, в том числе сетей газораспределения и газопотребления [2].

Выполнение обязательных требований пожарной безопасности, которые установлены техническими регламентами в области обеспечения объектов защиты наружным противопожарным водоснабжением, в ряде случаев не представляется возможным по следующим причинам.

Основная часть

С целью получения заданных эксплуатационных параметров в сети газораспределения и (или) сети газопотребления проектной документацией предусматривается строительство технологических устройств – газорегуляторных пунктов блочных (далее – ГРПБ) и шкафных пунктов редуцирования газа (далее – ГРПШ).

Конструкции ГРПБ и ГРПШ регламентированы ГОСТ 31011–2016 [3].

Согласно Своду правил СП 62.13330.2011* [4] размещение вышеуказанных технологических устройств (ГРПШ, ГРПБ) допускается в границах населенных пунктов вблизи существующих зданий и сооружений с соблюдением минимальных противопожарных расстояний, указанных в табл. 5 [4].

Для обеспечения требований пожарной безопасности, в соответствии с п. 6.7.7 СП 4.13130.2013 [5], строительные конструкции отдельно стоящего здания газорегуляторного пункта блочного должны обеспечивать этому зданию не ниже II степени огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности С0.

В соответствии со ст. 87 и табл. 21 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] к строительным конструкциям здания II степени огнестойкости должны предъявляться следующие требования по огнестойкости:

- несущие стены и другие несущие элементы – R90 (сохранение несущей способности в течение 90 минут);

- наружные несущие стены – E15 (сохранение целостности в течение 15 минут).

Здания ГРПБ, как правило, состоят из нескольких помещений (отсеков): технологического, телеметрии и т. д. Так как в технологическом помещении, площадь которого превышает 25 % общей площади ГРПБ, обращается горючий газ в таком количестве, что может образовать взрывоопасную газовоздушную смесь, при воспламенении которой развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, то в соответствии со ст. 27 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] здание ГРПБ относится к категории А по взрывопожарной и пожарной опасности.

По функциональной пожарной опасности, в соответствии со ст. 32 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6], проектируемые здания ГРПБ относятся к классу Ф5.1 – производственные здания.

Согласно п. 1 ст. 68 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] территории населенных пунктов, а также находящиеся на них здания и сооружения должны быть обеспечены источниками наружного противопожарного водоснабжения. Следовательно, вновь проектируемое здание газорегуляторного пункта блочного также должно быть обеспечено источником наружного противопожарного водоснабжения.

В качестве источников наружного противопожарного водоснабжения могут быть предусмотрены (ч. 2 ст. 68 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6]):

1) централизованные и (или) нецентрализованные системы водоснабжения с пожарными гидрантами, установленными на водопроводной сети (наружный противопожарный водопровод);

2) водные объекты, используемые в целях пожаротушения в соответствии с законодательством РФ;

3) пожарные резервуары.

Программой газификации [1] преимущественно предусмотрено обеспечение природным газом малых населенных пунктов (села, поселки) с небольшим количеством проживающего населения (до 5000 человек). Наличие в таких населенных пунктах централизованной и (или) нецентрализованной систем водоснабжения с пожарными гидрантами, установленными на водопроводной сети, маловероятно. Наличие водных объектов, которые могут быть использованы в целях пожаротушения, оборудованных в соответствии с требованиями нормативных документов и расположенных на нормативном расстоянии от проектируемых объектов, также маловероятно.

Наиболее оптимальным решением для обеспечения проектируемых объектов водой для целей наружного пожаротушения является строительство пожарных резервуаров.

Для определения объема и количества пожарных резервуаров можно воспользоваться табл. 3 СП 8.13130.2020 [7], согласно которой для зданий I и II степени огнестойкости класса конструктивной пожарной опасности С0, категории А по взрывопожарной и пожарной опасности и строительным объемом не более 5000 м³ расход воды на наружное пожаротушение составляет 10 л/с.

Согласно п. 5.17 СП 8.13130.2020 [7] продолжительность тушения пожара должна приниматься 3 часа. Таким образом, объем запаса воды для целей наружного пожаротушения должен составлять не менее 108 м³, при этом согласно п. 10.3 СП 8.13130.2020 [7] количество пожарных резервуаров должно быть не менее двух, в каждом из которых должно храниться 50 % объема воды на пожаротушение. Учитывая номинальный ряд стального унифицированного емкостного оборудования для хранения

жидкостей, целесообразнее всего вышеуказанное количество воды для целей пожаротушения размещать в двух резервуарах объемом по 63 м³ каждый.

Общий объем воды для целей пожаротушения, определенный в соответствии с положениями СП 8.13130.2020 [7], не зависит от габаритных размеров здания, для пожаротушения которого она предназначена. В ряде случаев объем воды в резервуарах может в несколько раз превышать объем здания ГРПБ.

Необходимо отметить, что строительные конструкции газорегуляторного пункта блочного типа, как правило, выполняются из негорючих материалов. Основным горючим веществом, обращающимся в здании ГРПБ, является природный газ. Однако тушение пожара природного газа (пожара класса С согласно ст. 8 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6]) водой малоэффективно.

Дальнейшее ознакомление с положениями ст. 68 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] свидетельствует о том, что наружное противопожарное водоснабжение от водных объектов и (или) пожарных резервуаров допускается предусматривать для зданий и сооружений класса функциональной пожарной опасности Ф5 только для категорий В, Г и Д по взрывопожарной и пожарной опасности, при этом расход воды на наружное пожаротушение должен составлять 15 л/с.

Таким образом, в соответствии с действующим законодательством (статья 68 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6]) для наружного пожаротушения здания ГРПБ, которое размещается на территории населенного пункта, могут быть использованы только централизованные и (или) нецентрализованные системы водоснабжения с пожарными гидрантами, установленными на водопроводной сети (наружный противопожарный водопровод).

Как уже было указано ранее, в большинстве газифицируемых малых населенных пунктах (села, поселки) с небольшим количеством проживающего населения (до 5000 человек) наличие централизованной и (или) нецентрализованной систем водоснабжения с пожарными гидрантами, установленными на водопроводной сети, маловероятно.

Проектирование и строительство централизованной и (или) нецентрализованной системы водоснабжения населенного пункта сопряжено со значительными финансовыми и временными затратами, необходимостью проведения дополнительных изысканий, исследований, длительным получением согласований и положительных заключений экспертиз.

Проектирование и строительство централизованной и (или) нецентрализованной систем водоснабжения в газифицируемых населенных пунктах, как правило, не предусматривается Программой газификации России ПАО «Газпром» [1].

Следовательно, выполнение требований ст. 68 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] не представляется возможным.

В соответствии с ч. 1 ст. 6 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] одним из способов подтверждения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности – это выполнение требований пожарной безопасности, содержащихся в специальных технических условиях, отражающих специфику обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, согласованных в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности.

Однако такой способ подтверждения соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности применим только в том случае, если нормативные требования пожарной безопасности отсутствуют (ч. 2 ст. 78 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6]), при этом требования Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6] в любом случае должны быть выполнены в полном объеме (ч. 1 ст. 6 Федерального закона №123-ФЗ от 22.07.2008 [6]).

Выводы

На основании вышеизложенного, по мнению авторов, необходимо внесение

изменений в законодательство по пожарной безопасности в части возможности использования в качестве источников воды для целей пожаротушения стационарных пожарных резервуаров, а также смягчения (или исключения) требований о необходимости обеспечения производственных зданий и сооружений источниками наружного противопожарного водоснабжения в зависимости от горючести строительных материалов, из которых выполнен объект защиты, габаритных размеров, степени огнестойкости, а также класса возможного пожара.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Программа газификации России ПАО «Газпром» 2021–2025. URL: <https://www.gazprommap.ru/program/> (дата обращения: 15.06.2023).
2. Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления, утвержденный Постановлением Правительства РФ № 870 от 29 октября 2010 г. // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/12180024> (дата обращения: 19.06.2023).
3. ГОСТ 34011–2016. Межгосударственный стандарт. Системы газораспределительные. Пункты газорегуляторные блочные. Пункты редуцирования газа шкафные. Общие технические требования // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/71761976> (дата обращения: 19.06.2023).
4. СП 62.13330.2011*. Газораспределительные системы // Консорциум «Кодекс»: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535> (дата обращения: 19.06.2023).
5. СП 4.13330.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям // Консорциум «Кодекс»: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 19.06.2023).
6. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» // Гарант.ру: информационно-правовой портал. URL: <https://base.garant.ru/12161584> (дата обращения: 19.06.2023).
7. СП 8.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требование пожарной безопасности // Консорциум «Кодекс»: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565391175> (дата обращения: 19.06.2023).

REFERENCES

1. Gazprom's Russian Gasification Program 2021-2025. URL: <https://www.gazprommap.ru/program/>. (rus).
2. Technical regulations on the safety of gas distribution and gas consumption networks, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation No. 870 of October 29, 2010 [Electronic resource] // Information and legal portal «Garant.ru»: website. Access mode: <https://base.garant.ru/12180024> (accessed 19.06.2023). (rus).
3. GOST 34011-2016. Interstate standard. Gas distribution systems. Gas control block points. Gas reduction points are cabinet-type. General technical requirements. [Electronic resource] // Information and legal portal «Garant.ru»: website. Access mode: <https://base.garant.ru/71761976> (accessed 19.06.2023). (rus).
4. SP 62.13330.2011*. A set of rules. Gas distribution systems. [Electronic resource] // Consortium «Co-dex»: website. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200084535> (accessed 19.06.2023). (rus).

5. SP 4.13330.2013. A set of rules. Fire protection systems. Limiting the spread of fire at protection facilities. Requirements for space-planning and design solutions. [Electronic resource] // Consortium «Codex»: website. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593> (accessed 19.06.2023). (rus).

6. Federal Law No. 123-FZ of 22.07.2008 «Technical Regulations on fire safety requirements». [Electronic resource] // Information and legal portal «Garant.ru»: website. Access mode: <https://base.garant.ru/12161584> (accessed 19.06.2023). (rus).

7. SP 8.13130.2020. A set of rules. Fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirement. [Electronic resource] // Consortium «Codex»: website. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/565391175> (accessed 19.06.2023). (rus).

Информация об авторах

Пермяков Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Тюменского индустриального университета, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
e-mail: permjakovvn@tyuiu.ru

Мартынович Владимир Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Тюменского индустриального университета 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
e-mail: martynovichvl@tyuiu.ru

Information about the authors

Vladimir N. Permyakov, Doctor of technical Sciences, professor Department of "Technosphere Safety" Tyumen Industrial University 38 Volodarsky str., Tyumen, 625000, Russian Federation;
e-mail: permjakovvn@tyuiu.ru

Vladimir L. Martynovich, Candidate of technical Sciences, docent Department of "Technosphere Safety" Tyumen Industrial University 38 Volodarsky str., Tyumen, 625000, Russian Federation;
e-mail: martynovichvl@tyuiu.ru

УДК 004.942

АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ПО НОВОЙ МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА, ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ С РАЗЛИЧНОЙ ГОРЮЧЕЙ НАГРУЗКОЙ

Субачев Сергей Владимирович, Субачева Алла Александровна

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В работе проведен анализ времени достижения порогового значения температуры и оптической плотности дыма в помещении очага пожара при наиболее часто встречающихся типовых горючих нагрузках при расчете пожарного риска по новой редакции Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности. Расчет времени достижения порогового значения опасными факторами пожара необходим для определения времени начала эвакуации людей из здания, которое включает в себя также время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, время задержки оповещения людей при пожаре (при наличии) и время проведения предварительных действий, предшествующих началу эвакуации. Анализ показал, что, во-первых, размерный коэффициент α , численно включающий в себя основные характеристики горючей нагрузки, по сути является обобщающей характеристикой пожарной опасности горючей нагрузки, и может применяться для экспресс-оценки пожарной опасности отдельных помещений здания и выбора наиболее потенциально опасного сценария при расчете пожарного риска без моделирования пожара. Во-вторых, во всех рассмотренных случаях время достижения порогового значения для точечных дымовых извещателей значительно меньше, чем для максимальных тепловых извещателей. В-третьих, скорость изменения температуры для всех рассмотренных типовых горючих нагрузок превышает $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ с первых секунд пожара, поэтому использование дифференциальных или максимально-дифференциальных тепловых пожарных извещателей вместо максимальных тепловых может существенно снизить расчетное время срабатывания системы пожарной сигнализации и сократить время начала эвакуации из здания.

Ключевые слова: сигнализация, пожарный извещатель, расчет риска, эвакуация, моделирование пожара

ANALYSIS OF THE ESTIMATED TIME OF THE START OF THE EVACUATION, DETERMINED BY THE NEW METHOD FOR CALCULATION OF THE FIRE RISK, FOR ROOMS WITH DIFFERENT COMBUSTIBLE LOAD

Sergey V. Subachev, Alla A. Subacheva

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

The paper analyzes the time to reach the threshold value of temperature and optical density of smoke in the room of the fire at the most common typical combustible loads when calculating the fire risk according to the new version of the Method for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard. Calculation of the time for reaching the threshold value by fire hazards is necessary to determine the start time for the evacuation of people from the building, which also includes the delay time associated with the inertia of the fire detection system, the delay time for notifying people in case of fire (if any) and the time for carrying out preliminary actions preceding start of the evacuation. The analysis showed that, firstly, the dimensional coefficient α , which numerically includes the main characteristics of the combustible load, is, in fact, a generalizing characteristic of the fire hazard of the combustible load, and can be used to expressly assess the fire hazard of individual rooms of the building and select the most potentially hazardous scenario when calculating fire risk without fire simulation. Secondly, in all the cases considered, the time to reach the threshold value for point smoke detectors is much less than for maximum heat detectors. Thirdly, the rate of temperature change for all considered typical combustible loads exceeds 10 °C/min. from the first seconds of a fire, so using of differential or maximum-differential heat detectors instead of maximum heat detectors can significantly reduce the estimated response time of the fire alarm system and reduce the time to start evacuation out of the building.

Keywords: alarm, fire detector, risk calculation, evacuation, fire simulation

Приказом МЧС России от 14.11.2022 г. № 1140 [1] утверждена новая редакция Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности, действующая с 1 сентября 2023 года. Одно из существенных отличий новой редакции от предыдущей [2] заключается в определении времени начала эвакуации людей из здания (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации).

В предыдущей редакции время начала эвакуации для помещения очага пожара принимается минимальным из двух значений (таблица 1): полученном по формуле

$$t_{\text{нэ}} = 5 + 0,01 \cdot F, \quad (1)$$

где F – площадь помещения, м², и определенном по таблице П5.1 [2],

а для остальных помещений – принимается по таблице П5.1 [2] в зависимости от класса функциональной пожарной опасности здания, характеристики контингента людей, а также наличия и типа системы оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ):

– для помещения очага пожара:

$$t_{\text{нэ}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 5 + 0,01 \cdot F \\ \text{по таблице П5.1 [2]} \end{array} \right\};$$

– для других помещений:

$$t_{\text{нэ}} – \text{по таблице П5.1 [2].}$$

В новой редакции время начала эвакуации для других помещений определяется по таблице П4.1 [1] – независимо от наличия и типа СОУЭ, а для помещения очага пожара – принимается минимальным из трех значений: полученном по формуле (1), определенном по таблице П4.1 [1] и (для зданий, оборудованных системой пожарной сигнализации

и СОУЭ) полученном по формуле (П4.2) [1]:

$$t_{н.э.} = t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{задерж}^{СОУЭ} + t_{предв}, \quad (2)$$

где $t_{пор}$ – время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя, с;

$t_{инерц}^{обн}$ – время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, с;

$t_{задерж}^{СОУЭ}$ – время задержки, связанное с задержкой оповещения людей при пожаре, с. Принимается равным нулю при одновременном оповещении людей в здании или определяется алгоритмом оповещения при поэтапном оповещении;

$t_{предв}$ – время проведения предварительных действий, предшествующих началу эвакуации. Принимается равным: 60 с – для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф1; 30 с – для других зданий.

Таким образом, по новой редакции Методики:

– для помещения очага пожара:

$$t_{н.э.} = \min \begin{cases} 5 + 0,01 \cdot F \\ t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{задерж}^{СОУЭ} + t_{предв}; \\ \text{по таблице П4.1 [1]} \end{cases}$$

– для других помещений:

$$t_{н.э.} = \min \begin{cases} t_{пор} + t_{инерц}^{обн} + t_{задерж}^{СОУЭ} + t_{предв}. \\ \text{по таблице П4.1 [1]} \end{cases}$$

Наибольший интерес для анализа представляет время достижения порогового значения срабатывания пожарного извещателя $t_{пор}$, так как по новой методике оно будет определяться по результатам моделирования и будет существенно отличаться в зависимости от характеристик конкретного объекта и свойств горючей нагрузки. Причем при использовании интегральной и зонной моделей пожара эта величина для тепловых и точечных дымовых оптико-электронных пожарных извещателей определяется аналитически: по формулам, приведенным в приложении № 11 [1]. Интегральные и зонные модели пожара (с учетом области их приме-

нения) во многих случаях позволяют получить

результаты, тождественные результатам полевых моделей [3, 4], и, благодаря меньшей ресурсоемкости вычислений, нередко применяются в решении задач пожарной безопасности [5, 6].

Рассмотрим эту методику для наиболее частого при расчете пожарного риска в жилых и общественных зданиях кругового распространения пожара.

Для максимальных тепловых пожарных извещателей:

$$t_{пор}^{тепл} = \left[\left[\frac{(T_{пор} - T_0) H^{5/3} \left(\frac{L}{2H}\right)^{2/3}}{2,04 A^3 \frac{T_0}{g} \alpha^3} \right]^{5/4} + t_{фр}^3 \right]^{3/5}, \quad (3)$$

Для точечных дымовых пожарных извещателей:

$$t_{пор}^{дым} = \left[\left[\frac{\mu_{пор} H^{5/3} \left(\frac{L}{2H}\right)^{2/3}}{2,04 A^3 \frac{1}{\eta} \frac{Dm}{Q_H} \alpha^3} \right]^{5/4} + t_{фр}^3 \right]^{3/5}, \quad (4)$$

где время прихода фронта продуктов горения $t_{фр}$ определяется по формуле:

$$t_{фр} = \left\{ \frac{5}{3} \left(\frac{H^4}{A \cdot \alpha}\right)^{1/3} \left[0,48 + 1,3 \left(\frac{L}{2H}\right)^{11/6} \right] \right\}^{3/5}, \quad (5)$$

где L – максимальное допустимое расстояние между пожарными извещателями (в настоящей работе принимается по таблицам 1, 2 СП 484.1311500.2020. «Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования»), м;

H – высота помещения, м;

$A = \frac{g}{c_{p0} T_0 \rho_0}$ – размерный комплекс, $m^4/(kJ \cdot c^2)$;

T_0 – начальная температура воздуха в помещении, К;

$T_{пор}$ – пороговое значение температуры, К;

α – размерный коэффициент, (kJ/c^2) , для кругового распространения пожара: $\alpha = \psi_{уд} \cdot \pi v^2 Q_H$,

где $\psi_{уд}$ – удельная скорость выгорания горючей нагрузки, кг/(м²·с);

v – линейная скорость распространения пламени, м/с;

Q_n – низшая теплота сгорания, кДж/кг;

D_m – дымообразующая способность, Нп · м²/кг.

Размерный коэффициент α включает в себя характеристики горючей нагрузки и является величиной, характеризующей динамику нарастания температуры при пожаре. Эта величина у типовых

горючих нагрузок отличается весьма существенно – на порядки. В табл. 1 и на рис. 1 приведены некоторые типовые горючие нагрузки в порядке увеличения их коэффициента α . Их характеристики приведены в Пособии по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (Абашкин А. А. и др., ВНИИПО, 2014) и учебном пособии Ю. А. Кошмарова «Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении» (Кошмаров Ю. А., Академия ГПС МЧС России, 2000).

Таблица 1

Значения показателей пожарной опасности типовой горючей нагрузки

Table 1

Values of fire hazard indicators of typical combustible loads

| № | Вид помещения Type of room | α , кВт/с ² α , kW/s ² | D_m , Нп · м ² /кг D_m , Np · m ² /kg |
|----|--|---|--|
| 1 | Административные помещения, учебные классы школ, вузов; кабинеты поликлиник Administrative premises, classrooms of schools, universities; rooms of polyclinics | 0,012202 | 47,7 |
| 2 | Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д. Living quarters of hotels, hostels, etc. | 0,01273 | 270 |
| 3 | Столовая, зал ресторана Canteen, restaurant halls | 0,01273 | 82 |
| 4 | Зал театра, клуба, цирка Theater, club, circus hall | 0,019016 | 270 |
| 5 | Музеи, выставки Museums, exhibitions | 0,019016 | 270 |
| 6 | Зал вокзала Station hall | 0,019016 | 270 |
| 7 | Магазины Stores | 0,022523 | 270 |
| 8 | Хранилища библиотек, архивы Library vaults, archives | 0,032069 | 49,5 |
| 9 | Гардеробы Wardrobes | 0,064269 | 61 |
| 10 | Здания –II степени огнестойкости; мебель и бытовые изделия | 0,073324 | 270 |

| | | | |
|----|---|----------|-----|
| | Buildings of I–II level of fire resistance; furniture and household goods | | |
| 11 | Стоянки легковых автомобилей Parking lots for cars | 0,105914 | 487 |
| 12 | Подсобные и бытовые помещения Service and utility rooms | 1,000844 | 53 |
| 13 | Здания III–IV степени огнестойкости; мебель и бытовые изделия Buildings of III–IV level of fire resistance; furniture and household appliances | 3,22473 | 270 |

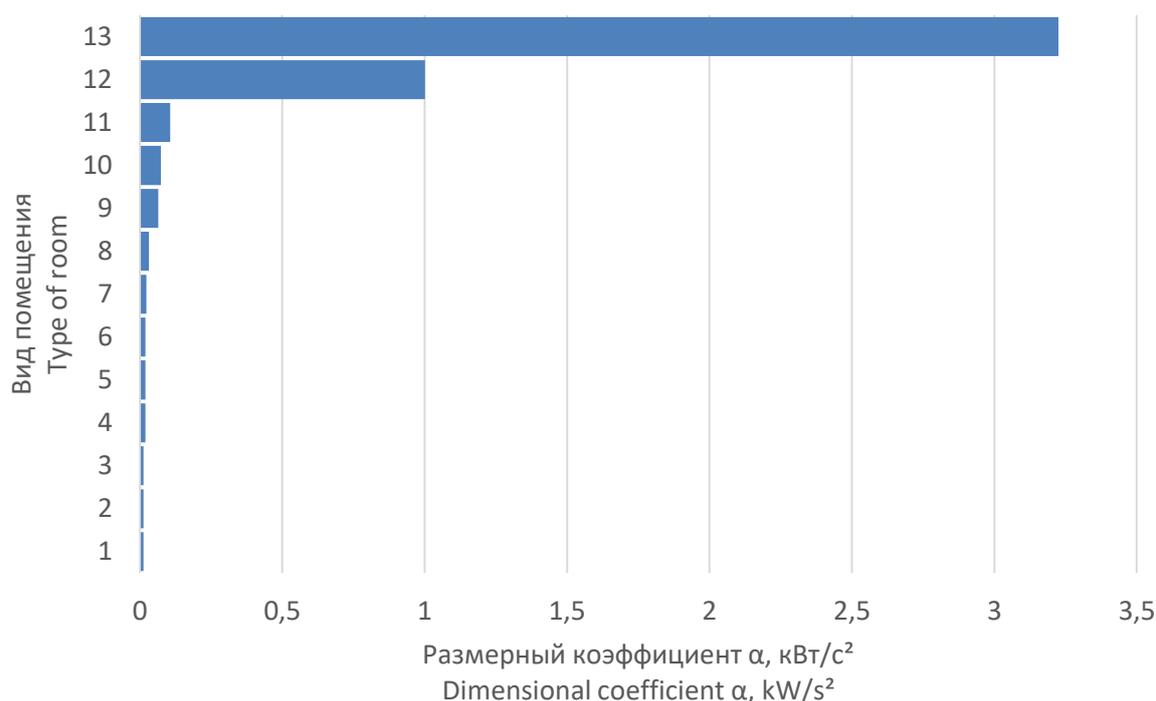


Рис. 1. Значение коэффициента α у различных типовых горючих нагрузок

Fig. 1. Value of α coefficient for various typical combustibles loads

На рисунках 2–5 приведены графики определения времени достижения порогового значения температуры и дыма в помещениях с горючими нагрузками с существенно отличающимися значениями коэффициента α от минимального до максимального. Здесь и далее высота помещения принята равной 3 м, начальная температура воздуха 20 °С, пороговое значение температуры 58 °С и пороговое значение оптической плотности дыма 0,023 Нп/м.

По результатам расчетов следует вывод, что коэффициент α (совместно с D_m при использовании дымовых извещателей) можно использовать для экспресс-оценки пожарной опасности отдельных помещений здания и выбора наиболее потенциально опасного сценария при расчете пожарного риска [7, 8] (рис. 6).

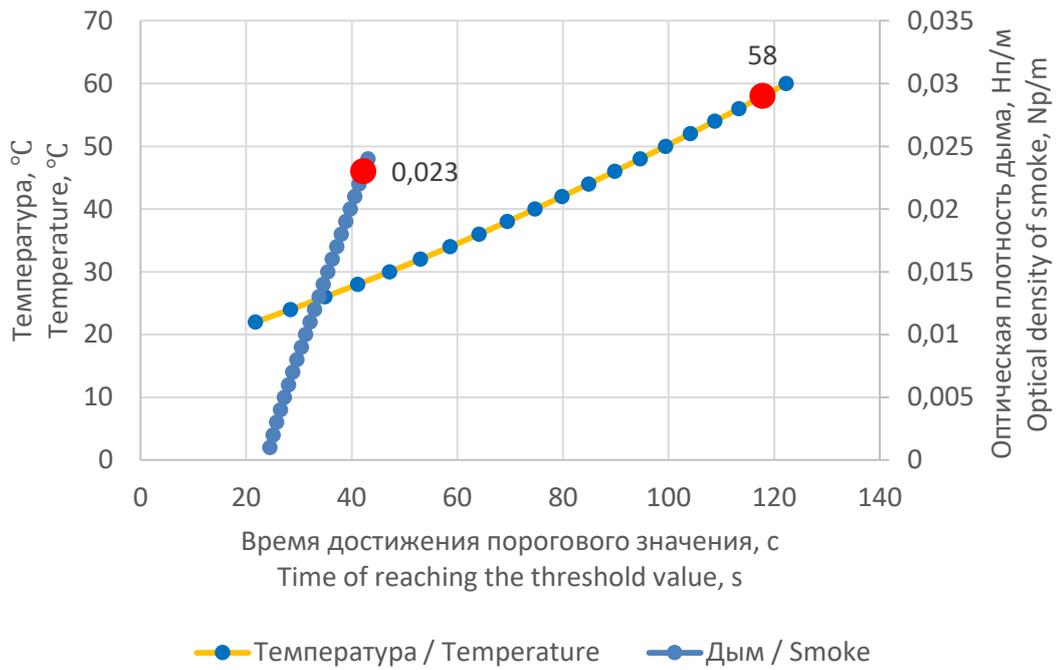


Рис. 2. Время достижения порогового значения температуры и дыма в помещении с горючей нагрузкой «Адм. помещения, уч. классы школ, вузов; кабинеты поликлиник»
Fig. 2. Time of reaching the threshold value of temperature and smoke in the room with combustible load «Admin. rooms, classrooms of schools, universities; rooms of polyclinics»

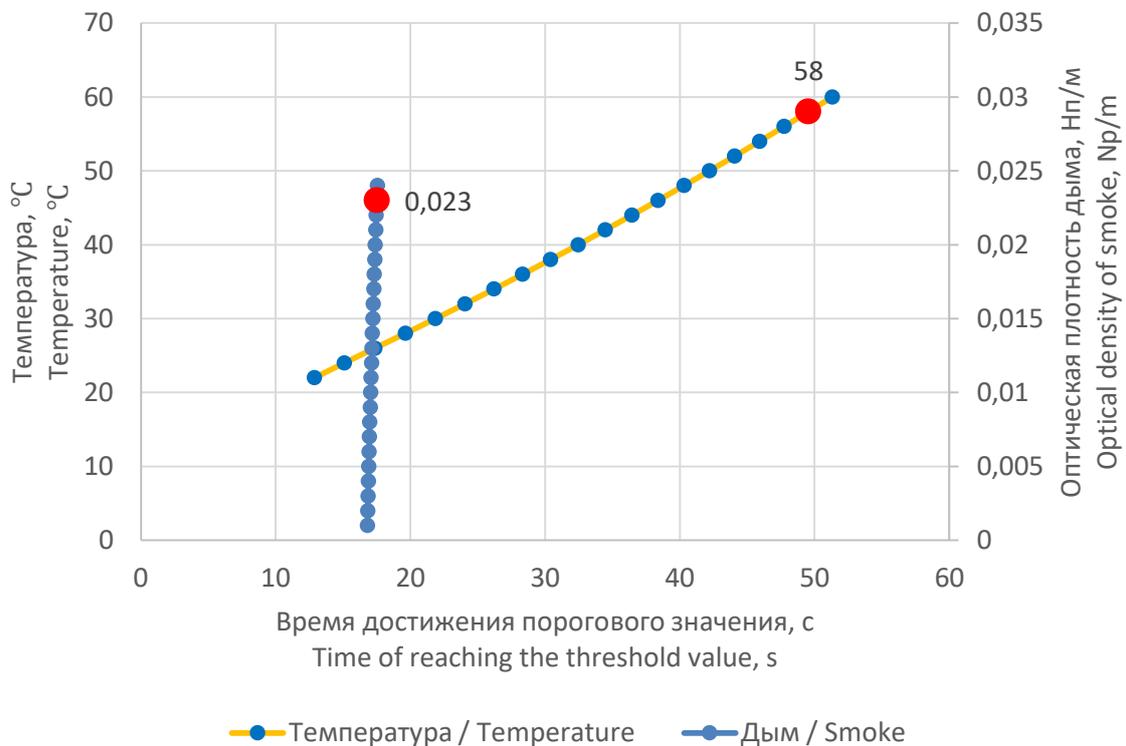


Рис. 3. Время достижения порогового значения температуры и дыма в помещении с горючей нагрузкой «Здания I–II степени огнестойкости; мебель и быт. изделия»
Fig. 3. Time of reaching the threshold value of temperature and smoke in the room with combustible load «Buildings of I–II level of fire resistance; furniture and household goods»

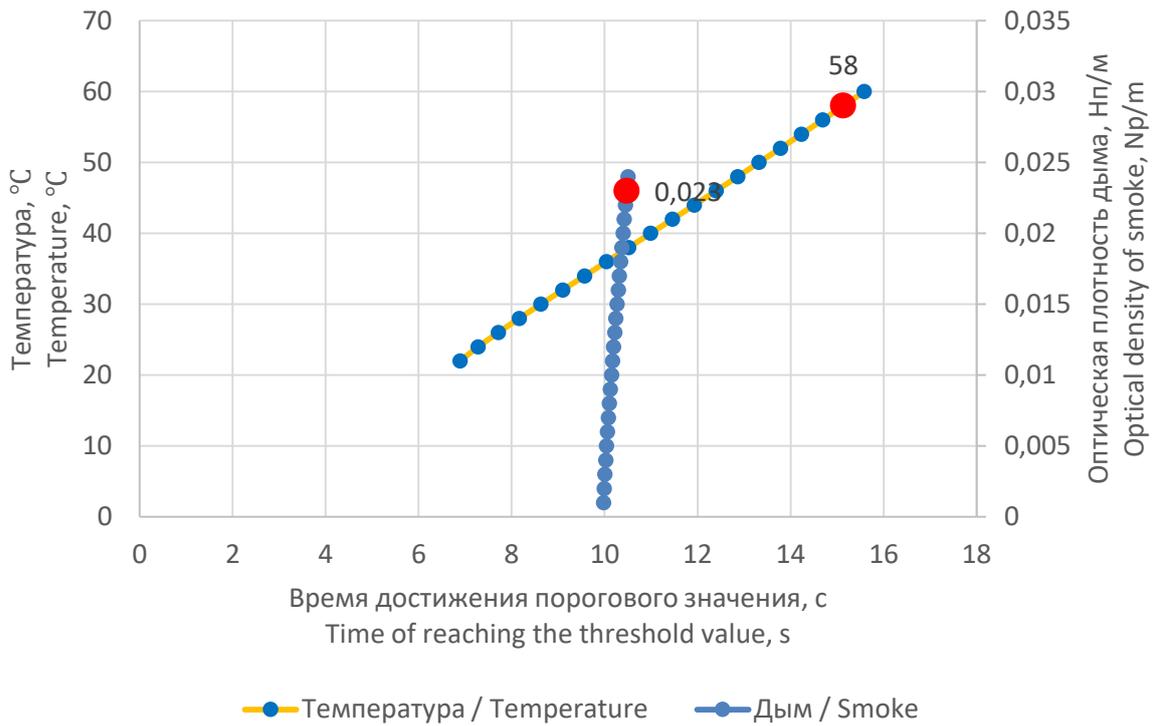


Рис. 4. Время достижения порогового значения температуры и дыма в помещении с горючей нагрузкой «Подсобные и бытовые помещения»

Fig. 4. Time of reaching the threshold value of temperature and smoke in the room with combustible load «Service and utility rooms»

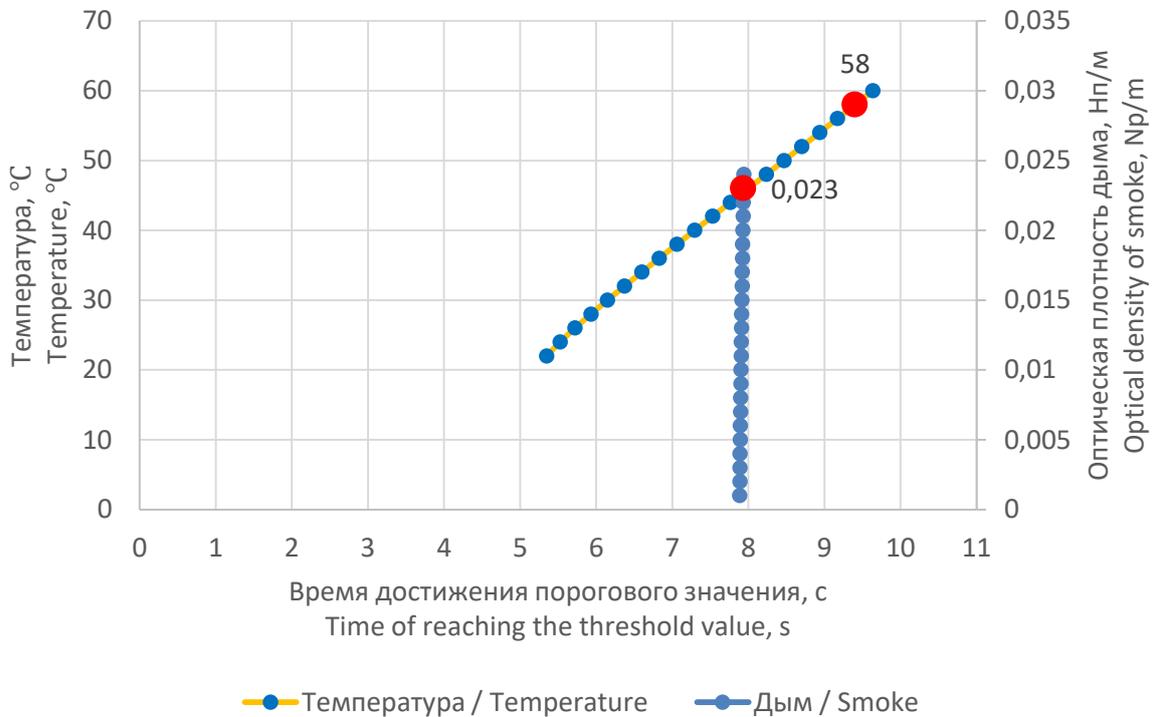


Рис. 5. Время достижения порогового значения температуры и дыма в помещении с горючей нагрузкой «Здания III–IV степени огнестойкости; мебель и быт. изделия»

Fig. 5. Time of reaching the threshold value of temperature and smoke in the room with combustible load «Buildings of III–IV level of fire resistance; furniture and household appliances»

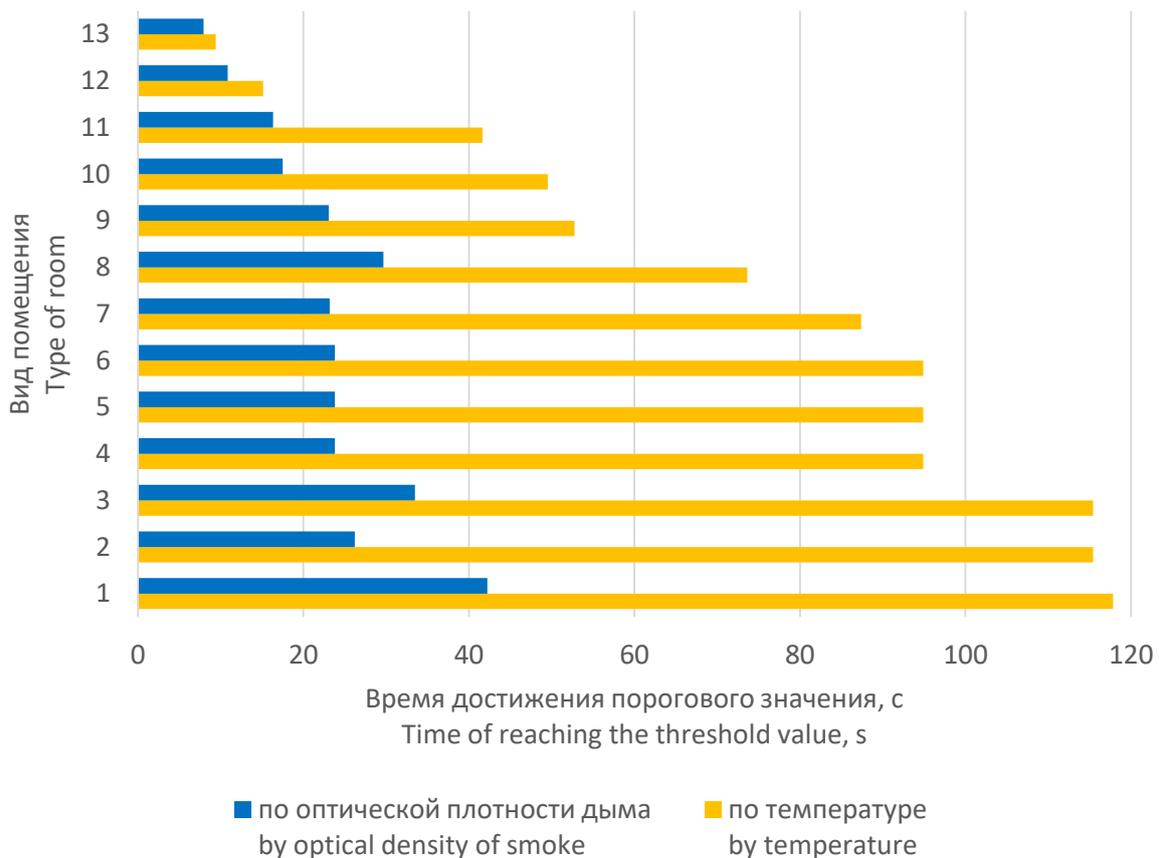


Рис. 6. Время достижения пороговых значений температуры и оптической плотности дыма в помещениях с различными видами горючей нагрузки

Fig. 6. Time of reaching the threshold values of temperature and optical density of smoke in rooms with different types of combustible load

Следует также отметить, что для помещения очага пожара время начала эвакуации принимается минимальным из значений, полученных по формуле (1), по формуле (2) и по таблице П4.1 [1], и для подавляющего большинства случаев значение, полученное по формуле (1), будет минимальным. Значение, полученное по формуле (2), будет меньше полученного по формуле (1) только при очень большой площади помещения – тысячи квадратных метров, а это (кроме «Стоянок легковых автомобилей») на практике не встречается (табл. 2).

В случае использования дифференциальных тепловых пожарных извещате-

лей пороговое значение скорости изменения температуры составляет $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. При этом в явном виде в методике [1] нет формулы нахождения времени достижения этого значения. Но это время можно определить, воспользовавшись формулой из П11.1 для максимальных тепловых пожарных извещателей, и построив зависимость по аналогии с приведенными на рис. 2–5.

Как показывает анализ проведенных расчетов, скорость изменения температуры для всех рассмотренных типовых горючих нагрузок превышает $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ с первых секунд пожара (рис. 2–5) даже при высоте помещений до 12 м, несмотря на то что при увеличении высоты

помещения время достижения порогового значения опасными факторами пожара увеличивается линейно (рис. 7). Поэтому использование дифференциальных или максимально-дифференциальных тепловых пожарных извещателей вместо максимальных

тепловых может существенно снизить расчетное время срабатывания системы пожарной сигнализации и сократить время начала эвакуации из здания.

Таблица 2

Время начала эвакуации по формуле (2) с учетом инерционности 20 с и соответствующая площадь помещения очага пожара по формуле (1)

Table 2

Evacuation start time according to formula (2), taking into account the inertia of 20 s and the corresponding area of the fire seat according to formula (1)

| Вид помещения Type of room | По температуре By temperature | | По дыму By smoke | |
|---|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| | $t_{\text{пор}}^{\text{тепл}} + 20, \text{ с}$ $t_{\text{th.v.}}^{\text{temp}} + 20, \text{ s}$ | $F, \text{ м}^2$ $F, \text{ m}^2$ | $t_{\text{пор}}^{\text{дым}} + 20, \text{ с}$ $t_{\text{th.v.}}^{\text{sm.}} + 20, \text{ s}$ | $F, \text{ м}^2$ $F, \text{ m}^2$ |
| Административные помещения, учебные классы школ, вузов; кабинеты поликлиник Administrative premises, classrooms of schools, universities; rooms of polyclinics | 137,8 | 13284 | 62,2 | 5722 |
| Жилые помещения гостиниц, общежитий и т. д. Living quarters of hotels, hostels, etc. | 135,4 | 13043 | 46,2 | 4122 |
| Столовая, зал ресторана Canteen, restaurant halls | 135,4 | 13043 | 53,5 | 4847 |
| Зал театра, клуба, цирка Theater, club, circus hall | 114,9 | 10990 | 43,8 | 3881 |
| Музеи, выставки Museums, exhibitions | 114,9 | 10990 | 43,8 | 3881 |
| Зал вокзала Station hall | 114,9 | 10990 | 43,8 | 3881 |
| Магазины Stores | 107,4 | 10240 | 43,2 | 3817 |
| Хранилища библиотек, архивы Library vaults, archives | 93,6 | 8865 | 49,7 | 4466 |
| Гардеробы Wardrobes | 72,8 | 6775 | 43,1 | 3805 |
| Здания I–II степени огнестойкости; мебель и бытовые изделия Buildings of I–II level of fire resistance; furniture and household goods | 69,5 | 6455 | 37,5 | 3251 |
| Стоянки легковых автомобилей Parking lots for cars | 61,6 | 5664 | 36,4 | 3135 |
| Подсобные и бытовые помещения Service and utility rooms | 35,1 | 3014 | 30,8 | 2584 |
| Здания III–IV степени огнестойкости; мебель и бытовые изделия Buildings of III–IV level of fire resistance; furniture and household appliances | 29,4 | 2440 | 27,9 | 2294 |

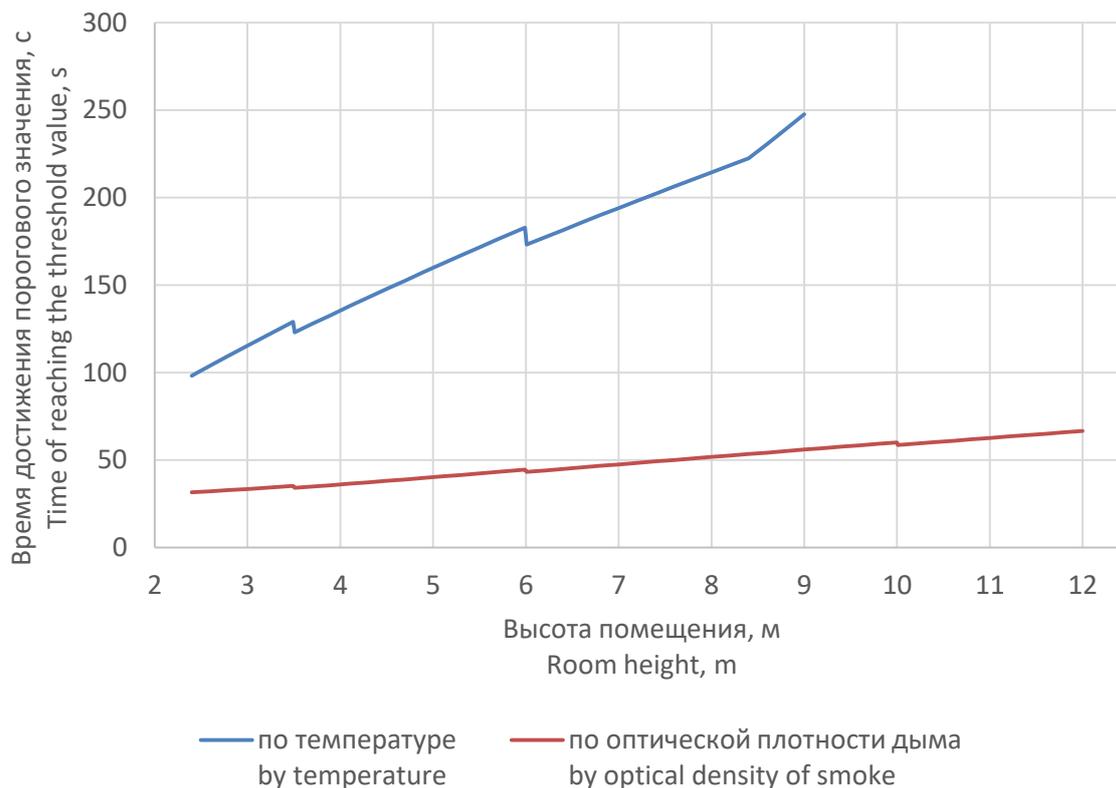


Рис. 7. Изменение времени достижения пороговых значений температуры и оптической плотности дыма в зависимости от высоты помещения (горючая нагрузка «Столовая, зал ресторана»)

Fig. 7. Changes in the time of reaching the threshold values of temperature and optical density of smoke depending on the height of the room (combustible load "Dining room, restaurant hall")

Выводы

В отношении рассмотренных видов горючей нагрузки можно подытожить следующее.

1. При использовании интегральной и зонной моделей пожара время достижения порогового значения срабатывания для точечных дымовых пожарных извещателей значительно меньше, чем для максимальных тепловых.

2. Для дифференциальных тепловых пожарных извещателей пороговое значение $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ достигается с первых секунд пожара. Поэтому использование дифференциальных или максимально-дифференциальных тепловых пожарных извещателей вместо максимальных тепловых может существенно снизить расчетное

время срабатывания системы пожарной сигнализации.

3. При расчете пожарного риска размерный коэффициент α (совместно с D_m при использовании дымовых извещателей) можно использовать для экспресс-оценки пожарной опасности отдельных помещений здания и выбора наиболее потенциально опасного сценария.

4. Принимая во внимание характерные площади помещений рассмотренных видов, изменения в новой редакции Методики не затронут определение времени начала эвакуации для помещения очага пожара, которое по-прежнему будет в большинстве случаев определяться по формуле (1), так как это значение будет, как правило, минимальным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ МЧС России от 14.11.2022 № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности».
2. Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382 (ред. от 02.12.2015) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
3. Кузьмин А. А., Романов Н. Н., Пермяков А. А. Моделирование пожара в функционально-однотипных помещениях // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2022. № 2. С. 25–32. URL: <https://www.elibrary.ru/ieimjj> (дата обращения: 17.05.2023).
4. Оценка на основе экспериментальных данных адекватности интегральной модели пожара в условиях работы системы противодымной вентиляции / А. С. Дмитриченко и др. // Пожарная безопасность. 2015. № 2. С. 75–82. URL: <https://www.elibrary.ru/uaaqej> (дата обращения: 17.05.2023).
5. Колодяжный С. А., Переславцева И. И. Математическое моделирование динамики основных опасных факторов в начальной стадии пожара // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4 (30). С. 403–412. URL: <https://www.elibrary.ru/tsmplt> (дата обращения: 17.05.2023).
6. Определение необходимого времени эвакуации с этажа высотного здания на основе интегральной модели / А. С. Дмитриченко и др. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2017. № 1 (41). С. 31–41. URL: <https://www.elibrary.ru/ysozsz> (дата обращения: 17.05.2023?).
7. Карькин И. Н., Субачев С. В., Субачева А. А. Алгоритм идентификации помещений в FDS-проектах для моделирования пожара интегральным методом // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 11 (24). С. 35–43. URL: <https://www.elibrary.ru/vbucgj> (дата обращения: 17.05.2023).
8. Субачев С. В., Субачева А. А., Ильиных А. С. О выборе наиболее опасного вида горючего материала при проведении расчетов пожарного риска // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: сб. мат. Дней науки с международным участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России (30 мая – 3 июня 2022 г.) в 2 ч. – Екатеринбург, 2022. – Ч. 1. – С. 190–193. URL: <https://www.elibrary.ru/knhked> (дата обращения: 17.05.2023).

REFERENCES

1. Order of the Emercom of Russia dated 14.11.2022 no. 1140 «On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard». (rus).
2. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated June 30, 2009 no. 382 (as amended on December 2, 2015) «On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard». (rus).
3. Kuzmin A. A., Romanov N. N., Permyakov A. A. Fire simulation in functionally similar premises. Monitoring and expertise in safety engineering, 202; 2: 25–32. URL: <https://www.elibrary.ru/ieimjj>. (rus).
4. Dmitrichenko A. S., Rafalsky V. N., Osyayev V. A. at al. Adequacy assessment of integral fire model based on experimental data under conditions of smoke ventilation system operation. Fire safety, 2015; 2: 75–82. URL: <https://www.elibrary.ru/uaaqej>. (rus).
5. Kolodyazhny S. A., Pereslavl'tseva I. I. Mathematical modeling of the dynamics of the main hazards in the initial stage of fire. News KSUAE, 2014; 4 (30): 403–412. URL: <https://www.elibrary.ru/tsmplt>. (rus).
6. Dmitrichenko A. S., Rafalski V. N., Demenchuk A. K. at al. Determination of the required evacuation time from a floor in a high-rise building on basis of the integral model. Emergency situations: prevention and elimination, 2017; 1 (41): 31–41. URL: <https://www.elibrary.ru/ysozsz>. (rus).
7. Karkin I. N., Subachev S. V., Subacheva A. A. Algorithm for the identification of rooms in FDS-projects for fire modeling by the integral method. Fire and Explosion Safety, 2015; 11 (24): 35–43. URL: <https://www.elibrary.ru/vbucgj>. (rus).
8. Subachev S. V., Subacheva A. A., Il'inyh A. S. On the choice of the most dangerous type of combustible material when performing fire risk calculations. Actual problems of security in the Russian Federation: a collection of materials of the Days of Science with international participation, dedicated to the 90th anniversary of the Civil Defense of Russia (May 30 – June 3, 2022) in 2 parts. Ekaterinburg: Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2022; 190-193. URL: <https://www.elibrary.ru/knhked>. (rus).

Информация об авторах

Субачев Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент. Начальник адъюнктуры, Уральский институт ГПС МЧС России. Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 523101; Scopus Author ID: нет; Researcher ID: нет; ORCID: нет; e-mail: sergey-subachev@yandex.ru

Субачева Алла Александровна, кандидат педагогических наук, доцент. Доцент кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России. Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 523102; Scopus Author ID: нет; Researcher ID: нет; ORCID: нет; e-mail: alla-subacheva@yandex.ru

Information about the authors

Sergey V. Subachev, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor. Head of postgraduate school, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 523101; Scopus Author ID: none; Researcher ID: none; ORCID: none. e-mail: sergey-subachev@yandex.ru

Alla A. Subacheva, Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor. Associate Professor of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 523102; Scopus Author ID: none; Researcher ID: none; ORCID: none. e-mail: alla-subacheva@yandex.ru

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКР ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ КАК ИСТОЧНИКА ЗАЖИГАНИЯ ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ

Трояк Евгений Юрьевич, Чернушевич Елена Валерьевна,
Пожаркова Ирина Николаевна

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема воспламенения горючего материала от одиночных горячих частиц металла, образующихся при проведении электросварочных работ. Для исследования искр электродуговой сварки как возможного источника зажигания горючей среды, а также для выявления зависимости времени зажигания горючего материала от диаметра одиночной горячей частицы (капли металла) и высоты её падения проведено экспериментальное исследование с применением разработанной авторами лабораторной установки. Для проведения эксперимента подобран горючий материал, который может находиться в местах проведения электросварочных работ, а именно линолеум поливинилхлоридный (ПВХ) марки Tarkett. В статье также представлено описание установки, её принцип действия и методика проведения натурного эксперимента. Результатами исследования являются значения времени зажигания образцов горючего материала от одиночной частицы расплавленного металла, значения ее конечной температуры, а также значения количества тепла, отдаваемого горячей частицей горючему материалу при контакте. Установлена зависимость времени зажигания горючей среды от диаметра одиночной горячей частицы расплавленного металла и высоты её падения. Экспериментально подтверждено, что электрические искры могут послужить источником зажигания исследуемого горючего материала. Полученные результаты могут быть использованы для определения возможности воспламенения различных горючих веществ от искр электродуговой сварки.

Ключевые слова: источник зажигания, электродуговая сварка, одиночная горячая частица, горючая среда, время зажигания

STUDY ARC WELDING SPARKS AS A SOURCE OF IGNITION OF A COMBUSTIBLE MEDIUM

Evgeniy Yu. Troyak, Elena V. Chernushevich, Irina N. Pozharkova

Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

ABSTRACT

The article deals with the problem of ignition of combustible material from single hot metal particles formed during electric welding operations. To study electric arc welding sparks as a possible source of ignition of a combustible medium, as well as to identify the dependence of the ignition time of a combustible material on the diameter

of a single hot particle (metal droplet) and the height of its fall, an experimental study was conducted using a laboratory setup developed by the authors. For the experiment, a combustible material was selected, which can be located in the places of electric welding, namely polyvinyl chloride linoleum of the Tarkett brand. The article also provides a description of the installation, its principle of operation and the methodology of conducting a full-scale experiment. The results of the study are the values of the ignition time of samples of combustible material from a single particle of molten metal, the values of its final temperature, as well as the values of the amount of heat given by the hot particle to the combustible material upon contact. The dependence of the ignition time of the combustible medium on the diameter of a single hot particle of molten metal and the height of its fall is established. It has been experimentally confirmed that electric sparks can serve as a source of ignition of the investigated combustible material. The results can be used to determine the possibility of ignition of various combustible substances from electric arc welding sparks.

Keywords: the source of ignition, arc welding, single hot particle, combustible medium, ignition time

Введение

Количество пожаров, связанных с нарушением правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ, ежегодно составляет порядка

1300 случаев (рис. 1), при этом максимальный ущерб в рассматриваемом периоде составил свыше 252 миллионов рублей [1].

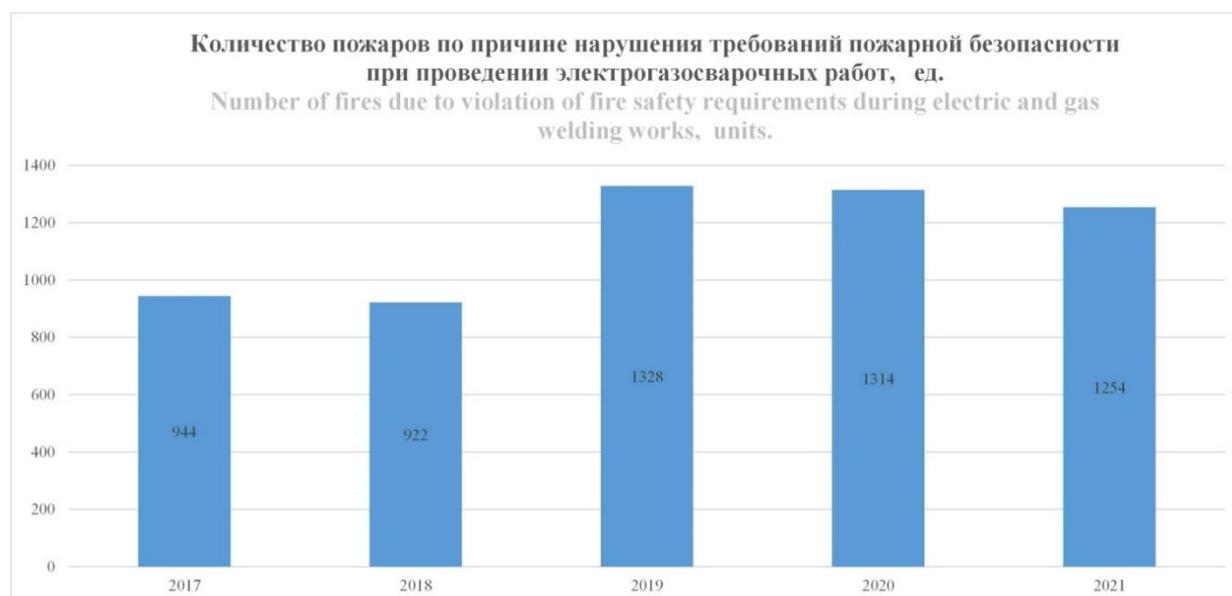


Рис. 1. Количество пожаров по причине нарушения требований пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ

Fig. 1. Number of fires due to violation of fire safety requirements during electric and gas welding

В Правилах противопожарного режима в Российской Федерации [2] обозначены требования к радиусу очистки территории от горючих материалов в месте проведения огневых работ, однако этот пункт правил зачастую не выполняется. В связи с этим непосредственной причиной пожара при проведении электросварочных работ становится воспламенение горючих материалов, расположенных вблизи места их проведения [3, 4].

Для того чтобы одиночная горячая частица (капля металла) послужила источником зажигания горючей среды необходимо одновременное выполнение следующих условий:

$$t_{\text{кон}} \geq t_{\text{св}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{кон}}$ – конечная температура одиночной горячей частицы, °С;

$t_{\text{св}}$ – температура самовоспламенения горючей среды, °С;

$$W \geq W_{\text{min}}, \quad (2)$$

где W – количество тепла, отдаваемого одиночной горячей частицей при охлаждении от начальной температуры до температуры самовоспламенения, Дж;

W_{min} – минимальная энергия зажигания горючей смеси, Дж;

$$\tau \geq \tau_{\text{инд}} + \tau_{\text{наг}}, \quad (3)$$

где τ – длительность действия одиночной горячей частицы, с;

$\tau_{\text{инд}}$ – период индукции горючей смеси, с;

$\tau_{\text{наг}}$ – время нагрева горючей смеси до температуры самовоспламенения, с.

Целью исследования является выявление зависимости времени зажигания горючего материала от диаметра одиночной горячей частицы (капли металла) и высоты её падения.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

– разработка лабораторной установки для исследования одиночной горячей частицы (капли металла) как источника зажигания;

– исследование времени зажигания образцов горючего материала одиночной горячей частицей, падающей с высоты 0,04 м и 1 м;

– обработка и интерпретация результатов.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для проведения исследования подобраны образцы горючего материала, который может находиться в местах проведения огневых (электросварочных) работ, – линолеум поливинилхлоридный (ПВХ) марки Tarkett. Согласно сопроводительной документации образец имеет следующие показатели пожарной опасности: группа воспламеняемости В3 (легковоспламеняемые), группа распространения пламени РП2 (слабораспространяющие), группа дымообразующей способности ДЗ (с высокой дымообразующей способностью), группа по токсичности продуктов горения Т2 (умеренно-опасные).

В ходе исследования применялись теоретические (анализ, обобщение, сравнение, дедукция) и эмпирические (наблюдение, эксперимент) методы. Для обработки экспериментальных данных применялись методы математической статистики.

Основная часть

Для исследования одиночной горячей частицы (капли металла) как источника зажигания разработана и сконструирована лабораторная установка, общая и принципиальная схемы которой представлены на рис. 2. Проведение экспериментов на данной установке возможно в двух положениях: при расстоянии от электродов до чаши с исследуемым горючим материалом 0,04 м и 1 м.

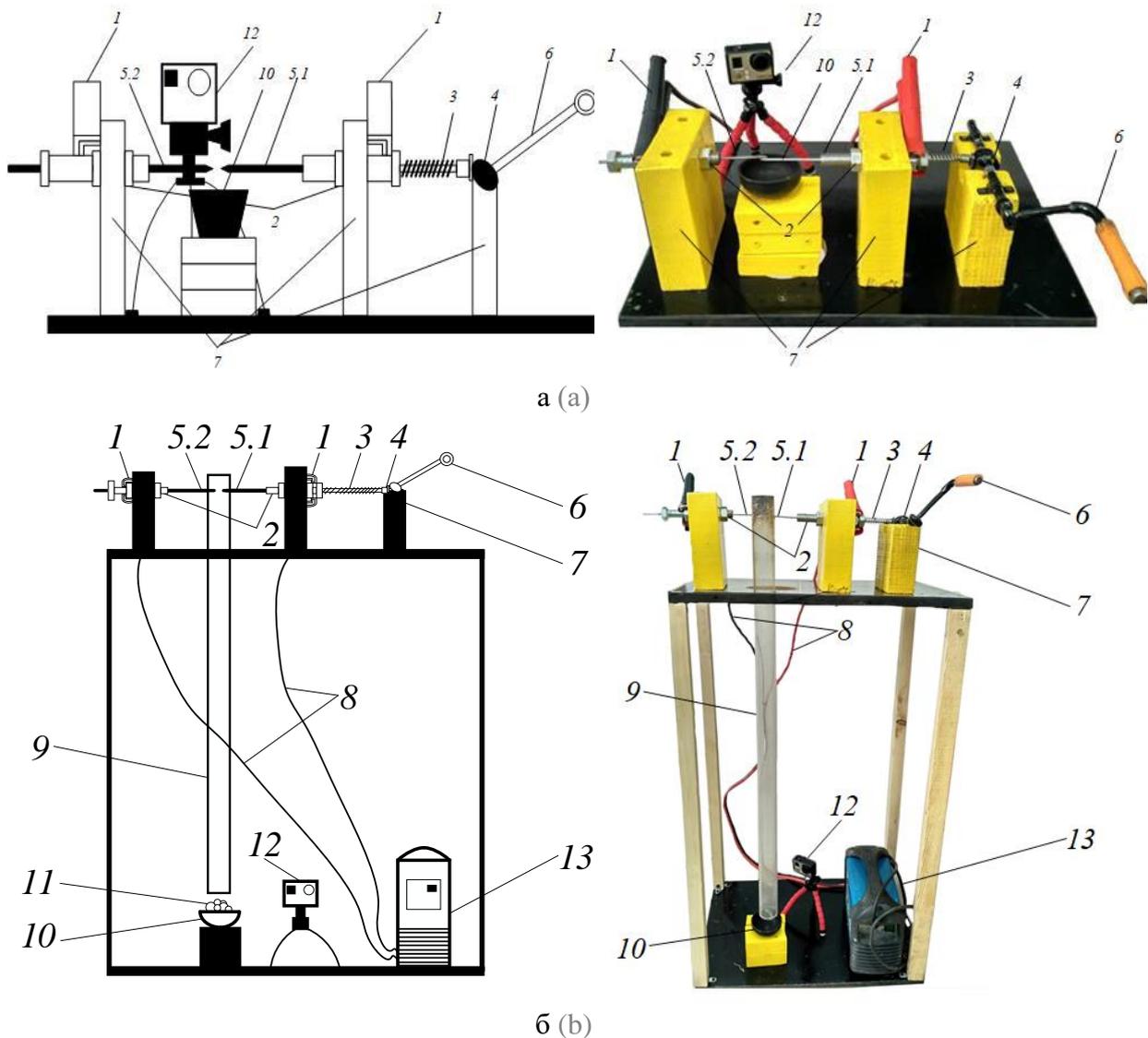


Рис. 2. Схема лабораторной установки в «положении 1» – 0,04 м (а), в «положении 2» – 1 м (б): 1 – зажимы; 2 – болты; 3 – пружина; 4 – эксцентрик; 5.1, 5.2 – электроды; 6 – металлическая стальная ручка с диэлектрической пластмассовой насадкой; 7 – элементы крепления; 8 – провода; 9 – кварцевая жаростойкая труба; 10 – чугунная чаша; 11 – горючий материал; 12 – экшен-камера «GoPro Hero 3»; 13 – сварочный аппарат «Blueweld Prestige 164»

Fig. 2. Scheme of the laboratory installation in «position 1» - 0.04 m (a), in «position 2» - 1 m (b): 1 - clamps; 2 - bolts; 3 - spring; 4 - eccentric; 5.1, 5.2 - electrodes; 6 - metal steel handle with a dielectric plastic nozzle; 7 - fastening elements; 8 - wires; 9 - quartz heat-resistant pipe; 10 - cast iron bowl; 11 - combustible material; 12 - action camera «GoPro Hero 3»; 13 - welding machine «Blueweld Prestige 164»

Лабораторная установка включает электроды фирмы «Esab» 5.1 и 5.2 (диаметр электродов 3 мм, длина электрода 5.1 – 30 см, длина электрода 5.2 – 25 см, концы электродов заточены под углом

30°), закрепленные на элементах 7 при помощи зажимов 1 и болтов 2. Для создания электрической дуги электроды 5.1 и 5.2 через провода 8 подсоединяются к сварочному аппарату 13 («Blueweld Prestige 164»),

служащему источником питания сварочного тока.

При вращении оператором металлической ручки 6 лабораторной установки через эксцентрик 4 создается поступательное движение электрода 5.1 в сторону электрода 5.2. При касании электродов 5.1 и 5.2 образуется электрическая дуга, которая плавит оба электрода. В результате нескольких касаний за короткий промежуток времени на электродах начинает образовываться капля расплавленного металла. Под действием силы тяжести капля отделяется от электродов и падает во внутреннем пространстве кварцевой жаростойкой трубы 9 в чугунную чашу 10, заполненную горючим материалом 11. В результате теплопередачи от капли металла происходит воспламенение горючего материала 11. Экшен-камера 12 «GoPro Hero 3» фиксирует процесс от момента

попадания капли металла на горючий материал 11 до момента воспламенения. Кварцевая жаростойкая труба применяется при проведении испытаний в «положении 2».

Для исследования искр электродуговой сварки как возможного источника зажигания был проведен эксперимент, в ходе которого фиксировались диаметр одиночной горячей частицы (капли металла) и время зажигания горючего материала. В табл. 1 представлены средние значения диаметра одиночной горячей частицы и времени зажигания образцов горючего материала в двух положениях установки. На рис. 3 изображен внешний вид образцов линолеума до и после зажигания. На рис. 4 графически представлено время зажигания горючего материала в зависимости от диаметра одиночной горячей частицы.

Таблица 1
Результаты эксперимента
Table 1
Experiment results

| Диаметр одиночной горячей частицы d , м Diameter of a single hot particle d , m | Время зажигания τ_3 , с Ignition time τ_i , sec | |
|--|--|------------|
| | 0,04 м 0,04 m | 1 м 1 m |
| 0,0015 | 0,39 | 0,41 |
| 0,0020 | 0,35 | 0,43 |
| 0,0031 | 0,36 | 0,40 |
| 0,0034 | 0,33 | 0,40 |
| 0,0043 | 0,30 | 0,32 |
| 0,0048 | 0,31 | 0,33 |
| 0,0057 | 0,24 | 0,34 |
| 0,0068 | 0,22 | 0,26 |
| 0,0079 | 0,15 | 0,25 |
| 0,0088 | 0,16 | 0,19 |
| 0,0100 | 0,14 | 0,20 |



Рис. 3. Внешний вид образцов линолеума до и после зажигания
Fig. 3. The appearance of linoleum samples before and after ignition



Рис. 4. Время зажигания образцов горючего материала в зависимости от диаметра одиночной горячей частицы
Fig. 4. Ignition time of combustible material samples depending on the diameter of a single hot particle

По результатам испытаний установлено, что высота падения одиночной горячей частицы оказывает незначительное влияние на время зажигания горючего материала. Время зажигания горючего материала в большей степени зависит от диаметра одиночной горячей частицы. При этом зависимость времени зажигания образцов горючего материала от диаметра одиночной горячей частицы описывается линейной функцией и выглядит следующим образом:

– «положение 1» (0,04 м):

$$\tau_3 = -29,552 \cdot d + 0,4775, \quad (4)$$

– «положение 2» (1 м):

$$\tau_3 = -31,538 \cdot d + 0,4353, \quad (5)$$

где d – диаметр одиночной горячей частицы, м.

Конечная температура одиночной горячей частицы, а также количество тепла, отдаваемое одиночной горячей частицей при охлаждении от начальной температуры до температуры самовоспламенения, определялись в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 12.1.004 [5]. В соответствии с указанной методикой конечная температура одиночной горячей частицы находится по следующей формуле:

$$T_{\text{кон}} = T_0 + (T_{\text{н}} - T_0) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha \cdot S_k}{C_p \cdot m_k} \cdot \tau\right), \quad (6)$$

где T_0 – температура воздуха в помещении, К;

$T_{\text{н}}$ – начальная температура одиночной горячей частицы, К (принимается равной 2373 К);

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

S_k – площадь поверхности одиночной горячей частицы, м²;

C_p – удельная теплоемкость расплава металла, Дж/(кг·К);

m_k – масса одиночной горячей частицы, кг;

τ – время полета одиночной горячей частицы, с.

Количество тепла, отдаваемое каплей металла горючей среде, определяется по следующей формуле:

$$W = V_k \rho_k C_k (T_{\text{кон}} - T_{\text{св}}) \cdot K \quad (7)$$

где V_k – объем одиночной горячей частицы, м³;

ρ_k – плотность одиночной горячей частицы, кг/м³;

C_k – удельная теплоемкость металла, Дж/(кг·К);

$T_{\text{кон}}$ – конечная температура одиночной горячей частицы, К;

$T_{\text{св}}$ – температура самовоспламенения горючей среды, К;

K – коэффициент, равный 1.

Результаты расчетов конечной температуры одиночной горячей частицы, а также отдаваемого одиночной горячей частицей количества тепла представлены в таблице 2.

Исходя из результатов расчёта (табл. 2), следует, что значение конечной температуры одиночной горячей частицы и количество тепла, отдаваемое ею горючему материалу, пропорционально диаметру частицы. При этом в условиях проведения эксперимента высота падения частицы металла не оказывает существенного влияния на конечную температуру и количество тепла, отдаваемого частицей, и, как следствие, на исход опыта – факт и время зажигания горючего материала. Полученные результаты не противоречат теоретическим моделям зажигания горючей среды от одиночной горячей частицы [6, 7].

Таблица 2
 Результаты расчетов
Table 2
 Calculation results

| Диаметр одиночной горячей частицы d , м Diameter of a single hot particle d , m | Конечная температура одиночной горячей частицы $T_{\text{кон}}$, К Final temperature of a single hot particle T_{fin} , K | | Количество тепла, отдаваемое одиночной горячей частицей W , Дж The amount of heat given off by a single hot particle W , J | |
|--|--|------------|---|------------|
| | Высота падения частицы Particle drop height | | | |
| | 0,04 м 0,04 m | 1 м 1 m | 0,04 м 0,04 m | 1 м 1 m |
| 0,0015 | 2097,88 | 2076,39 | 10,79 | 10,66 |
| 0,0020 | 2098,62 | 2084,64 | 25,61 | 25,39 |
| 0,0031 | 2099,29 | 2092,02 | 95,39 | 94,98 |
| 0,0034 | 2099,38 | 2093,05 | 125,86 | 125,39 |
| 0,0043 | 2099,56 | 2095,11 | 254,63 | 253,96 |
| 0,0048 | 2099,63 | 2095,86 | 354,19 | 353,41 |
| 0,0057 | 2099,71 | 2096,80 | 593,16 | 592,13 |
| 0,0068 | 2099,78 | 2097,54 | 1007,14 | 1005,80 |
| 0,0079 | 2099,82 | 2098,04 | 1579,26 | 1577,59 |
| 0,0088 | 2099,85 | 2098,33 | 2182,87 | 2180,91 |
| 0,0100 | 2099,88 | 2098,62 | 3203,22 | 3200,84 |

Заключение

Таким образом, полученные экспериментальные данные по определению времени зажигания горючей среды от одиночной горячей частицы металла, образующейся при электродуговой сварке, позволили выявить зависимость между диаметром частицы, высотой ее падения и временем зажигания исследуемого горючего материала на основе ПВХ. В результате исследования с использованием разработанной авторами лабораторной установки

установлено, что на конечную температуру и количество тепла частицы металла (в условиях испытаний) в большей степени оказывает влияние диаметр частицы, а не высота ее падения. Данная методика может быть использована для определения возможности воспламенения различных горючих веществ от искр электродуговой сварки, в т. ч. строительных и отделочных материалов, горючих жидкостей, а также для обоснования безопасных расстояний при выполнении огневых работ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаренко В. С., Четина Т. А., Сибирско В. И. Пожары и пожарная безопасность в 2021 г.: стат. сб. Балашиха, 2022. 114 с.
2. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».
3. Мухаметьянова А. Р. Требования пожарной безопасности при выполнении сварочных работ // Мавлютовские чтения: мат. XV Всероссийской молодежной научной конференции в 7 т., Уфа, 26–28 ноября 2021 г. – Уфа, 2021. – Т. 5. – С. 184–186. – URL: <https://www.elibrary.ru/vafbfm> (дата обращения: 19.05.2023).

4. Рот Т. В. Пожарная безопасность при проведении сварочных работ в строительстве // Техносферная безопасность: мат. III Межвузовской научно-технической конференции, Омск, 28 апреля 2016 г. – Омск, 2016. – С. 246–249. – URL: <https://www.elibrary.ru/wovyan> (дата обращения: 19.05.2023).

5. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

6. Кузнецов Г. В., Стрижак П. А. Воспламенение пожароопасной жидкости одиночной «горячей» частицей // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 6. С. 13–20. URL: <https://www.elibrary.ru/knvkuf> (дата обращения: 19.05.2023).

7. Experimental research and numerical simulation of gel fuel ignition by a hot particle / D. O. Glushkov, A. G. Kosintsev, G. V. Kuznetsov, V. S. Vysokomorny // Fuel. – 2021. – Vol. 291. – P. 120172. – DOI 10.1016/j.fuel.2021.120172.

REFERENCES

1. Goncharenko V.S., Chechetina T.A., Sibirko V.I. Fires and fire safety in 2021: statist. Sat. Balashikha: P 46 FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2022; 114. (rus).

2. Decree of the Government of the Russian Federation №1479 of 09/16/2020. On approval of the Rules for the fire regime in the Russian Federation. (rus).

3. Mukhametyanova, A. R. Fire safety requirements when performing welding work. Mavlyutov readings: materials of the XV All-Russian Youth Scientific Conference: in 7 volumes, Ufa, November 26–28, 2021 / Ufa State Aviation Technical University. Volume 5. Ufa, Ufa State Aviation Technical University, 2021; 184–186. <https://www.elibrary.ru/vafbfm>. (rus).

4. Root T. V. Fire safety during welding in construction. Technospheric safety: materials of the third inter-university scientific and technical conference, Omsk, April 28, 2016. Omsk, Omsk State Technical University, 2016; 246–249. <https://www.elibrary.ru/wovyan>. (rus).

5. GOST 12.1.004-91. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements. (rus).

6. Kuznetsov G. V., Strizhak P.A. Ignition of a fire hazardous liquid by a single "hot" particle. Fire and explosion safety, 2007; 16 (6): 13–20. – <https://www.elibrary.ru/knvkuf>. (rus).

7. Glushkov D. O., Kosintsev A. G., Kuznetsov G. V., Vysokomorny V. S. Experimental research and numerical simulation of gel fuel ignition by a hot particle. Fuel, 2021; 291: 120172. – DOI 10.1016/j.fuel.2021.120172. (rus).

Информация об авторах

Трояк Евгений Юрьевич, кандидат педагогических наук, заместитель начальника кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1; РИНЦ ID: 822160; Scopus Author ID: 57218577533; ORCID: 0000-0002-9446-9226
e-mail: trev191186@gmail.com

Чернушевич Елена Валерьевна, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС

Information about the authors

Evgeniy Yu. Troyak, candidate of pedagogical sciences, Deputy Head of the Department of Engineering and Technical Expertise and Forensic Science, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Severnaya St., 1, Zheleznogorsk, 662972 Russian Federation; ID RINC: 822160; Scopus Author ID: 57218577533; ORCID: 0000-0002-9446-9226;
e-mail: trev191186@gmail.com

Elena V. Chernushevich, candidate of technical sciences, Senior Lecturer of the Department of Engineering and Technical Expertise and Forensic Science, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Severnaya St., 1, Zheleznogorsk,

МЧС России, Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1; РИНЦ ID: 1002014; ORCID: 0000-0001-7502-1082;
e-mail: e.v.chernushevich@gmail.com

Пожаркова Ирина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1; РИНЦ ID: 501137; Scopus Author ID: 55990913900; ResearcherID: A-7628-2015; ORCID: 0000-0003-1153-350X;
e-mail: pozharkova@mail.ru

662972 Russian Federation; ID RINC: 1002014; ORCID: 0000-0001-7502-1082;
e-mail: e.v.chernushevich@gmail.com

Irina N. Pozharkova, candidate of technical sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Engineering and Technical Expertise and Forensic Science, Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Severnaya St., 1, Zheleznogorsk, 662972 Russian Federation; ID RINC: 501137; Scopus Author ID: 55990913900; ResearcherID: A-7628-2015; ORCID: 0000-0003-1153-350X;
e-mail: pozharkova@mail.ru

УДК 621.039.73

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПЕРЕРАБОТКИ ГРАФИТОВЫХ ОТХОДОВ. ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

**Кобелев Антон Михайлович, Луговкин Владимир Викторович,
Барбин Николай Михайлович, Арефьева Елизавета Алексеевна**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

С помощью программного обеспечения «ГРАФИТ-ГАЗ», разработанного в интегрированной среде CODESYS, было проведено моделирование процесса переработки реакторного графита в газогенераторе. Состав генераторного газа, используемого в модели, определяли методом термодинамического моделирования системы радиоактивный графит – водяной пар с использованием программного комплекса TERRA. Представлена схема газогенераторной установки и ее описание. Для газификации реакторного графита была выбрана схема газогенератора, основанная на прямой схеме газификации сырья с использованием электронагрева. Представлен интерфейс программы «ГРАФИТ-ГАЗ» (стартовое окно, окно настройки температуры газогенераторной печи, а также графики изменения температуры и газового состава в газогенераторной печи). Рассмотрены основные химические реакции, происходящие в газогенераторе. Определены пять этапов, имитирующих работу газогенератора.

Ключевые слова: радиоактивный графит, газогенераторная печь, водяной пар

GRAPHITE WASTE PROCESS CONTROL SYSTEM. VIRTUAL MODEL

Kobelev Anton M., Lugovkin Vladimir V., Barbin Nikolai M., Arefieva Elizaveta A.

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

With the help of the software «GRAFIT-GAS», developed in the integrated environment CODESYS, the simulation of the processing of reactor graphite in the gas generator was carried out. The composition of the generator gas used in the model was determined by the method of thermodynamic modeling of the system radioactive graphite - water vapor using the TERRA software package. A diagram of a gas-generating plant and its description are presented. The plant for reactor graphite gasification is based on a gas generator circuit with a direct feedstock gasification circuit based on electric heating. The interface of the program «GRAFIT-GAS» (starting window, window for setting the temperature of the gas-generating furnace, the graph of temperature changes in the gas-generating furnace, the graph of changes in the gas composition of the gas-generating furnace) is presented. The main chemical reactions occurring in

the gas generator are considered. Five stages simulating the operation of a gas generator are defined.

Keywords: radioactive graphite, gas generating furnace, steam

Введение

По сравнению с традиционной углеводородной энергетикой, атомная энергетика имеет почти неограниченный запас топливных ресурсов.

В настоящее время существуют три ключевые проблемы, которые определяют отношение общества к использованию атомной энергетике в качестве потенциально опасной технологии. Эти проблемы включают в себя возможность серьезных аварий; проблемы, связанные с обращением радиоактивных отходов, включая отработанное ядерное топливо; угрозу глобального ядерного терроризма в связи с распространением совместно используемых материалов.

Сравнивая отработавшее ядерное топливо и радиоактивные отходы после переработки, можно сказать, что отработавшее топливо может быть использовано в качестве нового ядерного топлива для АЭС, в то время как единственным способом нейтрализации радиоактивных отходов является их длительное хранение для распада радионуклидов, содержащихся в них.

Графит – один из видов радиоактивных отходов, которые хранятся в больших количествах. Несмотря на то, что графит подвергается длительному облучению, он не обладает какими-либо свойствами,

которые могли бы использоваться в полезных целях [1–4].

Графит является неотъемлемым материалом в атомной промышленности и применяется в различных формах. В качестве несменяемых изделий используются графитовые блоки, а в качестве сменных элементов – контактные кольца между кладкой и технологическими каналами и другие подобные детали [1–4].

В России было построено 11 энергоблоков, использующих уран-графитовые реакторы. Некоторые из них, включая энергоблоки Белоярской, Ленинградской, Билибинской и Обнинской АЭС, были приостановлены, и в настоящее время ведутся работы по выводу их из эксплуатации. Срок службы энергетических уран-графитовых реакторов подходит к концу. На следующий период около 10–15 лет ресурс большинства блоков будет исчерпан с учетом продления срока их службы (рис. 1) [5].

Количество облученного реакторного графита в России составляет приблизительно 60 000 тонн. Эта проблема также актуальна для других стран, таких как Великобритания (более 86 000 тонн), США (более 55 000 тонн) и Франция (более 23 000 тонн). Общее количество облученного графита, который хранится по всему миру, составляет около 250 000 тонн (рис. 2) [6].

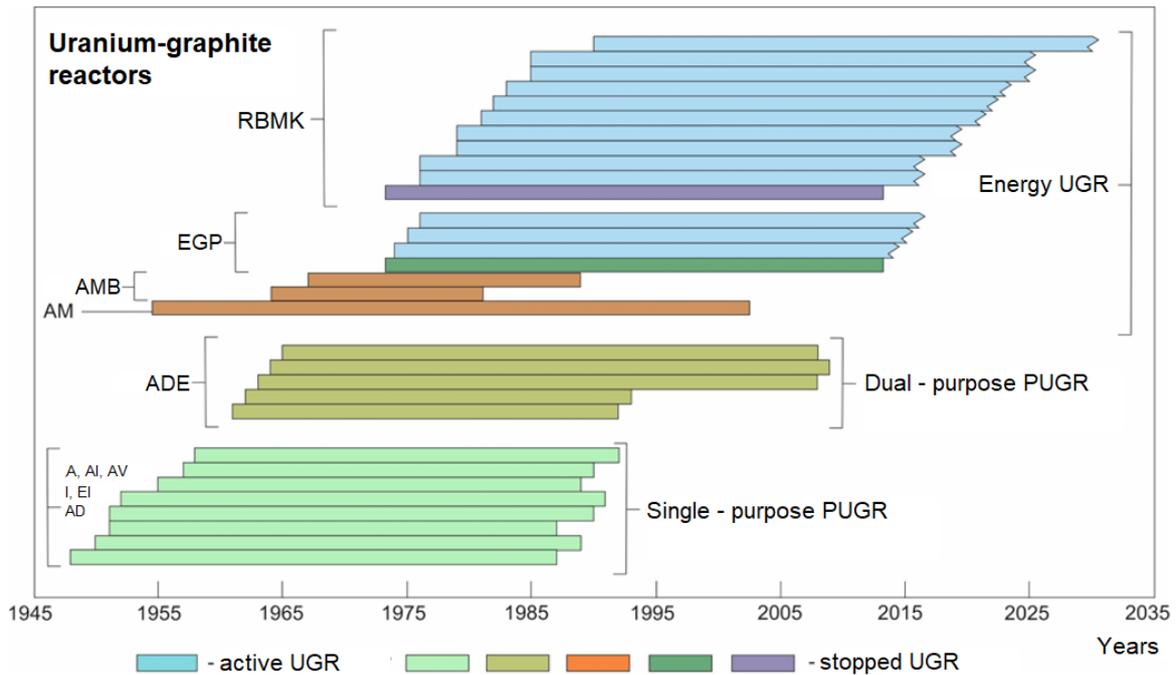


Рис.1. Российские уран-графитовые реакторы
Fig.1. Russian uranium-graphite reactors

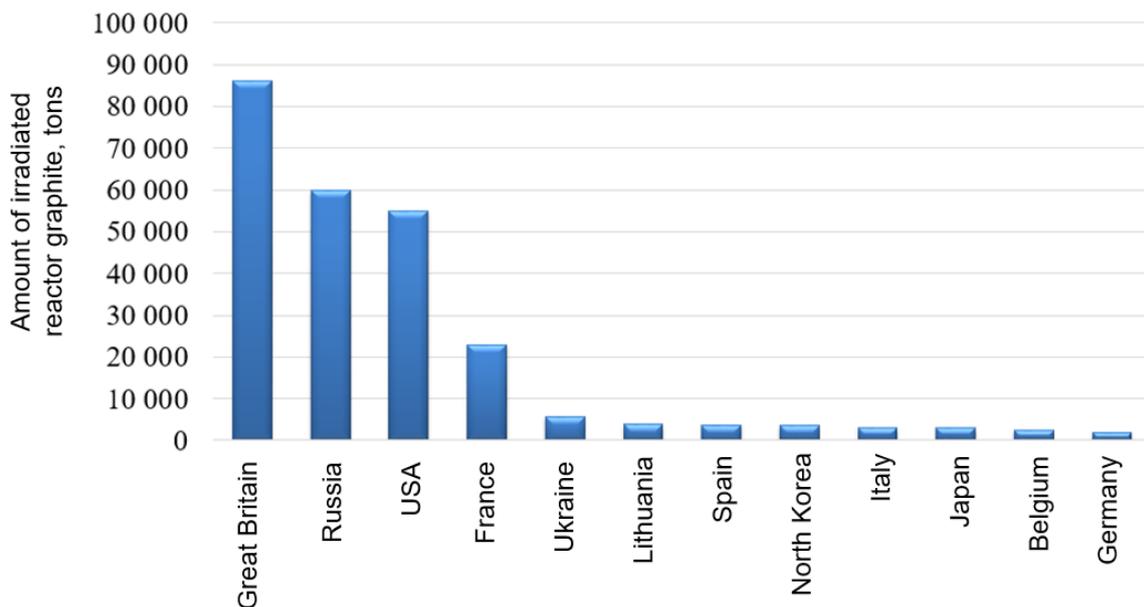


Рис. 2. Количество облученного графита в мире
Rice. 2. Amount of irradiated graphite in the world

Одной из ключевых проблем является обработка графита, который был подвергнут облучению [5].

Вопрос об утилизации реакторного графита становится более сложным из-за

присутствия долгоживущих радионуклидов (например, ²⁴³Am с периодом полураспада 7370 лет) в его составе, а также из-за того, что графит является материалом, способным вызывать пожары. Кроме того,

облученный графит содержит накопленную энергию Вигнера, что еще больше усложняет проблему его утилизации [1].

В отчете МАГАТЭ отмечается, что существует несогласованность по стратегии переработки графита в мире, но большинство государств склонно к утилизации графита в геологических формациях, а не к его деактивации. Причиной такого выбора является медленный прогресс в разработке эффективной технологии переработки [5].

На данный момент наиболее эффективным методом обработки использованных графитовых материалов считается процесс сжигания [1].

Предложены несколько методов для обработки графита: традиционный способ, метод в кипящем слое, использование плазмохимического реактора, газификация графита с помощью перегретого водяного пара (пиролиз) и синтез карбонатов щелочных металлов в присутствии окислителя [1].

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе выполнено моделирование процесса переработки графита реактора в газогенераторной установке.

Основной целью использования газогенераторной переработки реакторного графита является создание искусственных горючих газов, которые получают в результате неполного окисления углеродсодержащих материалов. Газообразующий процесс осуществляется при температуре, которая не может быть менее 500 градусов Цельсия.

В зависимости от способа генерации газа (тип газа, подаваемого в газогенераторную установку) искусственно генерируемый газ подразделяется на воздушный, паровой, водяной и коксовый.

Паровоздушный газ содержит большое количество окиси углерода.

Графитовые блоки уран-графитовых реакторов атомных электростанций могут быть специфическим источником сырья для газогенераторных установок [7].

Примерно 1,5 миллиона кубических метров генераторного газа могут быть получены после электрохимической обработки графитовых блоков РБМК-1000, которая включает в себя удаление наиболее радиоактивного внешнего слоя блоков толщиной около 1 мм. Для обработки графитовых блоков в одном энергоблоке АЭС РБМК понадобится от трех до шести лет непрерывной работы на газогенераторной установке с мощностью от 20 до 50 кубических метров в час [7].

Коэффициент разбавления остаточной удельной радиоактивности при переходе радиоактивного материала из твердого состояния в газообразное состояние зависит от плотности газа и массовой доли радиоактивного элемента в молекуле (1):

$$K = \frac{\rho_C \cdot m_{CO}}{\rho_{CO} \cdot m_C'} \quad (1)$$

где ρ_C – плотность радиоактивного графита;

ρ_{CO} – плотность окиси углерода; m_C' – относительная молекулярная масса углерода;

m_{CO} – относительная молекулярная масса оксида углерода [7].

При условии, что средняя плотность различных марок реакторного графита составляет 1,7 г/см³, а плотность окиси углерода в обычных условиях равна 1,25 г/л, коэффициент разбавления остаточной удельной радиоактивности достигнет 3170. Из этого следует, что концентрация радиоактивных остатков в генераторном газе будет значительно ниже, чем в реакторном графите: примерно в 3170 раз. Уровень содержания золы в горючем газе не превысит $0,2 \cdot 10^{-3}\%$, что гарантирует его экологическую чистоту. Допустимое количество углерода-14 в одном грамме реакторного графита равно $7 \cdot 10^{-3}$ Ки/л. Эта

концентрация считается безопасной для окружающей среды [7].

Состав генераторного газа может быть определен путем термодинамического моделирования радиоактивной графито-паровой системы с использованием программного комплекса TERRA. Данное программное обеспечение определяет состав фаз, а также термодинамические и транспортные свойства систем с возмож-

ными химическими и фазовыми превращениями. При расчетах использовалась справочная база данных, содержащая информацию о свойствах индивидуальных веществ HSC и ИВТАНТЕРМО [8–15]. Результаты расчета доли сухих газов, образующихся в системе радиоактивный графит – водяной пар, в диапазоне температур от 100 до 600 °С представлены в таблице 1.

Таблица 1

Распределение доли образующихся сухих газов в диапазоне температур от 100 до 600 °С

Table 1

Distribution of the share of formed dry gases in the temperature range from 100 to 600 °С

| T, °С | CO | H ₂ | CO ₂ | CH ₄ |
|-------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 100 | $4,83959 \cdot 10^{-8}$ | 0,001162903 | 0,499701887 | 0,499135162 |
| 200 | $1,48996 \cdot 10^{-5}$ | 0,013890033 | 0,49651126 | 0,489583807 |
| 300 | 0,00061785 | 0,071531292 | 0,481650146 | 0,446200712 |
| 400 | 0,008002062 | 0,207917367 | 0,442017981 | 0,34206259 |
| 500 | 0,048450384 | 0,38356176 | 0,36777161 | 0,200216246 |
| 600 | 0,157033658 | 0,512241374 | 0,254163885 | 0,076561082 |

На рисунке 3 показана предложенная схема газогенераторной переработки радиоактивного графита.

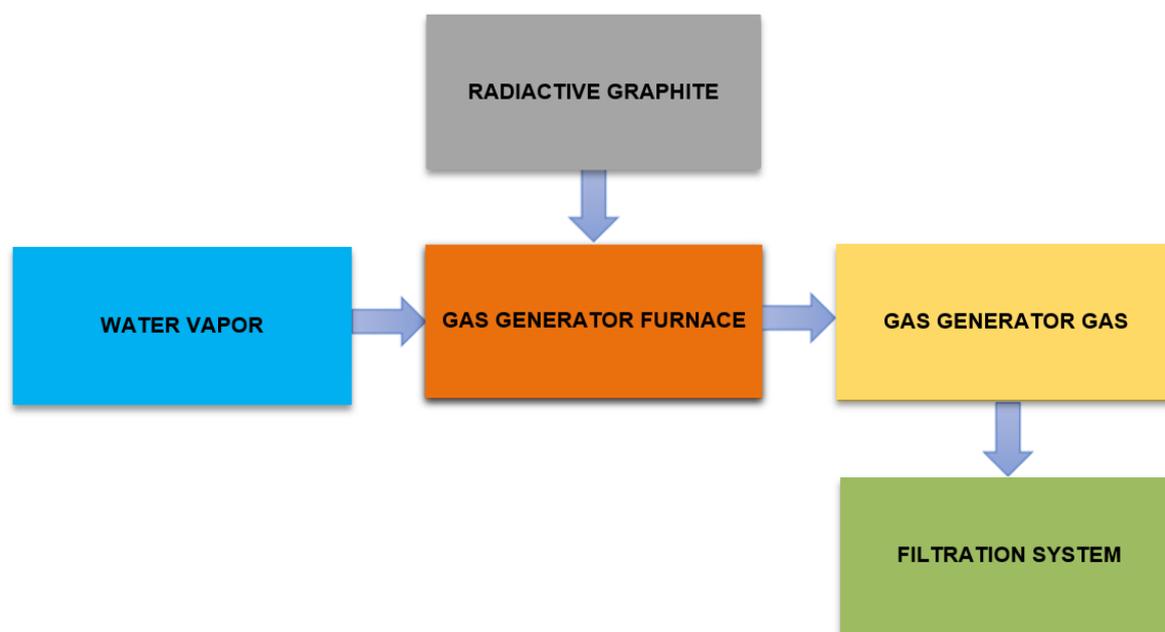
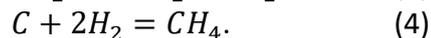
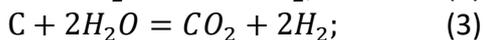
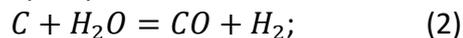


Рис. 3 Схема газогенераторной переработки радиоактивного графит

Rice. 3 Scheme of gas generator processing of radioactive graphite

На первом этапе в печь газогенератора загружается измельченный радиоактивный графит. Печь газогенератора нагревается до температуры $\sim 600^\circ\text{C}$. На втором этапе водяной пар вводится в печь газогенератора, при этом водяной пар соединяется с графитом. На третьей стадии газы (CO_2 , CO , CH_4 , H_2) удаляются из камеры печи. На четвертом этапе газообразные продукты попадают на систему фильтров. В данной математической модели процесса переработки радиоактивного графита установка газификации основана на принципе газогенератора с прямой газификацией сырья.

Математическая модель процесса учитывает ряд реакций, которые происходят в газогенераторе, а именно:



В алгоритме расчетов определены 8 этапов, из которых 5 имитируют работу газогенератора.

Было определено, что масса реакторного графита, участвующего в реакции в течение одной секунды, составляет $\Delta G_{\text{г}} = 0,019554$ кг/с в базовом сценарии [7].

Для компьютерной программы устанавливается зависимость массы реакторного графита, участвующего в реакции в течение одной секунды, от расхода пара и массы оставшегося графита (5):

$$\Delta G_{\text{г}} = 0,000332 \cdot G_{\text{г}} \cdot (G_{\text{п}})^{1/2}. \quad (5)$$

При заданных значениях $G_{\text{г}}$ (250 кг) и $G_{\text{п}}$ (0,058 кг/с) была проверена зависимость и было получено значение $\Delta G_{\text{г}}$, равное 0,02 кг/с.

Для расчета долей графитовой массы в каждой реакции (обозначенных как α_1 , α_2 , α_3) учитывается состав генераторного газа при температуре 600°C на сухом газе. Общая сумма долей равна единице (6–8):

$$\alpha_1 = 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{CO}}}{1 - \varphi_{\text{CO}_2} + 3 \cdot \varphi_{\text{CH}_4}}, \quad (6)$$

$$\alpha_2 = 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{CO}}}{1 - \varphi_{\text{CO}_2} + 3 \cdot \varphi_{\text{CH}_4}}, \quad (7)$$

$$\alpha_3 = 2 \cdot \frac{\varphi_{\text{CO}}}{1 - \varphi_{\text{CO}_2} + 3 \cdot \varphi_{\text{CH}_4}}, \quad (8)$$

где φ_{CO} , φ_{CO_2} , φ_{CH_4} представляют собой долю соответствующего компонента в составе сухого генераторного газа.

Для расчета зависимости газового состава от температуры в диапазоне $500\text{--}600^\circ\text{C}$ применяются следующие формулы (9–12):

$$\varphi_{\text{CO}} = 0,001081 \cdot t - 0,4915; \quad (9)$$

$$\varphi_{\text{CO}_2} = -0,00115 \cdot t + 0,9442; \quad (10)$$

$$\varphi_{\text{CH}_4} = -0,00122 \cdot t + 0,8086; \quad (11)$$

$$\text{H}_2 = 0,00128 \cdot t - 0,25636. \quad (12)$$

Коэффициенты выбираются из данных таблицы 1 для диапазона $500\text{--}600^\circ\text{C}$.

Затем для вычисления α_i следует использовать выражения, запрограммированные в компьютере (13–15):

$$\alpha_1 = 0,0031 \cdot t + 1,538; \quad (13)$$

$$\alpha_2 = -0,001 \cdot t + 1,121; \quad (14)$$

$$\alpha_3 = -0,0021 \cdot t + 1,427. \quad (15)$$

Вычисляется объемный расход газовых компонентов газа V_i (16–19):

$$V_{\text{CO}} = 22,4/12 \cdot \Delta G_{\text{г}} \cdot \alpha_1; \quad (16)$$

$$V_{\text{CO}_2} = 22,4/12 \cdot \Delta G_{\text{г}} \cdot \alpha_2; \quad (17)$$

$$V_{\text{CH}_4} = 22,4/12 \cdot \Delta G_{\text{г}} \cdot \alpha_3; \quad (18)$$

$$V_{\text{H}_2} = 22,4/12 \cdot \Delta G_{\text{г}} \cdot (\alpha_1 + 2 \cdot \alpha_2 - 2 \cdot \alpha_3). \quad (19)$$

Вычисляется теоретический расход пара (20) на реакции (2–4):

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = 18/12 \cdot \Delta G_{\text{г}} \cdot (\alpha_1 + 2 \cdot \alpha_2). \quad (20)$$

Вычисляется количество графита, оставшегося после реакции, как разность между начальной массой $G_{\text{г}}$ и изменением массы $\Delta G_{\text{г}}$. Также определяется избыточное потребление пара в реакции (21):

$$\Delta G_{\text{п}} = G_{\text{п}} - G_{\text{H}_2\text{O}}. \quad (21)$$

Осуществляется определение компонентов влажного газа, выходящего из газогенератора (22):

$$V_{\text{в.г}} = V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CH}_4} + V_{\text{H}_2} + \Delta G_{\text{п}} \cdot 22,4/18. \quad (22)$$

Описанные этапы (1–5) имитируют процессы, происходящие в газогенераторе.

Будет определен состав и объем сухого газа. Для этого система управления будет использовать данные, получаемые от расходомера генераторного газа и газоанализатора (23):

- суммарный объем газа, который был выработан без примеси воды, м³/с:

$$V_{\text{с.г.}} = V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{CH}_4} + V_{\text{H}_2}. \quad (23)$$

Определяется масса углерода в генераторном газе в сухом состоянии (24):

$$\Delta G_{\text{г.}} = V_{\text{с.г.}} \cdot (\varphi_{\text{CO}} + \varphi_{\text{CO}_2} + \varphi_{\text{CH}_4}) / 22,4 \cdot 12. \quad (24)$$

Оставшаяся масса графита может быть рассчитана как разность между исходной массой G_г и потерей массы ΔG_г.

Виртуальная модель системы управления технологическим процессом позволяет эффективно решать ряд задач: регулирование температуры в печи, контроль расхода газа, расчет количества прореагировавшего графита и определение момента завершения продувки. Для анализа применяются данные о текущей температуре в газогенераторной печи, расходе пара, начальной массе загруженного графита, расходе сухого генераторного

газа и его составе. Изменение мощности нагревателей используется для поддержания заданной температуры. Для управления потоком водяного пара, который подается от парогенератора, применяется электрический клапан. Программируемый логический контроллер осуществляет прямое управление технологическим процессом.

Одним из инструментов, используемых для разработки программного обеспечения «ГРАФИТ-ГАЗ», является интегрированная среда разработки CODESYS. Этот комплекс программных инструментов предназначен для автоматизации промышленных процессов и широко используется в инженерных задачах.

Стартовое окно программы изображено на рисунке 4. На экране располагаются четыре кнопки, позволяющие выполнить следующие действия: настроить автоматическую систему контроля температуры, получить методические указания, получить справку или выйти из программы.



Рис. 4. Стартовое окно программы

Rice. 4. Program start window

На рисунке 5 представлено окно, в котором можно настроить автоматическую систему контроля температуры. После нажатия кнопки «ПУСК» пользователю

предоставляется возможность выбрать режим управления (ручной или автоматический) и установить параметры контроллера.

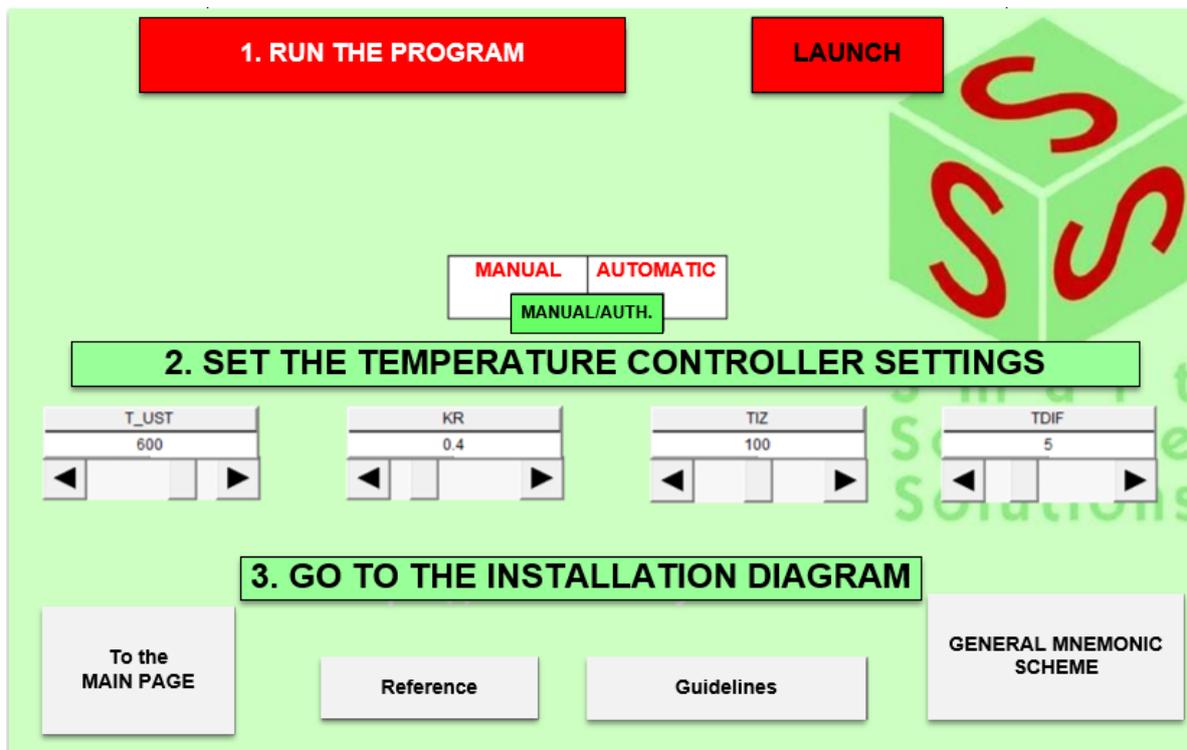


Рис. 5. Окно настройки температуры

Rice. 5. Temperature setting window

При нажатии на кнопку «Общая схема» на экране появится мнемосхема газогенераторной установки, которая включает в себя ряд индикаторов и кнопок. На мнемосхеме отображаются следующие элементы: индикатор времени в секундах, индикатор температуры в газогенераторной печи в градусах Цельсия, индикатор оставшейся массы реакторного графита в килограммах, индикатор расхода пара в килограммах в секунду и кнопка для его запуска, индикатор мощности нагрева в процентах и кнопка для запуска нагрева газогенераторной печи,

кнопка для загрузки реакторного графита, индикатор состава влажного газа и переключатель вида газов, индикатор состава сухого газа в кубометрах в секунду, индикатор расхода конденсата в килограммах в секунду и индикатор скорости переработки графита в килограммах в секунду.

После выбора опции «Нагрев» и последующего нажатия на кнопку «Температура» на экране появится график, отображающий изменение температуры в газогенераторной печи (см. рис. 7).

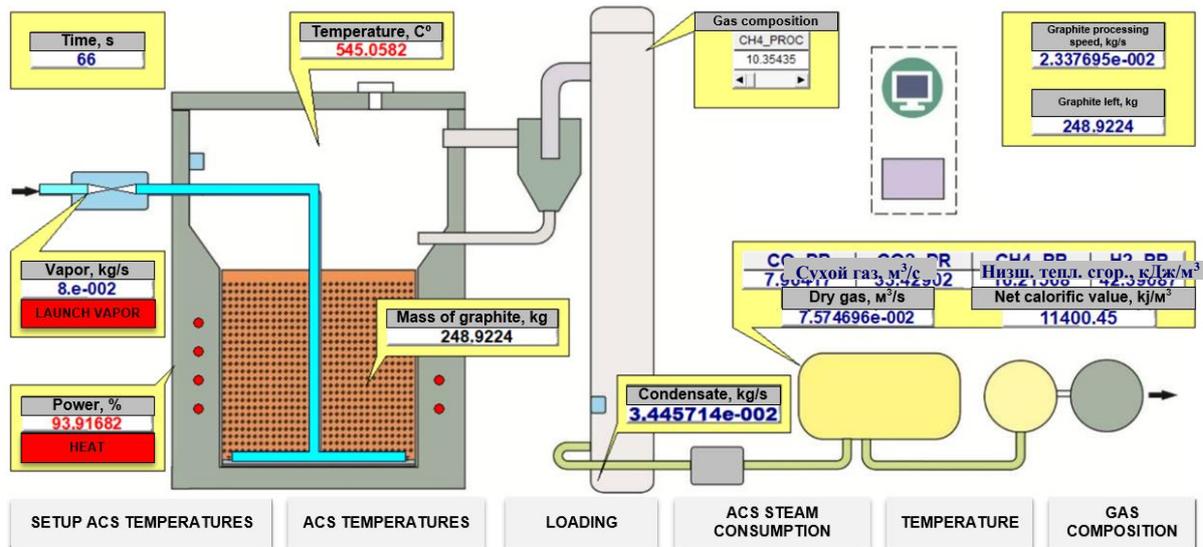


Рис. 6. Схема газогенераторной установки в виде мнемосхемы
 Rice. 6. Scheme of the gas generator installation in the form of a mnemonic diagram

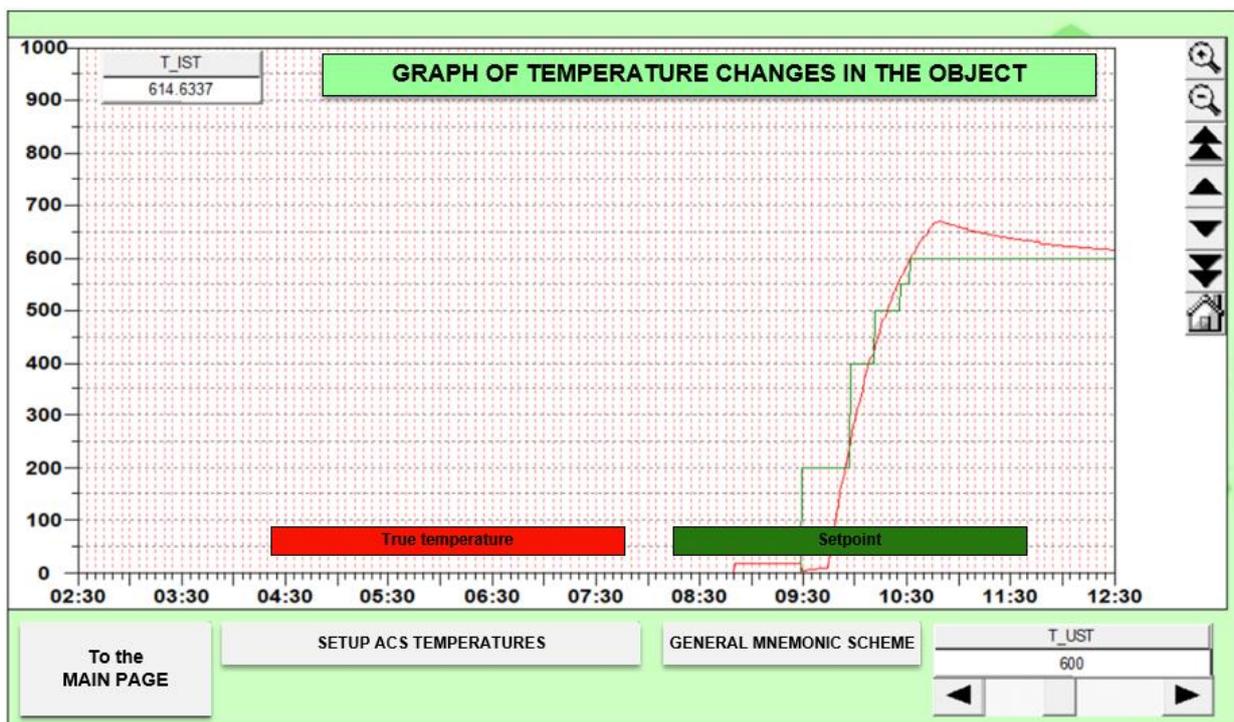


Рис. 7. График динамики изменения температуры в газогенераторной печи
 Rice. 7. Graph of the dynamics of temperature changes in the gas-generator furnace

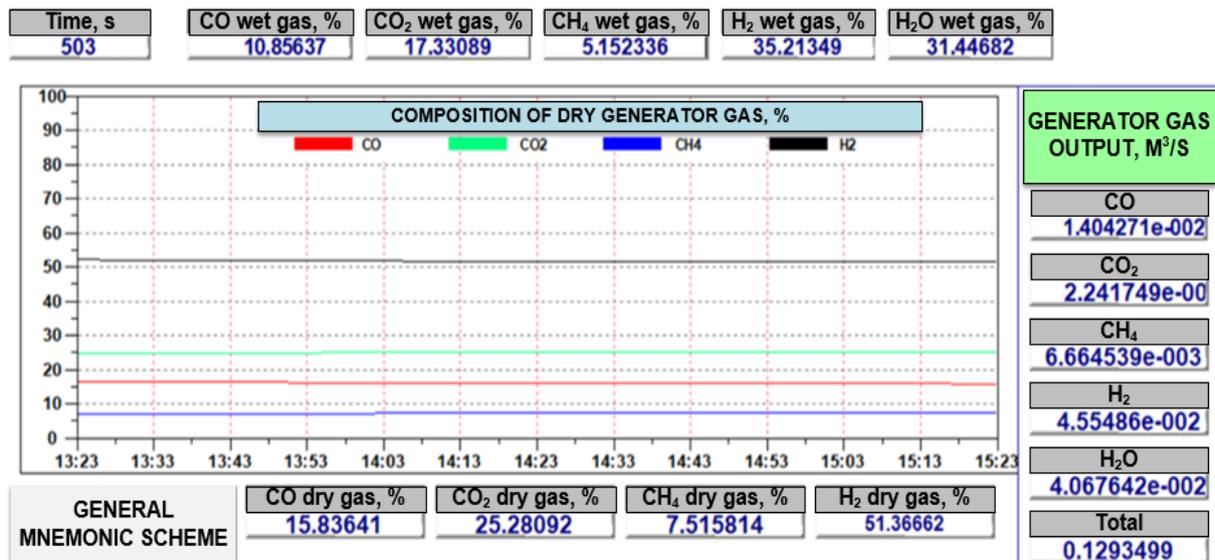


Рис. 8. График динамики изменения состава газов в газогенераторной печи

Rice. 8. Graph of the dynamics of changes in the composition of gases in a gas-generating furnace

Выводы

Таким образом, в работе смоделирован процесс переработки реакторного графита в газогенераторной печи. Описана схема газогенераторной переработки радиоактивного графита.

Дано описание компьютерной программы «ГРАФИТ-ГАЗ» и ее модели. Программа позволяет моделировать процесс переработки радиоактивного графита, тенденции изменения состава образующейся газовой смеси и визуализаций, демонстрирующих работу основных узлов системы управления.

Виртуальная модель газогенераторной установки позволяет рассчитать текущий состав газа генератора и его расход, количество обрабатываемого графита с учетом влияния температуры на состав газовой смеси. Позволяет задавать настройки регулятора температуры, массу загрузки графита реактора, расход пара, подаваемого в газогенераторную установку. Результаты расчета отражаются в виде тренда изменения основных параметров процесса и таблиц с течением времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Проблемы утилизации реакторного графита остановленных промышленных уран-графитовых реакторов / А. А. Цыганов и др. // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 310 (2). С. 94–98.
2. Буланенко В. И., Фролов В. В., Николаев А. Г. Радиационные характеристики графита снятых с эксплуатации уран-графитовых реакторов // Атомная энергия. 1996. Т. 81 (4). С. 304–306.
3. Мероприятия по радиометрии полей излучений в графитовых кладках остановленных промышленных уран-графитовых реакторов СХК / А. О. Павлюк и др. // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309 (3). С. 68–72.
4. Оценка ресурса реакторного графита ячеек системы управления и защиты с учетом деградации теплофизических свойств / В. И. Бойко и др. // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2005. № 3. С. 94–103.

5. Туктаров М. А., Андреева Л. А., Роменков А. А. Кондиционирование реакторного графита выводимых из эксплуатации уран-графитовых реакторов для целей захоронения // Атомная энергия 2.0: научно-деловой портал. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2016/06/08/66585> (дата обращения: 09.01.2023).
6. К вопросу захоронения реакторного графита / А. Н. Дорофеев и др. // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 18–30.
7. Скачек М. А. Радиоактивные компоненты АЭС: обращение, переработка, локализация. М., 2014. 552 с.
8. Belov G. V., Iorish V. S., Yungman V. S. Ivtanthermo for windows - database on thermodynamic properties and related software // Calphad. 1999. V.23(2). P.173-180.
9. Belov G.V., Iorish V.S., Yungman V.S. Simulation of equilibrium states of thermodynamic systems using ivtanthermo for windows // High temperature. 2000. V.38(2). P.191-196.
10. Thermophysical characteristics of radioactive graphite - water vapor system / Barbin N. [et al.] // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 04005.
11. Thermodynamic analysis of the oxidation of radioactive graphite in a multicomponent melt in an inert atmosphere / Barbin N. [et al.] // Russian Metallurgy (Metally). 2018. V. 2018(8). P. 700-706.
12. Титов С. А., Барбин Н. М., Кобелев А. М. Анализ аварийных ситуаций, связанных с пожарами на атомных электростанциях // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30 (5). С. 66–75.
13. Термодинамические свойства диоксида урана в конденсированном состоянии / И. В. Морозов и др. // Теплофизика высоких температур. 2018. Т. 56 (5). С. 702–172.
14. Белов Г. В. Об определении фазового состава сложных термодинамических систем // Журнал физической химии. 2019. Т. 93 (6). С. 810–817.
15. The ivtanthermo-online database for thermodynamic properties of individual substances with web interface / Belov G.V. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2018. P. 012120.

REFERENCES

1. Problems of utilization of reactor graphite of stopped industrial uranium-graphite reactors / A. A. Tsyganov et al. // News Tomsk Polytechnic University. 2007. Vol. 310 (2). pp. 94-98.
2. Bulanenko V.I., Frolov V.V., Nikolaev A.G. Radiation characteristics of graphite in decommissioned uranium-graphite reactors // Atomic Energy. 1996. T. 81 (4). pp. 304–306.
3. Measures for radiometry of radiation fields in graphite stacks of shutdown industrial uranium-graphite reactors of the Siberian Chemical Combine / A. O. Pavlyuk et al. // News of Tomsk Polytechnic University. 2006. T. 309 (3). pp. 68–72.
4. Assessment of the resource of reactor graphite of control and protection system cells taking into account the degradation of thermophysical properties / V. I. Boyko et al. // News of higher educational institutions. Nuclear energy. 2005. No. 3. P. 94–103.
5. Tuktarov M. A., Andreeva L. A., Romenkov A. A. Conditioning of reactor graphite of decommissioned uranium-graphite reactors for disposal purposes // Atomic Energy 2.0: scientific and business portal. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2016/06/08/66585> (access date: 01/09/2023).
6. On the issue of disposal of reactor graphite / A. N. Dorofeev et al. // Radioactive waste. 2019. No. 2 (7). pp. 18–30.
7. Skachek M. A. Radioactive components of nuclear power plants: handling, processing, localization. M., 2014. 552 p.
8. Belov G. V., Iorish V. S., Yungman V. S. Ivtanthermo for windows - database on thermodynamic properties and related software // Calphad. 1999. V.23(2). P.173-180.
9. Belov G.V., Iorish V.S., Yungman V.S. Simulation of equilibrium states of thermodynamic systems using ivtanthermo for windows // High temperature. 2000. V.38(2). P.191-196.
10. Thermophysical characteristics of radioactive graphite - water vapor system / Barbin N. [et al.] // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 04005.
11. Thermodynamic analysis of the oxidation of radioactive graphite in a multicomponent melt in an inert atmosphere / Barbin N. [et al.] // Russian Metallurgy (Metally). 2018. V. 2018(8). P. 700-706.
12. Titov S. A., Barbin N. M., Koblelev A. M. Analysis of emergency situations associated with fires at nuclear power plants // Fire and explosion safety. 2021. T. 30 (5). pp. 66–75.
13. Thermodynamic properties of uranium dioxide in a condensed state / I. V. Morozov et al. // Thermophysics of high temperatures. 2018. T. 56 (5). pp. 702–172.

14. Belov G.V. On determining the phase composition of complex thermodynamic systems // Journal of Physical Chemistry. 2019. Т. 93 (6). pp. 810–817.

15. The ivtanthermo-online database for thermodynamic properties of individual substances with web interface / Belov G.V. [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2018. P. 012120.

Информация об авторах

Кобелев Антон Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем противопожарной защиты, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 5626-9389; Scopus Author ID: 57195103986; ResearcherID: AAC-1118-2021; ORCID: 0000-0002-2070-2355; e-mail: antonkobelev85@mail.ru

Луговкин Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем противопожарной защиты, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 646260; Scopus Author ID: -; ResearcherID: -; ORCID: -; e-mail: lugovkin@e1.ru

Барбин Николай Михайлович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отделения учебно-научного комплекса пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 31647; Scopus Author ID: 6701448034; ResearcherID: -; ORCID: 0000-0002-6709-4334; e-mail: nmbarbin@mail.ru

Арефьева Елизавета Алексеевна, курсант факультета пожарной и техносферной безопасности, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.

Information about the authors

Anton M. Kobelev, Ph.D. (Eng.), Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 5626-9389; Scopus Author ID: 57195103986; ResearcherID: AAC-1118-2021; ORCID: 0000-0002-2070-2355; e-mail: antonkobelev85@mail.ru

Vladimir V. Lugovkin, Ph.D. (Eng.), Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 646260; Scopus Author ID: -; Researcher ID: -; ORCID: -; e-mail: lugovkin@e1.ru

Nikolai M. Barbin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Department of the Educational and Scientific Complex of Fire Fighting and Rescue Operations, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ID RISC: 31647; Scopus Author ID: 6701448034; Researcher ID: -; ORCID: 0000-0002-6709-4334; e-mail: nmbarbin@mail.ru

Elizaveta A. Arefieva, cadet of the Faculty of Fire and Technosphere Safety, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062

22; ПИНЦ ID: 1164766; Scopus Author ID: -;
ResearcherID: -; ORCID: -;
e-mail: arefyeva2001@mail.ru

Russian Federation; ID RISC: 1164766; Sco-
pus Author ID: -; Researcher ID: -; ORCID: -
;
e-mail: arefyeva2001@mail.ru

УДК: 614.841.45

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АЭРОВОКЗАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Сергей Викторович Ломоносов

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Одним из важнейших критериев системы противопожарной защиты является способность противодействовать опасным факторам пожара и последствиям от них в процессе развития пожара и в течение всего периода времени, необходимого для эвакуации людей из зданий аэровокзалов и аэровокзальных комплексов. Именно в результате пожара и действий по его ликвидации, выявляются все недостатки и достоинства нормативной и проектно-расчётной базы, реализованной при возведении аэровокзальных комплексов, а также эффективность альтернативных (компенсирующих) мероприятий.

В работе рассматриваются особенности обеспечения пожарной безопасности аэровокзальных комплексов, на этапах проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации

Ключевые слова: аэровокзальный комплекс (АВК), специальные технические условия (СТУ), поверхностно активные вещества (ПАВ), автоматическая установка пожаротушения (АУП), высокое давление (ВД), огнетушащее вещество (ОТВ), комплекс инженерно-технических и организационных мероприятий (КИТОМ), многофункциональное здание (МФЗ), Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), система пожарной сигнализации (СПС), система оповещения и управления эвакуацией людей (СОУЭ), специальная военная операция (СВО), ошибки проектирования, неправильная эксплуатация, пожарная безопасность, анализ пожаров

ENSURING FIRE SAFETY OF AIRPORT COMPLEXES AT THE STAGES OF DESIGN, CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND OPERATION

Sergey V. Lomonosov

Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

One of the most important criteria of the fire protection system is the ability to counteract the dangerous factors of fire and their consequences during the development of the

fire and during the entire period of time necessary for the evacuation of people from the buildings of air terminals and airport complexes. It is as a result of the fire and actions to eliminate it that all the shortcomings and advantages of the regulatory and design and calculation base implemented during the construction of airport complexes, as well as the effectiveness of alternative (compensating) measures, are revealed.

The paper considers the features of ensuring fire safety of airport complexes at the stages of design, construction, reconstruction and operation.

Keywords: airport complex (AVC), special technical conditions (STU), surfactants (surfactants), automatic fire extinguishing system (AUP), high pressure (VD), extinguishing agent (OTV), complex of engineering and organizational measures (KITOM), multifunctional building (MFZ), Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), fire alarm system (SPS), warning and evacuation management system (SSE), Special Military Operation (SVO), design errors, improper operation, fire safety, fire analysis

Введение

Развитие авиации в Российской Федерации определяется размерами территории страны, слабым развитием наземной транспортной инфраструктуры, необходимостью решения оборонных и экономических задач, состоянием наземной авиационной инфраструктуры. Актуальной задачей в гражданской авиации является реконструкция существующих аэропортов и строительство новых.

Изменение экономической ситуации в России (до начала СВО) привело к росту воздушных перевозок, при этом особенно внушительно выросли международные авиаперевозки, что в свою очередь привело к необходимости реконструкции и переоборудованию существующих АВК, строительству новых таких объектов.

Если в 80–90-х годах АВК мог разместиться на площади застройки 2000–3000 м², то со временем эта площадь увеличилась в несколько раз, до 5000–9000 м². Например, 4-этажное здание пассажирского терминала аэровокзального комплекса Внуково запроектировано с площадью наибольшего этажа около 9000 м², 3-этажное здание аэровокзального комплекса международных и внутренних воз-

душных линий международного аэропорта Волгоград (2-я очередь строительства) – около 5000 м², 3-этажное здание международного пассажирского терминала Домодедово-2 – около 8000 м², 3-этажное здание терминала аэропорта г. Екатеринбурга Кольцово – около 13000 м², 3-этажное здание пассажирского терминала в международном аэропорту Емельяново (Красноярск) – около 17000 м², 3-этажное здание аэропортового комплекса Южный (Ростов-на-Дону) – около 15000 м², 4-этажное здание международного аэропорта Курумоч (Самара) – около 14000 м², 3-этажное здание аэропортового комплекса Центральный (Саратов) – около 15000 м², 3-этажное здание аэропортового комплекса международного аэропорта Шереметьево терминал-2 (Москва) – около 18000 м². 3-этажное здание нового аэровокзального комплекса в аэропорту Петропавловск-Камчатский (Елизово) – около 14000 м², 4-этажное здание нового аэровокзального комплекса внутренних/международных линий международного аэропорта Баландино (Челябинск) – около 7000 м².

В зданиях АВК размещается большое количество помещений с различными классами функциональной пожарной

опасности. Помещения или группы помещений с различными классами функциональной пожарной опасности должны выделяться в самостоятельные пожарные отсеки [1]. Однако это не служит основанием для выделения в самостоятельные пожарные отсеки, например, гостиниц, торговых зон и предприятий питания, которые размещаются в составе здания АВК [2] и для отнесения здания к многофункциональным.

Для отнесения здания к МФЗ должно соблюдаться два необходимых признака [2]:

- наличие в здании двух и более самостоятельных пожарных отсеков или частей зданий различных классов функциональной опасности Ф1–Ф5 [1, 2];

- устройство в здании объемно-планировочных решений с пространственными объемами, местами общего пользования, общими технологическими связями.

Сложившаяся ситуация приводит к появлению проблемных вопросов, которые возникают при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий АВК.

Основная (аналитическая) часть

При проектировании таких сложных, с точки зрения пожарной безопасности зданий, проектировщики сталкиваются с различными проблемами, среди них выделяются:

- значительная площадь пожарного отсека, превышающая допустимые значения;

- специфика работы аэровокзального комплекса, когда значительная территория объекта находится за государственной границей России;

- достаточно сложная геометрия зданий;

- повышенная пожарная опасность таких зданий, в том числе из-за массового нахождения людей;

- необходимость обеспечения безопасности людей при пожаре в помещениях (пешеходные молы, галереи и т. д.), на которые не распространяется область применения существующих нормативных документов [3];

- определение пределов огнестойкости элементов конструкции здания;

- недостаточность нормативных требований для рассматриваемых зданий, что требует разработки СТУ по противопожарной защите;

- выбор оптимальных и наиболее эффективных систем противопожарной защиты и других ответственных инженерных решений.

Поэтому обеспечение пожарной безопасности АВК является актуальной проблемой.

Пожарная опасность аэровокзалов вызвана массовым пребыванием в них людей различного возраста и физического состояния. АВК – объекты достаточно опасные с точки зрения возможности возникновения пожара. Помещения залов ожидания и кассового зала имеют значительные внутренние объемы, поэтому пожары могут развиваться достаточно быстро.

Основной проблемой обеспечения пожарной безопасности зданий АВК является несовершенство существующих нормативных требований по пожарной безопасности в той связи, что ведомственные нормы по проектированию АВК имеют общие ссылки на нормативные документы, содержащие требования пожарной безопасности. При этом также не учитывается, что при оценке противопожарного состояния АВК могут использоваться расчётные сценарии [7], которые определяют величину пожарного риска, что позволяет обосновать целесообразность реализации предлагаемых противопожарных мероприятий.

На этапе проектирования АВК большое внимание уделяется размещению здания аэровокзала на территории объекта, при этом в комплексе решаются вопросы: расположение объекта в пределах допустимого времени прибытия подразделений пожарной охраны [1], наличие проездов и подъездов к зданиям, их ширина и расположение относительно здания, наличие противопожарных разрывов, обеспеченность достаточным водоснабжением для пожаротушения с учетом большой протяженности фасада, – а также осуществляются конструктивные проработки (объемно-планировочные решения, деление на пожарные отсеки и пожарные секции и размещение их по горизонтали и вертикали, решения по фасаду здания), обеспечение безопасной эвакуации людей, устройство систем противопожарной защиты и их электроснабжение, установка сил и средств при тушении пожара [2].

В зданиях АВК имеющих значительную ширину, применяют металлические конструкции, поэтому одним из факторов безопасности АВК, является обеспечение огнестойкости элементов конструкций зданий.

Под воздействием высокой температуры при пожаре металлоконструкции теряют прочностные характеристики, вследствие чего изменяется геометрия конструкций и, соответственно, требования к их способности сопротивляться воздействию пожара.

Для увеличения пределов огнестойкости строительных конструкций используют различные способы огнезащиты [11]. В данном случае необходимо, чтобы конкретный способ защиты удовлетворял еще и интерьерным требованиям заказчика. В этой связи, имеется необходимость значительно расширить ассортимент предла-

гаемых отечественных средств огнезащиты, улучшить их свойства и понизить их стоимость.

Основной задачей функциональной подсистемы, предназначенной для организации и осуществления поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов гражданской авиации функциональной подсистемы, является организация и проведение аварийно-спасательных работ, направленных на спасание пассажиров и экипажей воздушных судов, терпящих или потерпевших бедствие на аэродромах или в районе аэродромов.

Тактика тушения пожаров строится на применении большого объема воды, что может повлечь причинение большего ущерба, чем от самого пожара. Поэтому при разработке систем пожаротушения АВК, необходимо предусмотреть использование водопенных средств пожаротушения, а также раствора воды и смачивателей ПАВ и оборудование АУП тонкораспыленной воды высокого давления (ВД), в том числе с добавлением ПАВ и применением спринклеров с принудительным пуском. Так как использование пены при тушении пожара, можно охарактеризовать её высоким коэффициентом полезного действия.

Раствор ПАВ увеличивает эффективность тушения в 1,5–2 раза. Применение тонкораспыленной воды высокого давления позволяет снизить расход воды на тушение в 8–10 раз. Так же применение в системах водяной АУП ВД спринклеров с принудительным пуском в зоне горения от автоматической системы пожарной сигнализации в разы сокращает время подачи огнетушащего вещества (ОТВ) в зону возгорания.

Учитывая вышеизложенное, целесообразным является поиск качественно нового решения, которое позволяет, иметь резервный источник тушения. Таким независимым резервным источником может

быть модульная установка пожаротушения, которая будет размещаться в наиболее пожароопасных помещениях АВК.

АВК являются технически сложными и энергетически наполненными объектами с массовым пребыванием людей. Из-за перехода многих стран мира к использованию гибкого объектно-ориентированного противопожарного нормирования особое место отводится задачам обеспечения эвакуации находящихся в здании людей.

Важным этапом проектирования АВК является моделирование тепломассообмена для правильного расположения средств автоматического пожаротушения и систем пожарной сигнализации, применения огнезащиты конструкций, направленных на ограничение распространения и предотвращение пожара, обеспечения безопасной эвакуации людей [7], а также возможности доступа к очагу пожара пожарных подразделений и своевременной подаче средств пожаротушения, учитывая техническое оснащение и расположение пожарных подразделений, возможности воздействия опасных факторов пожара на третьих лиц, включая имущественный комплекс и людей [3, 12, 13, 14].

В ходе проектирования зданий АВК выявляется отсутствие нормативных требований, либо появляется необходимость

отступлений от отдельных нормативных требований. Для решения этих задач необходима разработка СТУ или КИТОМ с согласованием их в установленном законодательством порядке в МЧС России.

Выводы

По результатам рассмотрения материалов данной статьи можно сделать вывод о том, что имеется необходимость в комплексном подходе к обеспечению пожарной безопасности АВК при проектировании, а именно:

- разработка новых нормативных документов в системе МЧС России, включающих конструктивно-планировочные решения и обеспечивающих эвакуацию людей, а также требований по применению наиболее эффективных ОТВ в системе пожарной безопасности АВК с целью уменьшения количества разработок СТУ для таких объектов;

- дальнейшее изучение и математическое моделирование развития пожаров, на их основе усовершенствование методики расчёта путей эвакуации, обоснование расчётного (фактического) предела огнестойкости к несущим металлическим конструкциям, интенсивности орошения спринклерных установок, применение СПС и СОУЭ, инженерно-технических и организационных мероприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. СП 456.1311500.2020. Многофункциональные здания. Требования пожарной безопасности.
3. ГОСТ 12.1-004–91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Qianli M., Wei G. Discussion on the Fire Safety Design of a High-Rise Building // Procedia Engineering. 2012. Vol. 4. Pp. 685-689.
5. Hua P., Jian Z., Wen-Li L., Xiang-Yang Z., Yin-Qing L. Study on the Determination of Safety Factor in.
6. Calculating Building Fire Evacuation Time// Procedia Engineering. Vol. 11. 2011. Pp. 343-348.
7. Пузач С. В. Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности. М., 2003. 150 с.
8. СП 8.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности.
9. СП 10.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Нормы и правила проектирования.

10. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты нормы и правила проектирования.
11. Баженов С. В. Прогнозирование срока службы огнезащитных покрытий. Проблемы и пути решения // Пожарная безопасность. 2005. № 5. С. 97–102.
12. Гражданский кодекс Российской Федерации. Ч. 1. Официальное издание. М., 1994.
13. Федеральный закон «О техническом регулировании» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2002. № 52. Ч. 1. Ст. 5140.
14. СП 478.1325800.2019. Здания и комплексы аэровокзальные. Правила проектирования.

REFERENCES

1. Federal Law No. 123-FZ of July 22, 2008 "Technical Regulations on fire safety requirements". (rus).
2. SP 456.1311500.2020 "Multifunctional buildings. Fire safety requirements". (rus).
3. GOST 12.1-004-91 . SSBT. Fire safety. General requirements. (rus).
4. Qianli M., Wei G. Discussion on the Fire Safety Design of a High-Rise Building // Pro-cedia Engineering. 2012. Vol. 4. Pp. 685–689. (rus).
5. Hua P., Jian Z., Wen-Li L., Xiang-Yang Z., Yin-Qing L. Study on the Determination of Safety Factor in.
6. Calculating Building Fire Evacuation Time. Procedia Engineering, 2011; 11: 343–348. (rus).
7. Puzach S.V., Mathematical modeling of heat and mass transfer in solving fire and explosion safety problems. Mjscow, Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2003; 150. (rus).
8. SP 8.13130.2020 Fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirements. (rus).
9. SP 10.13130.2020 Fire protection systems. Internal fire-fighting water supply. Norms and rules of design. (rus).
10. SP 484.1311500.2020 "Fire protection systems. Fire alarm systems and automation of fire protection systems design norms and rules". (rus).
11. Bazhenov S.V., Forecasting the service life of fire-resistant coatings. Problems and solutions. Fire safety, 2005; 5: 97–102. (rus).
12. Civil Code of the Russian Federation. Part 1. Official Publication. Moscow, Legal Literature, 1994. (rus).
13. Federal Law "On Technical regulation" // Collection of Legislation of the Russian Federation. 2002. No. 52. Part 1. Article 5140. (rus).
14. SP 478.1325800.2019 "Airport buildings and complexes. Design rules". (rus).

Информация об авторах

Сергей Викторович Ломоносов, магистрант института подготовки руководящих кадров, Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, 129626, Российская Федерация, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4, (ORCID ID: 0009-0001-4089-1130),
e-mail: yours.feast@gmail.com

Information about the authors

Lomonosov Sergey Viktorovich, Master's student of the Institute of Leadership Training, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 4, B. Galushkina str., Moscow, 129626, Russian Federation; ORCID ID: 0009-0001-4089-1130;
e-mail: yours.feast@gmail.com

УДК 614.841.34

ПОВЕДЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Шахабов Майрбек Мусаевич¹, Сивенков Андрей Борисович¹, Корольченко Дмитрий Александрович²

¹Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается проблема огнестойкости металлических строительных конструкций длительного срока эксплуатации. Представлены результаты исследования влияния длительного срока эксплуатации стальных конструкций на физико-химические и механические характеристики (предел прочности, предел текучести, относительное удлинение) в отношении образца стальной конструкции со сроком эксплуатации 86 лет. В структуре стали обнаружено наличие неметаллических включений (точечные оксиды и сульфиды марганца), оказывающих также негативное влияние на механические характеристики сталей. Результаты проведенных механических испытаний на статическое растяжение образца показали, что значения предела прочности на растяжение для рассматриваемых стальных образцов находятся на пределе минимальных значений. Установлена тенденция к возможному снижению механических свойств стали в условиях продолжительной эксплуатации. Значительное ухудшение технического состояния стальных конструкций в период их эксплуатации может происходить в результате воздействия коррозионных процессов (снижение предела прочности на 10–15 % и более). В результате исследований было установлено, что повреждения, вызванные язвенным коррозионным процессом, со временем переходят в коррозионное растрескивание и затрагивают глубинные слои металла. Прогрессирующее разрушение поверхностной структуры и развитие деструктивного процесса внутри конструкций в сочетании с длительно действующей механической нагрузкой приводят к значительному снижению прочностных характеристик и, как следствие, пределов огнестойкости.

Ключевые слова: пожар, огнестойкость, сталь, стальные конструкции, срок эксплуатации, коррозия, прочность, механические характеристики

BEHAVIOR OF LONG-LIFE STEEL STRUCTURES IN FIRE CONDITIONS

Mayrbek M. Shakhobov¹, Andrey B. Sivenkov¹, Dmitriy A. Korolchenko²

¹Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; Moscow, Russian Federation

²National Research Moscow State University of Civil Engineering; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

This article deals with the problem of fire resistance of metal building structures of a long service life. The paper presents the results of a study of the effect of a long service life of steel structures on the physico-chemical and mechanical characteristics (ultimate strength, yield strength, relative elongation), with respect to a sample of steel structure with a service life of 86 years. The presence of non-metallic inclusions (point oxides and manganese sulfides) was found in the steel structure, which also have a negative effect on the mechanical characteristics of the steels. The results of the conducted static tensile mechanical tests showed that the tensile strength values for the steel samples under consideration are at the limit of minimum values. The tendency to possible reduction of mechanical properties of steel in conditions of prolonged operation has been established. Significant deterioration of technical condition of steel structures during their operation can occur as a result of the impact of corrosive processes (reduction of the ultimate strength by 10–15 % and more). As a result of researches, it has been established that the damage caused by ulcer corrosion process with time passes into corrosion cracking and affects deep layers of metal. The progressive destruction of the surface structure and the development of the destructive process inside the structures in combination with the long-term acting mechanical load lead to a significant decrease in the strength characteristics and, consequently, in the fire resistance limits.

Keywords: fire, fire resistance, steel, steel structures, service life, corrosion, strength, mechanical characteristics

Введение

Пожары в зданиях различного функционального назначения нередко приводят к гибели людей и наносят невосполнимый материальный ущерб. Согласно статистике Департамента надзорной деятельности и профилактической работы по обстановке с пожарами и их последствиями на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2022 г., в зданиях и сооружениях на территории России произошло более 350 тысяч пожаров, на которых погибло свыше 7500 человек. Многие из них – здания гражданского (жилые, общественные), производственного (промышленные, складские) назначения, в том числе с применением металлических конструкций со сроками эксплуатации несколько десятков лет [1].

Эффективность технологий применения стальных конструкций была подтвер-

ждена временем с учетом их долговечности для зданий и сооружений различного функционального назначения [2]. Лидирующие позиции стальных конструкций по их применению в строительной отрасли для зданий и сооружений объяснимы тем, что они обладают высокой прочностью и долговечностью, определяющей надежность работы конструкций и способность в различной степени выдерживать значительные механические нагрузки. Важным преимуществом этих конструкций также является их срок службы, который может достигать нескольких десятков лет. В этом плане важными являются периодические обследования стальных конструкций по установлению степени их износа и технического состояния. Поддержание стальных конструкций в работоспособном состоянии является залогом их надежной работы в различных условиях эксплуата-

ции. Несмотря на это, необходимо свидетельствовать о том, что технические решения по повышению работоспособности стальных конструкций во многом связаны с устранением внешних дефектов поверхности стальных конструкций, в том числе последствий воздействия коррозионных процессов [3]. Внутренние дефекты и повреждения при длительном износе стальных конструкций фактически имеют

суммарное накапливающее действие на изменение эксплуатационных характеристик.

Нормативные сроки службы зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» представлены в табл. 1.

Таблица 1

Нормативные сроки службы зданий и сооружений ГОСТ 27751-2014

Table 1

Standard service life of buildings and structures GOST 27751-2014

| Объект Object | Срок эксплуатации, лет Service life, years |
|--|---|
| Здания для использования в короткий период времени (строительная бытовка, летний павильон и т. д.). Buildings for short-term use (construction shed, summer pavilion, etc.). | 10 |
| Здания, применяемые в сильноагрессивной среде (трубопровод, газовая и химическая промышленность и т. д.). Buildings used in highly aggressive environments (pipeline, gas and chemical industry, etc.). | До 25 Up to 25 |
| Здания при обычных условиях использования (жилые и производственные здания). Buildings under normal conditions of use (residential and industrial buildings). | До 50 Up to 50 |
| Здания со специальным назначением (спортивные, культурные сооружения и т. д.). Buildings with a special purpose (sports, cultural facilities, etc.). | Более 100 Over 100 |

В мировой практике строительства в настоящее время эксплуатируется значительное количество зданий промышленного и гражданского назначения, включая цеха, мастерские, котельные, а также жилые и общественные объекты с несущими каркасами из металлических конструкций, включающие балки перекрытий, колонны, фермы и другие виды конструкций. Эти здания были построены в разные годы прошлого столетия со сроками эксплуатации от 20 до 120 лет. Многие из этих зданий все еще эксплуатируются, в то время

как другие находятся на завершающем этапе своего жизненного цикла.

Несомненно, продолжительность эксплуатации под действием постоянной механической нагрузки и воздействием факторов окружающей среды, а также различных условий эксплуатации приводит к появлению необратимых деформаций и изменению эксплуатационных характеристик конструкций, в том числе возникновению коррозионных дефектов и ржавчины, которые способствуют снижению

предела прочности, временного сопротивления и относительного удлинения [4–5].

Интенсивная потеря механических характеристик стальных конструкций в условиях пожара особенно характерна для конструкций, имеющих естественный усталостный износ с возможными деформационными и коррозионными повреждениями. Механические свойства стальных конструкций обеспечивают сопротивление разрушению стали в условиях воздействия высоких температур (пожара). Динамичное повышение температуры в очаге пожара является причиной разрушения стальных конструкций. Решающее значение в снижении механических свойств стали оказывают дефекты, количество которых стремительно повышается с увеличением температуры пожара. При достижении температуры плавления степень дефектности возрастает с повышением межатомных расстояний. В данном случае ослабление связей приводит к модификационным преобразованиям кристаллической решетки.

Повышение температуры приводит к уменьшению прочности, упругости и увеличению пластичности материалов. При высоких температурах также происходит увеличение деформаций ползучести, которые являются следствием увеличения пластичности металлов. Основными факторами, которые изменяются во времени, являются: прочность, удлинение и ползучесть стали при повышенных температурах. Известно [6], что незащищенные

стальные конструкции с учетом воздействия различных факторов (механическая нагрузка, схема нагружения, вид конструкции, ее геометрические параметры и т. д.) обладают сравнительно невысокой огнестойкостью в пределах от 8 до 25 минут. Значительные качественные изменения в составе и структуре стальных конструкций происходят при температурах нагрева до 700 °С. При этом степень деформационных превращений в стальных конструкциях зависит от особенностей деформации температурного расширения, изменения модуля упругости, а также деформации ползучести. Интенсивная утрата прочностных характеристик стальных конструкций и, соответственно, пределов огнестойкости наблюдается в условиях действия факторов окружающей среды (различные температурно-влажностные условия), длительно действующей механической нагрузки, повышения температуры и продолжительности ее воздействия.

О необходимости изучения поведения конструкций, имеющих длительные сроки эксплуатации, в условиях высоких температур говорят и реальные пожары, при которых стальные конструкции теряют свои несущие способности, что приводит к обрушению зданий. Например, одним из таких пожаров был пожар в ТЦ «Перекресток» в Кемерово в марте 2018 года, при котором погибли 60 человек. На этом пожаре стальные конструкции здания не выдержали высокой температуры и подверглись значительным температурным деформациям (рис. 1).

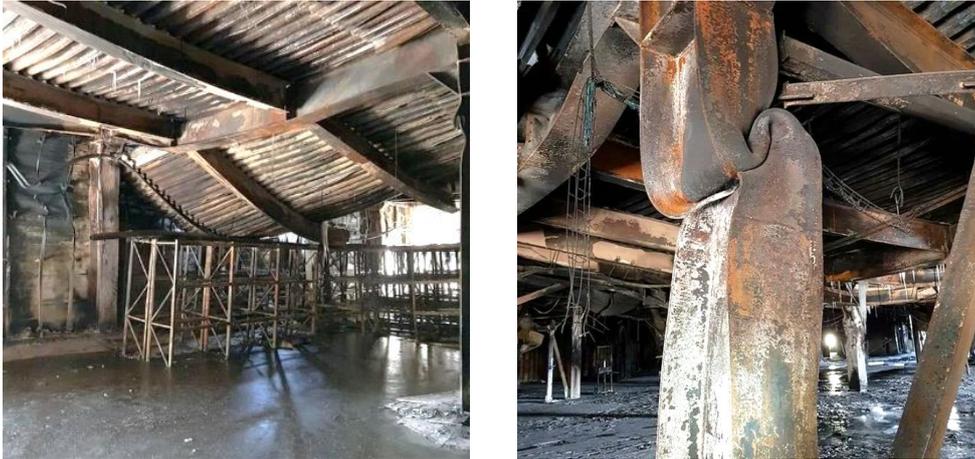


Рис. 1. Деформация стальных конструкций при пожаре в ТЦ «Перекресток» в Кемерово
Fig. 1. Deformation of steel structures in the fire in the shopping center "Perekriostok" in Kemerovo

Другим характерным примером является пожар в доме дореволюционной постройки на улице Никитской в центре Москвы, который унес жизни семи человек, в том числе одного ребенка. Одной из причин является снижение несущей способности строительных конструкций, вызванное их естественным износом за время эксплуатации (рис. 2). Профессор Ройтман В. М. еще в то время отмечал, что

здание было построено в начале прошлого века и за это время накопился естественный износ несущих конструкций и коммуникаций, что повлияло на возникновение значительных температурных деформаций в условиях пожара. Тем не менее, вопрос влияния условий и продолжительности эксплуатации на огнестойкость стальных конструкции является фактически неизученным.



Рис. 2. Потеря несущей способности стальных конструкций при пожаре на улице Никитской в Москве

Fig. 2. Loss of bearing capacity of steel structures in the fire on Nikitskaya Street in Moscow

Известными являются случаи пожаров на объектах, в которых стальные конструкции эксплуатировались несколько десятилетий и в условиях пожара доста-

точно быстро потеряли свою несущую способность до момента эвакуации многих людей из зданий. Так, в 2009 году произошел пожар в 29-этажном жилом здании постройки 1987 года в городе Шанхай, при

котором несколько этажей обрушились из-за повреждения стальных конструкций (срок эксплуатации конструкций на момент пожара составил 22 года). Погибли 58 человек, более 70 человек получили ранения.

Уже более современный пожар в 2017 году произошел в многоэтажном жилом здании в Лондоне, построенном в 1974 году, известном как «Гренфеллтауэр». Конструкции здания (срок эксплуатации конструкций на момент пожара составил 43 года) не выдержали высоких температур и обрушились, погибли 72 человека.

Несомненно, все представленные примеры свидетельствуют о важности учета фактора технического износа и состояния стальных конструкций при оценке особенностей их поведения в условиях пожара и пределов огнестойкости. В связи с этим в последнее десятилетие было сформировано научное направление изучения поведения различных материалов и конструкций в условиях пожара с учетом длительного естественного износа после продолжительного воздействия факторов окружающей среды и механической нагрузки. В рамках данного направления занимают особое место исследования снижения эксплуатационных характеристик стальных конструкций при наступлении их критических состояний в условиях пожара. Обнаруживается необходимость изучения изменения величин пределов огнестойкости стальных конструкций в ходе их длительной эксплуатации по сравнению с исходными и/или нормативными показателями огнестойкости. С научной точки зрения эти вопросы имеют значительную актуальность в плане безопасного проектирования и применения металлических конструкций в строительстве, расчетной оценки пределов огнестойкости и выбора параметров применяемой огнезащиты.

Результаты и их обсуждение

Известно, что достаточно большое количество работ [7–13] посвящено изучению поведения металлических конструкций в условиях пожара. Создание и развитие научного направления огнестойкости строительных конструкций состоялось благодаря таким отечественным и зарубежным ученым как В. И. Мурашев, А. И. Яковлев, А. Ф. Милованов, М. Я. Ройтман, К. Kordina, Т. Harmathy и др. Ими заложены основы огнестойкости и огнезащиты строительных конструкций и зданий, а также принципы расчетной методики по оценке фактических пределов огнестойкости. В области огнестойкости строительных конструкций, зданий и сооружений созданы отечественные научные школы. Проводимые исследования являются продолжением в рамках научной школы профессора Ройтмана В. М.

Расчетная оценка огнестойкости проводится с учетом ряда параметров, таких как вида конструкции, ее размеров, марки стали, схемы опирания и рабочей нагрузки. Существует несколько методов расчета огнестойкости, одним из наиболее распространенных является метод [7], основанный на принципе двухстадийного расчета фактических пределов огнестойкости конструкций. На первом этапе производится расчет статической части, позволяющей определить критическую температуру нагрева конструкции – температуру, при которой наступает потеря несущей способности конструкции. Для этого используются математические зависимости строительной механики с заменой коэффициентов условий работы при нормальных температурах на соответствующие коэффициенты при повышенных температурах, а также аналитические зависимости, полученные на основе экспериментальных данных [7–8].

На втором этапе производится расчет теплотехнической части, который сводится

к определению времени нагрева конструкций до заданной критической температуры при стандартном температурном режиме. Это время принимается за фактический предел огнестойкости [7–8].

Важными параметрами при расчетной методике по оценке огнестойкости являются модуль упругости и нормативное сопротивление стали [9]. Модуль упругости отражает способность материала сопротивляться деформации при нагрузке и является показателем его жесткости. При пожаре температура повышается, что ведет к изменению свойств материала, в том числе и модуля упругости [6–8]. Поэтому при расчете огнестойкости необходимо учитывать зависимость модуля упругости от температуры. Нормативное сопротивление стали отражает способность материала сопротивляться разрушению при нагрузке и является показателем его прочности. В условиях пожара температура также повышается, что ведет к снижению нормативного сопротивления стали. Поэтому при расчете огнестойкости необходимо учитывать изменение температурного коэффициента снижения нормативного сопротивления стали.

В существующей расчетной методике по оценке фактических пределов огнестойкости фактор влияния продолжительности эксплуатации металлических конструкций не учитывается. В случае снижения нормативного сопротивления стали из-за естественного старения коэффициент, учитывающий снижение прочности металла при нагреве, будет увеличиваться, что может привести к снижению критической температуры металла. Значения нормативного сопротивления и модуля упругости применимы только для сталей на момент ввода объекта в эксплуатацию. Однако при длительной эксплуатации стальных конструкций эти параметры могут значительно уменьшаться (см. табл. 3, рис. 11),

что приведет к увеличению разности крайних деформаций и, в конечном счете, к снижению несущей способности стальной конструкции.

В рамках развития научного направления огнестойкости строительных конструкций существуют работы, в которых имеются данные по огнестойкости стальных конструкций [10–13] таких ученых, как В. И. Голованов, А. В. Пехотиков, А. В. Зубань и других, в том числе и зарубежных авторов [6, 14–15], таких как: Bartheymy V., Krupar J., Kodur V.K.R.

Известно, что предел огнестойкости металлических конструкций наступает в результате потери прочности или за счет потери устойчивости самих конструкций или их элементов. Данным случаям соответствует критическая температура нагрева металла. С помощью решения теплотехнической задачи определяется время нагрева металла от начала действия температуры (пожара) до достижения в расчетном сечении критической температуры, т. е. решение этой задачи позволяет определить фактический предел огнестойкости конструкции. Значение прочности стали (по пределу текучести) при нагреве равно:

$$R_{tem} = R_{yn}\gamma_{tem},$$

где R_{yn} – нормативное сопротивление конструкционных прокатных сталей по пределу текучести при начальной температуре $t_n = 20$ °С;

γ_{tem} – коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве.

Предельное состояние (из условия прочности) металлических конструкций и их элементов, находящихся в условиях пожара, наступает в результате снижения прочности стали R_{tem} до величины рабочих напряжений σ_n под действием нормативных нагрузок.

Авторами в работе [12] исследовалось изменение механических характеристик (предел текучести, предел прочности)

строительных конструкций при повышенных температурах (рис. 3, 4). В рамках экспериментальных исследований авторами были изготовлены образцы из стали следующих классов прочности: СтЗсп, 09Г2С, 14Г2.

Из рис. 3, 4 видно, что практически для всех марок сталей механические свойства начинают претерпевать необратимые изменения при температуре свыше 300 °С. Если предел текучести снижается достаточно равномерно, то временное сопротивление стали достигает максимума при температуре 300 °С, а затем начинает снижаться с ростом температуры [6]. В работах

[6, 10] отмечено, что при температуре 500 °С предел текучести стали СтЗ снижается на 40 %, а при температуре 600 °С – на 60 %. Согласно [13], чем выше температура при прогреве, тем более значительнее происходит снижение механических характеристик стальных конструкций (рис. 5).

Важнейшим видом деформационных процессов при рассмотрении вопроса интенсивности потери несущей способности стальной конструкции являются упругие деформации.

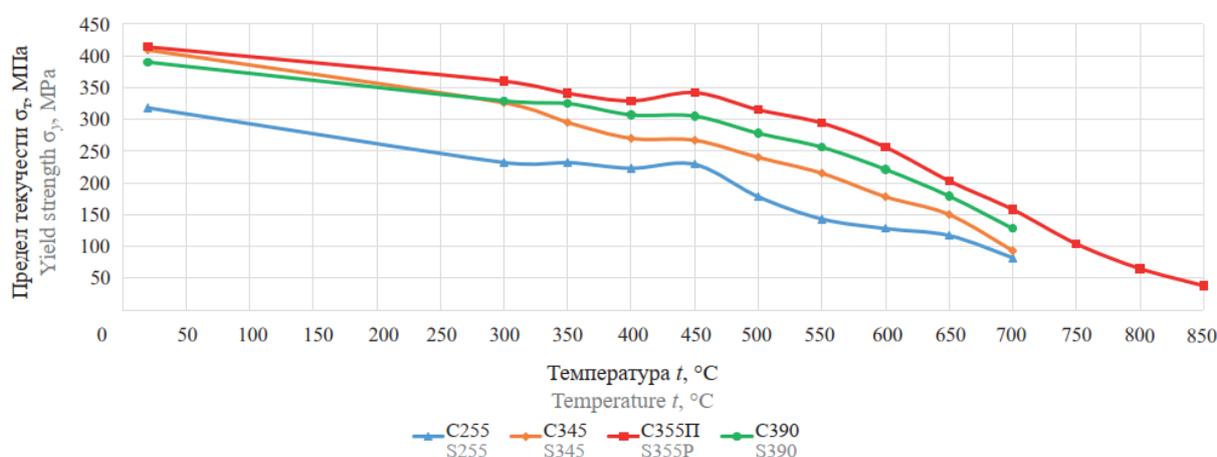


Рис. 3. График зависимости предела текучести от температуры испытания [12]

Fig. 3. The graph of the yield strength dependence on the test temperature [12]

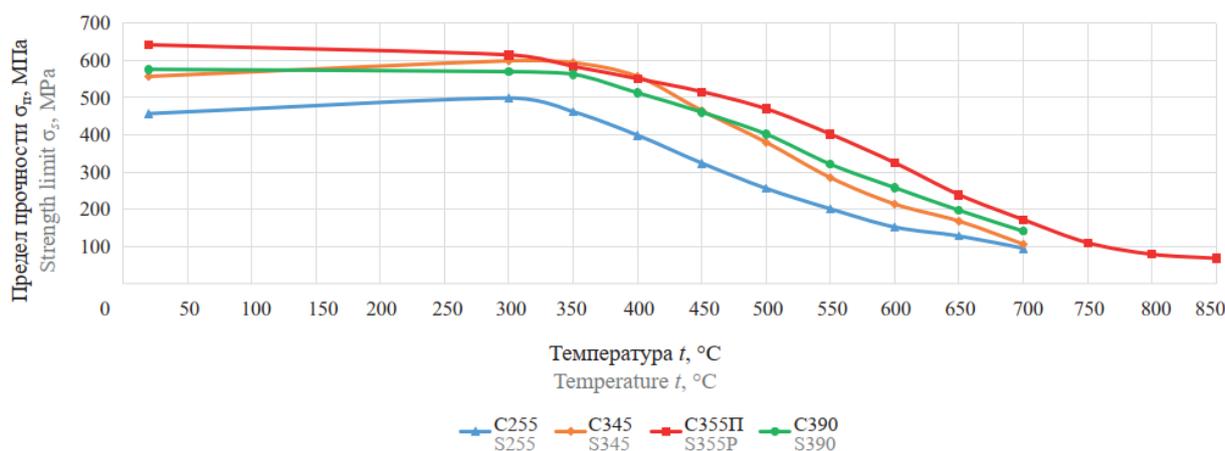


Рис. 4. График зависимости предела прочности от температуры испытания [12]

Fig. 4. The graph of the dependence of the ultimate strength on the test temperature [12]

Способность стального материала сопротивляться действующим нагрузкам характеризуется модулем упругости (модуль Юнга), который в условиях длительного износа конструкции с учетом возникновения возможных дефектов и изменений в структуре материала может снижаться. Особенно важно, насколько существенными могут быть эти изменения для стальных конструкций в зависимости от временного периода их эксплуатации.

Модуль упругости стали при нагреве определяется как:

$$E_{tem} = E \beta_{tem},$$

где E – модуль упругости прокатной стали при начальной температуре $t_n = 20^\circ\text{C}$ (равен $2,06 \cdot 10^5$ МПа);

β_{tem} – коэффициент, учитывающий снижение модуля упругости стали в зависимости от температуры ее нагрева.

В работе [16] были исследованы механические характеристики стального сплава X17 и алюминиевого сплава Д12. Во время экспериментальных испытаний было установлено, что для исследуемых образцов происходит частичная потеря пластичности при повышении температуры до 300°C . Период экспозиции образцов на растяжение при комнатной температуре составил ориентировочно один час, а в случаях воздействия температур 100 и 200°C время испытаний уменьшалось приблизительно до 30–40 минут. С возрастанием температуры до значений выше 200°C установлено повышение пластичности. В условиях высокотемпературного нагрева происходит заметное снижение модуля упругости стали [16], рис. 6.

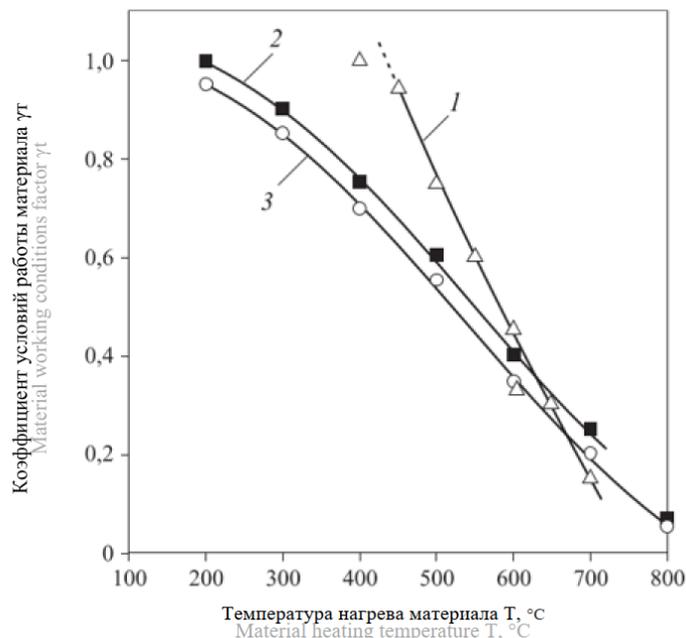


Рис. 5. Изменение значений коэффициента условий работы при пожаре строительных конструкций в зависимости от температуры нагрева [13]: 1 – стержневая арматура А-III; 2 – тяжелый бетон с крупным заполнителем из карбонатных пород; 3 – тяжелый бетон с крупным заполнителем из силикатных пород

Fig. 5. Change in the values of the coefficient of working conditions in the fire of building structures depending on the temperature of heating [13]: 1 - rod reinforcement A-III; 2 - heavy concrete with a coarse aggregate of carbonate rocks; 3 - heavy concrete with a coarse aggregate of silicate rocks

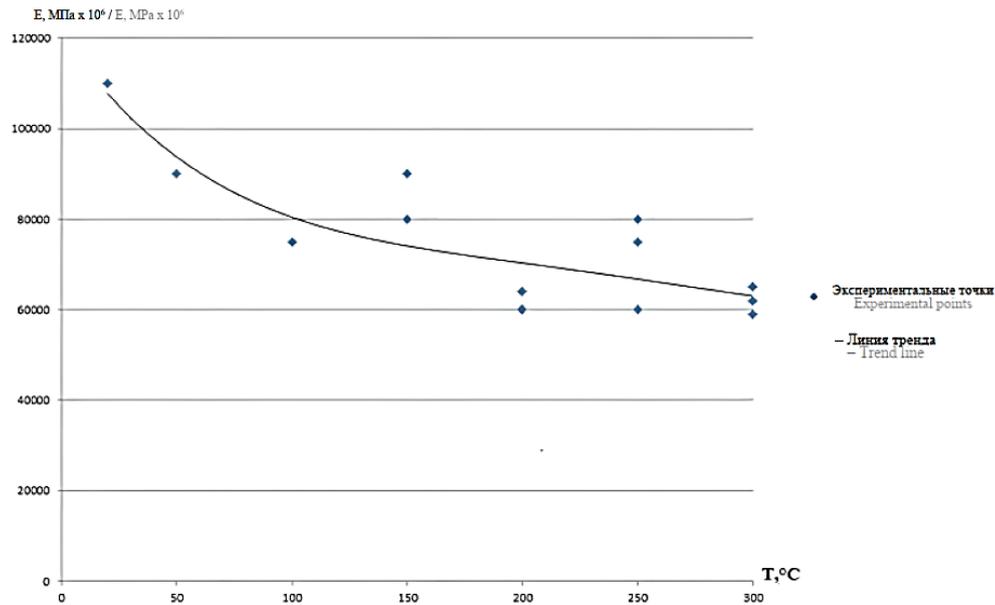


Рис. 6. Изменение модуля упругости стали сплава X17 [16]

Fig. 6. Changes in the elastic modulus of steel of alloy X17 [16]

Полученные изменения в ходе ранее проведенных исследований объясняются тем, что механические свойства стали во многом зависят от силы сцепления зерен друг с другом. При высоких температурах происходит частичное оплавление границ зерен, что приводит к резкому

снижению прочностных свойств материала [17]. Образовавшиеся окисленные зерна стали обладают малым взаимным сцеплением из-за наличия на их границах пленки окислов [17]. На рис. 7 представлена микроструктура углеродистой стали 35 до и после воздействия высоких температур.

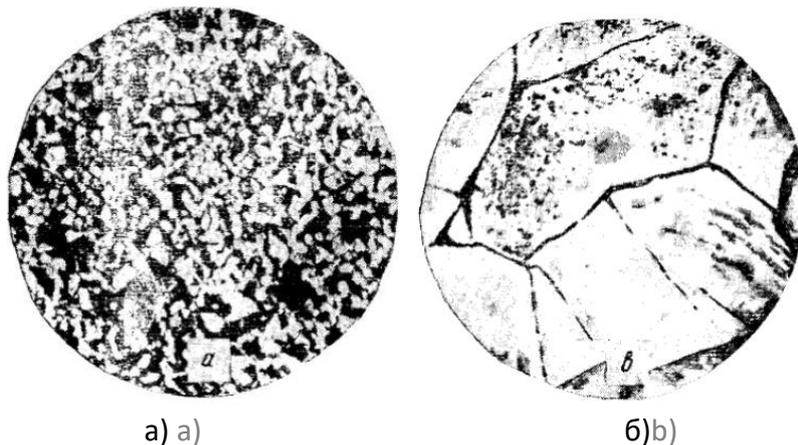


Рис. 7. Микроструктура стали 35 (x 100) [17]: а – микроструктура стали в исходном состоянии; б – микроструктура стали после воздействия высоких температур

Fig. 7. Microstructure of steel 35 (x 100) [17]: a - microstructure of steel in the initial state; b - microstructure of steel after exposure to high temperatures

После нагрева микроструктура стали меняется, зерна значительно увеличиваются в размерах (рис. 7б), что приводит к интенсивному хрупкому разрушению и резкому снижению механических характеристик стали, вследствие чего в условиях пожара и при постоянной механической нагрузке конструкция теряет свою несущую способность [18]. При температуре свыше 750 °С происходит выгорание углерода (обезуглероживание) в поверхностном слое металла, способствующего возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих уста-

лостную прочность стали и рост зерна микроструктуры. Чем выше величина зерна, тем ниже механические свойства стали [17]. Процесс поверхностного обезуглероживания возникает из-за того, что кислород воздуха, окружающего нагретую стальную конструкцию, соединяется с углеродом поверхностного слоя стали [19]. Это приводит к уменьшению содержания углерода в поверхностном слое стали, иногда это может привести к полному выгоранию углерода, что поверхностный слой оказывается состоящим из чистого железа (рис. 8).

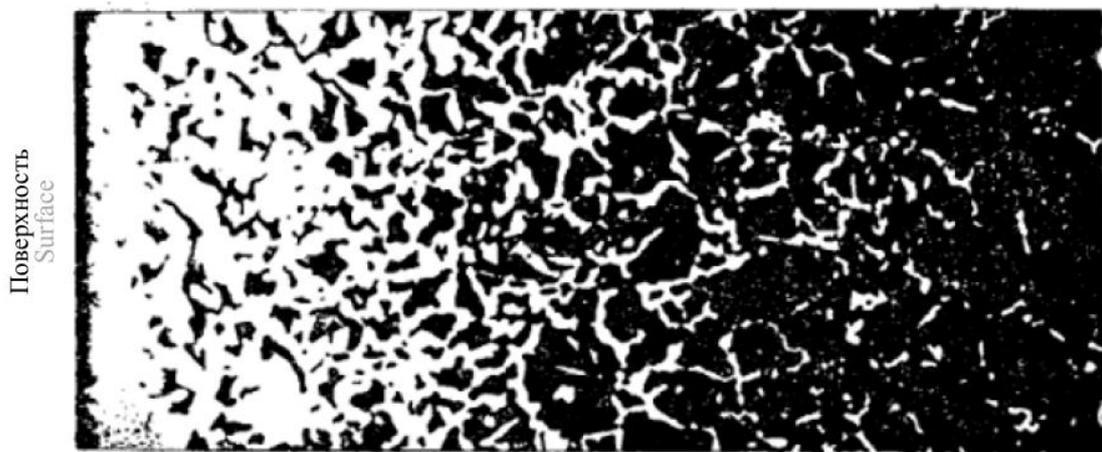


Рис. 8. Обезуглероженный слой на поверхности стали – x100 [16]

Fig. 8. The decarburized layer on the steel surface - x100 [16]

Проведенный анализ в области огнестойкости стальных строительных конструкций показал [6–8, 10, 12–13] зависимость времени наступлений предельных состояний от показателей механических свойств конструкций.

Механические свойства стали играют важную роль в сопротивлении разрушению при пожаре. Однако разрушение стальных конструкций происходит при резком повышении температуры в очаге пожара. Следовательно, учет потерь пределов прочности и текучести является важным фактором при оценке огнестойкости стальных конструкций.

Основным фактором снижения качественных и эксплуатационных характеристик металлов является процесс естественного старения. Согласно [20], при длительной эксплуатации металлических конструкций под воздействием факторов окружающей среды, различных механических нагрузок происходят необратимые изменения физико-химических характеристик металлических конструкций, которые в дальнейшем могут привести к разрушению конструкций, данный процесс называется процессом естественного старения. Проблема естественного старения стальных строительных конструкций (балки, стойки, колонны, фермы и т. д.) с установ-

лением изменения качественных характеристик во времени эксплуатации является малоизученной. Большинство научных трудов по изучению различных свойств сталей выполнены в области машиностроения, износоустойчивости трубопроводов, деталей машин и т. д. Результаты подобных исследований представлены в трудах таких ученых, как Демина Ю. А., Молочная Т. В., Панин С. В., Полонский Я. А. и др. [4–5].

В настоящей работе основной задачей было выяснение возможных изменений в составе и структуре стали конструкций продолжительной эксплуатации и спрогнозировать их возможное влияние на огнестойкость стальных конструкций, поскольку такие изменения, как было уже сказано выше, в практике научных исследований были установлены в большей степени для других отраслей промышленности (машиностроение, трубная промышленность и т. д.), но не в отношении конструктивной стали. В рамках решения поставленной задачи были проведены исследования механических характеристик стальной конструкции (швеллер с тол-

щиной стенки 6 мм, по геометрическим параметрам швеллер сопоставим со швеллером № 27 по ГОСТ 8240) площадки обслуживания оборудования, имеющей подтвержденный срок эксплуатации 86 лет внутри здания текстильного комбината имени III Интернационала по адресу: Владимирская область, Александровский район, г. Карабаново, пл. Ленина, д. 1.

Особенностью стальных конструкций в объектах, построенных в прошлом столетии, является их метод получения по способу Сименс – Мартена и бессемерованием. В довоенные и послевоенные годы в строительстве преимущественно использовались кипящие стали, при их получении химический состав не регламентировался, что привело к появлению в их составах различных вредных примесей, которые негативно влияют на эксплуатационные характеристики стали и такие стали являются более загрязненными с наличием неметаллических включений в виде точечных оксидов и сульфидов марганца (рис. 9).

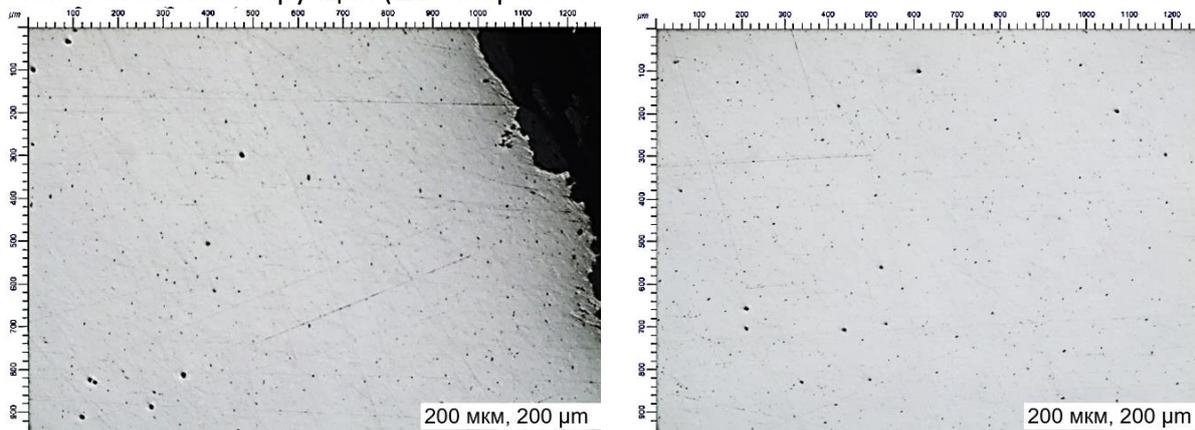


Рис. 9. Изображения наиболее загрязненных зон неметаллическими включениями для образца стали длительного срока эксплуатации

Fig. 9. Images of the most contaminated areas with non-metallic inclusions for a sample of steel of a long line of operation

Табл. 2
Химический состав образца
Table 2
Sample chemical composition

| Содержание элементов в основном металле, % Element content in the base metal, % | | | | | | | | |
|--|-------|--------|----------|-------|---------|---------|--------|-------|
| Наименование элементов Name of elements | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
| Результаты количественного анализа. Results of quantitative analysis | 0,146 | 0,050 | 0,450 | 0,010 | 0,012 | 0,023 | 0,081 | 0,046 |
| Наименование элементов. Name of elements | Cu | Al | B | Nb | Ti | V | W | Fe |
| Результаты количественного анализа. Results of quantitative analysis | 0,094 | 0,0052 | <0,00010 | 0,014 | <0,0050 | <0,0050 | <0,010 | 99,04 |

По содержанию в малом количестве кремния 0,05 % и алюминия 0,0052 % можно установить, что сталь является не полностью раскисленной и содержит в себе кислород. Такая сталь более хрупкая, плохо сваривается и быстрее подвергается процессу коррозии [21]. Также присутствие кислорода в стали негативно скажется при пожаре, так как окислы кислорода чаще всего являются непрочными и выступают концентраторами напряжений. Их наличие в структуре сплава заметно уменьшает его выносливость. Кислород также уменьшает сопротивляемость стали хрупкому разрушению.

Неметаллические включения, по сути, действуя в роли концентраторов напряжения, могут способствовать снижению механических, технологических и экс-

плуатационных свойств [22], а также повышению охрупчивания сталей, что напрямую влияет на прочность, пластичность и характер разрушения материала при пожаре.

Как отмечалось ранее, длительная эксплуатация конструкций под воздействием факторов окружающей среды, различных механических нагрузок приводит к коррозионному повреждению, в следствии чего конструкция теряет качественные и эксплуатационные характеристики. В связи с этим для определения механических свойств исследуемой конструкции, введенной в эксплуатацию в 1936 году, были вырезаны два образца из участков с признаками коррозии, распространяющейся вглубь по толщине образца (рис. 10).



Рис. 10. Характерный участок со следами значительной коррозии стального образца (срок эксплуатации с 1936 года)

Fig. 10. Characteristic area with traces of significant corrosion of the steel sample (in service since 1936)

Испытания проводились на универсальной испытательной машине LFM-250kN по ГОСТ 1497-84 со скоростью нагружения 8 мм/мин. Основные результаты испытаний и нормативные показатели кипящих сталей СтЗкп и СтЗпс приведены в табл. 3 и на рис. 11.

Проведенный сравнительный анализ результатов испытаний на статическое рас-

тяжение и нормативных показателей свидетельствует о том, что коррозионные поражения значительно снижают механические характеристики конструкций на 15 % и более. Предел прочности образца Ш-2 ниже нормативного временного сопротивления на 15 %, предела текучести на 10 % и относительного удлинения на 12 %.

Табл. 3

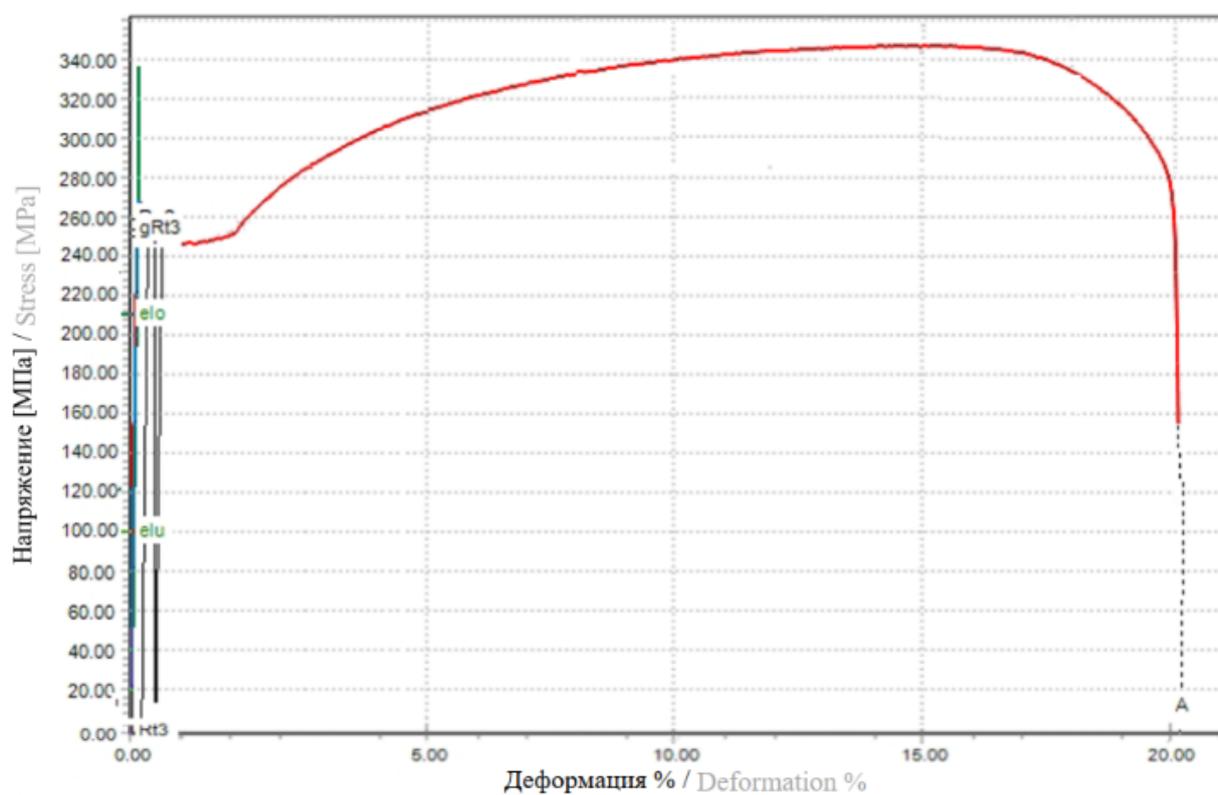
Основные результаты испытаний на статическое растяжение образцов Ш-1,2 и нормативные показатели по ГОСТ 535-2005

Table 3

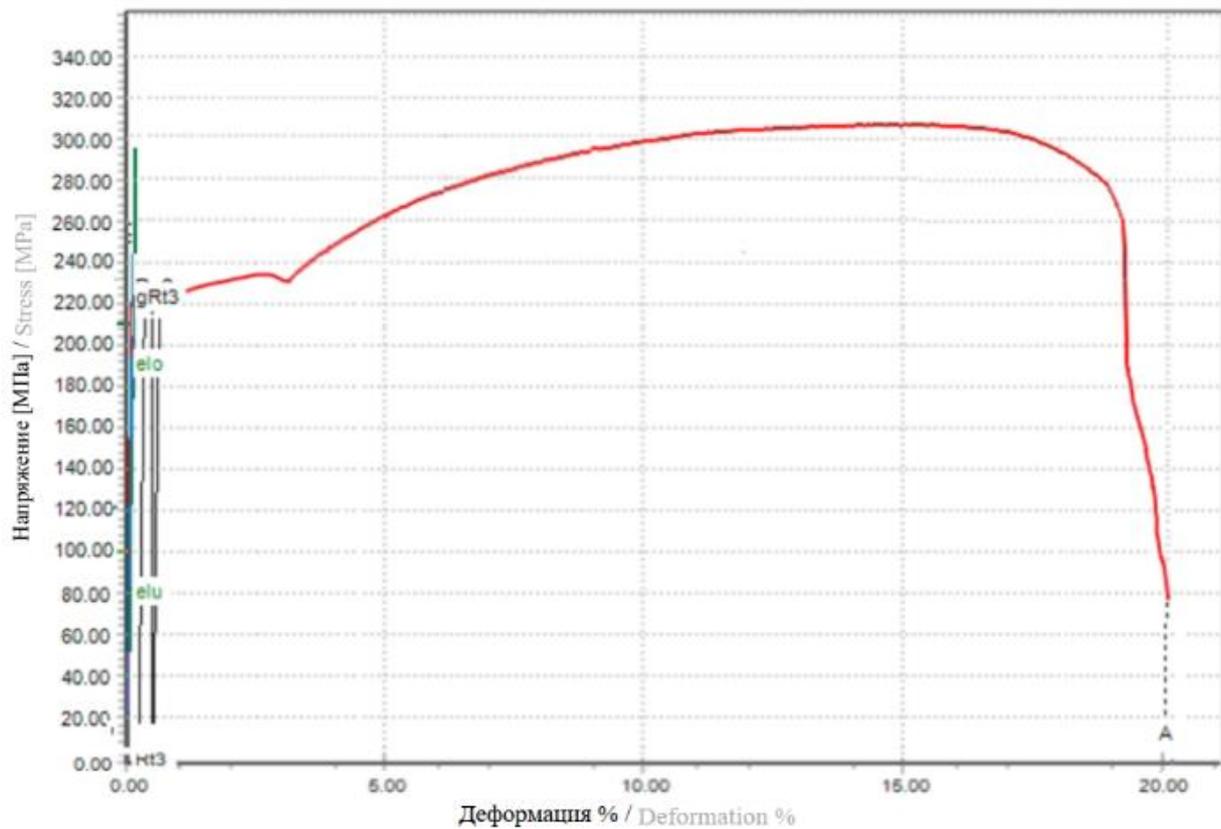
The main results of static tensile tests of specimens Sh-1,2 and normative indicators according to GOST 535-2005

| Марка стали. Steel grade. | Временное сопротивление σ_B , Н/мм ² (кгс/мм ²), для проката толщин, мм. Tensile strength σ_B , N/mm ² (kgf/mm ²), for rolled thicknesses, mm. | | Предел текучести σ_T , <N/мм ² (кгс/мм ²), для проката толщин, мм. Yield strength σ_T , <N/mm ² (kgf/mm ²), for rolled thicknesses, mm. | | Относительное удлинение δ , %, для проката толщин, мм. Relative elongation δ , %, for rolled thicknesses, mm. |
|------------------------------|---|------------------|--|--|--|
| | до 10 вкл. up to 10 incl. | св.10 over 10 | до 10 вкл. up to 10 inclusive | св.10 до 20 вкл. more than 10 to 20 incl. | до 20 включ. up to 20 inclusive. |
| СтЗкп St3 boiling st | 360-460 (37-47) | | 235 (24) | 235 (24) | 27 |

| СтЗп St 3 semi-soft st | 370-480 (38-49) | 245 (25) | 245 (25) | 26 | | | |
|---|-------------------------------------|--|---|---|--|---|--|
| Основные результаты испытаний на статическое растяжение образцов Ш-1,2 Results of static tensile tests of specimens Sh-1,2 | | | | | | | |
| Образец Sample | Размеры, мм Dimensions, mm | Начальное сечение, S_0 , мм ² Initial section, S_0 , mm ² | Усл. предел текучести при 0,5%, МПа. Yield strength at 0.5%, МПа | Предел текучести при 0,2%, МПа Yield strength at 0.2%, МПа | Предел текучести при 0,5%, МПа. Yield strength at 0.5%, МПа | Предел прочности, МПа. Tensile strength, МПа | Удлинение при разрушении, %. Elongation at break, % |
| Ш-1 Sh-1 | 20.02 x 4.97 | 99.50 | 242.38 | 244.69 | 243.54 | 345.70 | 20.08 |
| Ш-2 Sh-2 | 19.98 x 4.96 | 99.10 | 221.60 | 223.57 | 222.50 | 304.52 | 19.94 |



а) а)



б) б)

Рис. 11. Диаграммы растяжения стальных образцов: а – Ш-1, б – Ш-2

Fig. 11. Tensile diagrams of steel specimens: a - Sh-1, b - Sh-2

Таким образом, предел текучести определяет начало и интенсивность пластической деформации стальных конструкций с последующим разрушением в условиях пожара. Утрата механических характеристик стальных конструкций в условиях нагрева (пожара) происходит более интенсивно по причине длительного воздействия механических нагрузок и факторов окружающей среды. В условиях пожара скорость нарастания необратимых деформаций и соответствующие изменения в структуре металла могут привести к снижению восприимчивости стальных конструкций к воздействию пожара и снижению значений пределов их огнестойкости.

Выводы

В настоящей работе установлены возможные изменения в составе и структуре стали конструкций длительного срока

эксплуатации на примере стальной конструкции (швеллер с толщиной стенки 6 мм, по геометрическим параметрам швеллер сопоставим со швеллером № 27 по ГОСТ 8240) площадки обслуживания оборудования, имеющей подтвержденный срок эксплуатации 86 лет внутри здания текстильного комбината имени III Интернационала по адресу: Владимирская область, Александровский район, г. Карбаново, пл. Ленина, д. 1. Спрогнозировано возможное влияние изменений физико-химических и механических характеристик стальной конструкции в период длительного естественного износа на пределы их огнестойкости.

Ранее полученные результаты исследований по оценке огнестойкости стальных конструкций свидетельствуют о том, что при увеличении температуры прогрева

стальных конструкций происходит существенное снижение их механических характеристик, и повышенная температура в очаге пожара становится причиной разрушения стальных конструкций. При этом особенно важным при оценке огнестойкости стальных конструкций является установление изменений пределов прочности и текучести сталей.

По результатам настоящего исследования было установлено, что эксплуатация конструкций в условиях постоянной механической нагрузки и воздействия факторов окружающей среды, а также различных условий эксплуатации приводит к возникновению необратимых деформаций и изменению эксплуатационных характеристик. Эти изменения могут вызвать снижение прочности, временного сопротивления и относительного удлинения стальных конструкций.

Результаты влияния длительного срока эксплуатации стальных конструкций на физико-химические и механические характеристики на примере конструктивного стального элемента (швеллера) (срок эксплуатации с 1936 года) в здании текстильного комбината имени III Интернационала (Карабаново, Владимирская

область) показывают, что рассматриваемые образцы изготовлены из кипящей стали и являются загрязненными с наличием неметаллических включений, а именно в структуре стали присутствуют точечные оксиды и сульфиды марганца, которые могут стать причиной снижения механических характеристик стальных конструкций, что повлияет на характер разрушения конструкции при пожаре.

Проведенные механические испытания на статическое растяжение образцов из остро пораженных коррозией участков показали снижение предела прочности образца Ш-2 ниже нормативного временного сопротивления на 15 %, предела текучести на 10 % и относительного удлинения на 12 %.

На основании полученных результатов предполагается, что снижение механических характеристик при продолжительной эксплуатации стальных конструкций под воздействием факторов окружающей среды и длительных механических нагрузок неизбежно приведет к снижению их способности противостоять воздействию повышенных температур (пожара), выраженной в снижении пределов огнестойкости этих конструкций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории РФ за 2022 г. / Департамент надзорной деятельности и профилактической работы // Fireman.club: сетевое издание. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-obstanovki-s-pozharami-i-ih-posledstviyami-na-territorii-rossijskoj-federaczii-za-2022-god/> (дата обращения: 14.04.2023).
2. Даулетбаев Р. Б., Вовк Б. В. Надежность строительных конструкций зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Инновации и инвестиции. 2019. № 5. С. 173–177.
3. Гридин А. Д. Особенности коррозионного растрескивания металла под напряжением и его последствия // Экспериментальная наука: механизмы, трансформации, регулирование, Уфа, 18 апреля 2020 г. – Стерлитамак, 2020. – С. 71–76.
4. Демина Ю. А. Дegradaция усталостных характеристик стали в результате длительного старения // Физико-химия и технология неорганических материалов: сб. мат. VIII Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов, 15-18 ноября 2013 г., Москва. – М., 2013. – С. 57–59.
5. Полонский Я. А. Микромеханика разрушения стали X23H18 после длительных сроков эксплуатации // Вестник ТГУ. 2013. Т. 15, вып. 3. С. 976–977.
6. Бартелими Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций / пер. с франц. М. В. Предтеченского; под ред. В. В. Жукова. М., 1985. 216 с.
7. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М., 1988. 142 с.

8. Ройтман В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. М., 2001. 382 с.
9. Шахабов М. М., Сивенков А. Б., Анохин Е. А. О необходимости учета фактора продолжительности эксплуатации металлических конструкций в расчетной методике оценки их огнестойкости // Всероссийская научно-практическая конференция «Применение методов инженерного анализа и компьютерного моделирования при разработке и оценке эффективности противопожарных мероприятий», Екатеринбург, 7 декабря 2021 г. – Екатеринбург, 2021. – С. 276–281.
10. Дианов Х. А., Локтев А. А., Нисаев И. П. Прочность стали Ст3 в условиях одностороннего нагрева и динамического нагружения // Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем, Москва, 25 мая 2016 г. – М., 2016. – С. 121–125.
11. Шебеко Ю. Н., Зубань А. В., Шебеко А. Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2019. Вып. 28, № 6. С. 29–34.
12. Исследование механических свойств современного металлопроката строительного назначения при повышенных температурах / В. И. Голованов и др. // Пожаровзрывобезопасность. 2022. № 31 (2). С. 52–62.
13. Ройтман В. М. Физический смысл и оценка коэффициента условий работы и критической температуры прогрева материалов конструкций в условиях пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20, № 5. С. 14–21.
14. Kruppa Joël. (1981). Some results on the fire behaviour of external columns. Fire Safety Journal - FIRE SAFETY J. 4. pp. 247-257.
15. Kodur V. K. R., Sultan M. A., Tan K. H. (2006). Fire resistance of high strength steel columns: A review. Engineering Structures, 28(5), pp. 648-659.
16. Добрышкин А. Ю., Сысоев О. Е., Сысоев Е. О. Экспериментальное исследование влияния воздействия температурного режима на модуль Юнга // Труды МАИ. 2020. № 115.
17. Солнцев Ю. П., Веселов В. А., Демянцева В. П. Металловедение и технология. М., 1988. 512 с.
18. Огнестойкость зданий / В. П. Бушев В. П. и др. М., 1970. 264 с.
19. Захаров Б. П. Термист // Министерство труд. резервов СССР. Свердловск; Москва, 1946. 192 с.
20. Калинин В. М., Сокова С. Д. Оценка технического состояния зданий. М., 2005. 267 с.
21. Комаров О. Н., Жилин С. Г., Предеин В. В. Технология получения заготовок из кипящей стали для прокатного производства // Будущее машиностроения России. 2016. С. 189–191.
22. Влияние неметаллических включений на механические свойства сталей / А. В. Нархов и др. // ЦНИИ информации и технико-экономических исследований черной металлургии. М., 1922. Вып. 1. 9 с.

REFERENCES

1. Department of Supervision and Preventive Work / Analysis of the situation with fires and their consequences in the Russian Federation for 2022 // Official website. URL: <https://fireman.club/literature/analiz-obstanovki-s-pozharami-i-ih-posledstviyami-na-territorii-rossijskoj-federacii-za-2022-god/> (accessed 14.04.2023). (rus).
2. Dauletbaev R.B., Vovk B.V. Reliability of building structures of buildings and structures during their operation. Innovacii i investicii / *Innovations and Investments*, 2019; 5: 173–177 (rus).
3. Gridin A. D. Features of stress corrosion cracking of metal and its consequences / *Experimental'naya nauka: mexanizmy, transformacii, regulirovanie / Experimental Science: mechanisms, transformations, regulation*, 2020; 71–76. (rus).
4. Demina U. A. Degradation of fatigue characteristics of steel as a result of long-term aging. Proceedings of the VIIIth Russian Annual Conference of Young Scientists and Graduate Students "Physical Chemistry and Technology of Inorganic Materials", November 15-18, 2013, Moscow, 57–59. (rus).
5. Polonsky Y.A. Micromechanics of destruction of steel X23N18 after long service life. Vestnik TGU, 2013; 15 (3): 976–977. (rus).
6. Barthelemy B., Kruppa J. Fire resistance of building structures. Translated from French M.V. Predtechensky; ed. V. Zhukov. Moscow, Stroyizdat, 1985; 216.
7. Yakovlev A. I. Calculation of fire resistance of building structures. Moscow: Stroyizdat, 1988; 142. (rus).
8. Roitman V. M. Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings. Association "Fire Safety and Science", 2001; 382. (rus).
9. Shakhobov M. M., Sivenkov A. B., Anokhin E. A. On the need to take into account the factor of the duration of operation of metal structures in the calculation method of assessing their fire resistance. All-Russian

Scientific and Practical Conference "The Application of Methods of Engineering Analysis and Computer Modeling in Developing and Assessing the Efficiency of Fire Safety Measures". Yekaterinburg, December 7, 2021; 276–281. (rus).

10. Dianov Kh. A., Loktev A. A., Nisaev I. P. Strength of St3 steel under conditions of single-sided heating and dynamic loading. Innovative approaches to solving technical and economic problems, Moscow, May 25, 2016. Moscow, National Research University "Moscow Institute of Electronic Technology", 2016; 121–125. (rus).

11. Shebeko Y. N., Zuban A. V., Shebeko A. Y. Calculation of the actual fire resistance limit of unprotected steel structures at different fire temperatures. *Pozharovzry`vobezopasnost` / Fire and explosion safety*. 2019; 28 (6): 29–34. (rus).

12. Golovanov V. I., Kryuchkov G. I., Strekalev A. N., Komissarov A.A., Tikhonov S.M. The study of mechanical properties of modern metal rolling for construction purposes at elevated temperatures / *Pozharovzry`vobezopasnost` / Fire and Explosion Safety*, 2022; 31 (2): 52–62. (rus).

13. Roitman V. M. Physical meaning and evaluation of the coefficient of working conditions and the critical temperature of heating of structural materials in fire conditions. *Pozharovzry`vobezopasnost` / Fire and Explosion Safety*. 2011; 20 (5): 14–21. (rus).

14. Kruppa Joël. Some results on the fire behavior of external columns. *Fire Safety Journal*. 1981; 4: 247–257.

15. Kodur V. K. R., Sultan M. A., Tan K. H. Fire resistance of high strength steel columns: A review. *Engineering Structures*, 2006; 28(5): 648–659.

16. Dobryshkin A. U., Sysoev O. E., Sysoev E. O. Experimental study of the effect of temperature conditions on the Young's modulus. *Proceedings of MAU*, 2020; 115: 27. (rus).

17. Solntsev Yu. P., Veselov V. A., Demyantsevich V. P. *Metal Science and Technology*. Moscow, Metallurgy, 1988; 512. (rus).

18. Bushev V. P., Pchelintsev V. A., Fedorenko B. S., Yakovlev A. I. Fire resistance of buildings. Moscow, Stroyizdat, 1970; 264. (rus).

19. Zakharov B. P. *Termist*. Sverdlovsk, Moscow: Mashgiz, 1946; 192. (rus).

20. Kalinin V. M., Sokova S. D. Estimation of the Technical State of Buildings. Moscow, INFRA-M, 2005; 267. (rus).

21. Komarov O. N., Zhili S. G., Predein V. V. Technology of obtaining billets from boiling steel for rolling production. *Future of Russian Machine-Building*, 2016; 189–191. (rus).

22. Narkhov A. V., Klypin B. A., Ray A., Pal S.K., Chistyakov N. S., Yunakov I. V. Effect of non-metallic inclusions on the mechanical properties of steels. *Central Research Institute for Information and Technical and Economic Research of Ferrous Metallurgy*. Issue 1, Moscow, 1992; 9. (rus).

Информация об авторах

Шахабов Майрбек Мусаевич, адъюнкт; Академия ГПС МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; shahmayrbek95_95@mail.ru, +7 (928) 563-32-81; ORCID ID: 0000-0001-8299-8780; SPIN-код: 7271-5784, РИНЦ AuthorID: 1121498. e-mail: shahmayrbek95_95@mail.ru

Сивенков Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты; Академия ГПС МЧС России, Рос-

Information about the authors

Mayrbek M. Shakhobov, adjunct, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation, ID RISC: 1121498, ORCID ID: 0000-0001-8299-8780, SPIN-код: 7271-5784, e-mail: shahmayrbek95_95@mail.ru

Andrey B. Sivenkov, Doctor of Technical Sciences, professor, Professor in the Department of Fire Safety in Construction as part of the Training and Research Complex for Fire Safety of Protection Facilities, Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia;

сия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, ResearcherID: R-5518-2017, ORCID: 0000-0003-3821-8606, ПИНЦ Author ID: 434522,
e-mail: sivenkov01@mail.ru

Корольченко Дмитрий Александрович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой комплексной безопасности в строительстве; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, ПИНЦ ID: 352067, Scopus Author ID: 55946060600, ResearcherID: E-1862-2017, ORCID: 0000-0002-2361-6428,
e-mail: da-vip@mail.ru.

Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation, ResearcherID: R-5518-2017, ORCID: 0000-0003-3821-8606, ID RISC: 434522,
e-mail: sivenkov01@mail.ru

Dmitriy A. Korolchenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Integrated Building and Construction Safety, National Research Moscow State University of Civil Engineering; Yaroslavskaya St., 26, Moscow, ID RISC: 352067, Scopus Author ID: 55946060600, ResearcherID: E-1862-2017, ORCID: 0000-0002-2361-6428,
e-mail: da-vip@mail.ru

УДК 66.046.7:532.5:519.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ НАГРЕТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Хафизов Ильдар Фанилевич^{1,2}, Яхи Абдеслам¹, Попова Елена Викторовна¹,
Хафизов Фаниль Шамильевич¹

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

²Академия наук Республики Башкортостан, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрен вопрос влияния конвективного теплообмена на нагретой поверхности на процесс охлаждения металлических поверхностей. Было выполнено двумерное численное моделирование атмосферного насыщенного кипения. С использованием численных методов проведено исследование пространственных эффектов образования пара и двухфазного потока, такого как дисперсия фазы в двухфазной смеси. Для исследования использованы данные, экспериментально полученные в течение короткого периода времени после нагрева металлической поверхности и образования пара на поверхности нагрева. Примененный метод моделирования показал надежность, позволяющую проводить стабильные расчеты для широкого диапазона применяемых параметров при моделировании. Изучено образование поверхности нагрева водой и частичное смачивание поверхности при различных значениях поверхностного натяжения. Исследовано влияние поверхностного натяжения на динамику нагрева и охлаждения. Рассмотрено влияние различных поверхностно-активных веществ на процесс охлаждения нагретых металлических поверхностей.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, процесс испарения, процесс конденсации, метод объема жидкостей, теплообмен

INVESTIGATION OF THE COOLING PROCESS OF HEATED METAL SURFACES OF OIL AND GAS EQUIPMENT

Ildar F. Khafizov^{1,2}, Ahi A.¹, Elena V. Popova, Fanil Sh. Khafizov¹

¹Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

²State budgetary Scientific Institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

ABSTRACT

In this paper, the question of the effect of convective heat transfer on a heated surface on the cooling process of metal surfaces is considered. Two-dimensional numerical sim-

ulation of atmospheric saturated boiling was performed. The spatial effects of vapor formation and two-phase flow, such as phase dispersion in a two-phase mixture, have been studied using numerical methods. The data obtained experimentally during a short period of time after heating the metal surface and the formation of steam on the heating surface were used for the study. The applied modeling method has shown reliability, which allows stable calculations for a wide range of parameters used in modeling. The formation of the heating surface with water and partial wetting of the surface at different values of surface tension have been studied. The influence of surface tension on the dynamics of heating and cooling is investigated. The influence of various surfactants on the cooling process of heated metal surfaces is considered.

Keywords: evaporation process, condensation process, liquid volume method, heat exchange

Введение

Процесс эффективного охлаждения нагретого тела можно охарактеризовать как эффективность удаления тепла с поверхности твердого тела с использованием жидкостей. Данная тема исследования является актуальным вопросом обеспечения процесса пожарной безопасности.

Охлаждение нагретых тел добавлением различных поверхностно-активных веществ для улучшения теплообмена при нагревании – актуальный вопрос для исследования. Поверхностно-активные вещества, которые уменьшают поверхностное натяжение, оказывают влияние на теплопередачу, изменение поверхностного натяжения вследствие изменения диаметра отрыва пузырьков, в частности кипение «зародышей». Несмотря на то, что исследования проводились в течение нескольких десятилетий, полного решения данной проблемы нет. Разнообразие условий неоднородности проведения экспериментов и характеристик материалов (субстратов и жидкостей) приводит к нелинейности процессов и к возможному присутствию гистерезисных явлений (обычно связанных с температурой активации для центра

зародышеобразования, значительно превышающей ожидаемое или теоретическое значение) [1].

Моделирование кипения требует множества гипотез, обоснованность которых не всегда можно оценить. Это приводит к большому количеству различных моделей, часто с корректирующими факторами. Результаты, предсказанные этими моделями, иногда далеки от экспериментальных результатов. Эксперименты по нагреву металлических поверхностей также вызывают дополнительные трудности: процесс нагревания бывает слишком быстрым; пузырьки, образующиеся на границе раздела фаз, взаимодействуют между собой; свойства материала не всегда четко определены, особенно шероховатость поверхности; физические параметры трудно измерить в жидкостях.

Проведено исследование процесса нагрева и охлаждения с помощью программы ANSYS (FLUENT). В данной работе были рассмотрены численные моделирования с тремя различными значениями поверхностного натяжения ($\sigma = 0.03 \text{ N/m}$, $\sigma = 0.072 \text{ N/m}$ и $\sigma = 0.12 \text{ N/m}$), временем пребывания пузырьков 0.2 с и 0.3 с. Исследование показывает влияние этих параметров

на динамику нагрева поверхности, воздействия на нее жидкости для охлаждения и образования кипения.

Для экспериментов определены граничные и начальные условия для численного моделирования. Процесс нагревания будем моделировать в прямоугольном сосуде 40 × 80 мм, из медного материала, с температурой нагрева 400 Кельвин (около 130 °С). Для моделирования процесса используем модель VOD (Volume Of Fluid) и применяем механизм испарения-конденсации.

Моделирование процесса конвективного теплообмена

Методы цифрового моделирования применяем для исследования распределения температуры по нагреваемой металлической поверхности.

Для потока вещества, в котором очевидна граница раздела фаз и используется для отслеживания границы раздела жидкость – газ, применяем метод объема жидкости VOD (Volume Of Fluid). В этом методе объемная доля фазы является переменным параметром в каждой ячейке.

Уравнения, которые необходимо решить при моделировании, представляют собой уравнения сохранения массы, энергии, импульса и объемной доли [2].

$$\nabla \cdot (\rho u) = \dot{\rho}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho c T}{\partial t} + \nabla \cdot (u \cdot \rho c T) = \nabla \cdot (\lambda \cdot \nabla T) + h, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho c T}{\partial t} + \nabla \cdot (u \cdot \rho u) = -\nabla p + \nabla(\mu \nabla u) + S_s + S_g, \quad (3)$$

$$\frac{\partial \alpha_l}{\partial t} + \nabla \cdot (u \alpha_l) = \frac{\dot{\rho}}{\rho} \alpha_l. \quad (4)$$

Исходный член $\dot{\rho}$ в правых частях уравнений (1) и (4) представляет собой перенос массы в процессе фазового перехода, а исходный член уравнения (2) представляет собой изменение энергии во время фазового перехода. Две объемные силы S_s и S_g в уравнении (3) учитывают силу

поверхностного натяжения и силу тяжести соответственно.

В расчетах также применяется модель расчета поверхностной силы CSF (ContinuumSurfaceForce). В модели CSF поверхностное натяжение может быть записано через скачок давления на поверхности. Сила на поверхности может быть выражена как объемная сила с использованием теоремы о дивергенции [3].

Она имеет следующий вид:

$$S = \sigma \frac{\alpha_l \rho_l k_g \nabla \alpha_g + \alpha_g \rho_l \nabla \alpha_l}{0.5(\rho_l + \rho_g)}, \quad (5)$$

$$n_l = \nabla \alpha_l, k_g = \nabla \cdot \vec{n}_g, \quad (6)$$

$$\vec{n} = \frac{n}{|n|} \quad (7)$$

$$k_l = \nabla \cdot \vec{n}_l, k_g = \nabla \cdot \vec{n}_g, \quad (8)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения,

α — объемная доля в контрольном объеме,

ρ — плотность,

n — нормаль к поверхности.

Кривизна k определяется в терминах расхождения единичной нормали \vec{n} . Нижние индексы l и g обозначают жидкую фазу и паровую фазу соответственно. В ячейках, которые содержат две фазы, физические свойства, такие как плотность, динамическая вязкость и теплопроводность, могут быть рассчитаны по средней объемной доле.

Для следующего этапа построения модели рассмотрим модель фазового перехода. Данная модель может быть записана в виде уравнений (9), (10) и (11), где T и T_{sat} — локальная температура и локальная температура насыщения соответственно [7].

Если $T > T_{sat}$, то происходит процесс испарения. Жидкая фаза переходит в паровую фазу, и формулу для массы можно записать следующим образом:

$$M = c_l \alpha_l \rho_l \frac{T - T_{sat}}{T_{sat}}. \quad (9)$$

В случае $T = T_{sat}$ не происходит ни процесса испарения, ни процесса конденсации.

В случае $T < T_{sat}$ происходит образование конденсата, т. е. осуществляется процесс перехода паровой фазы в жидкую. Массу вещества определяем согласно следующему выражению:

$$M = c_g \alpha_g \rho_g \frac{T - T_{sat}}{T_{sat}}, \quad (10)$$

где c_l и c_g — коэффициенты релаксации, которые можно искусственно модифицировать для управления скоростью фазового перехода в процессе расчета.

Для поддержания температуры на уровне T_{sat} принимаем коэффициенты равными значению 100 с^{-1} , согласно Wei и Pan (2011). В результате экспериментов принимаем значение $c_l = c_g = 800 \text{ с}^{-1}$ [4, 5].

Для расчета энергии h , которая поглощается или выделяется при фазовом переходе, применяем уравнение (11):

$$h = h_{lg} M, \quad (11)$$

где h_{lg} — скрытая теплота.

Предполагается, что изолиния 0,5 объемной доли является границей раздела пар – жидкость, когда происходит испарение или конденсация, источники массы добавляются в ячейках, которые замкнуты на границе раздела, но точно не содержат границу раздела. Источники массы жидкости и пара имеют одинаковую величину, но противоположный знак. Таким образом, поверхность раздела может быть защищена от деформации во время расчета, а масса консервативна.

Рассмотрим подход к моделированию. С помощью программы ANSYS (FLUENT) были проведены численные моделирования с тремя различными значениями поверхностного натяжения ($\sigma = 0.03 \text{ N/m}$, $\sigma = 0.072 \text{ N/m}$ и $\sigma = 0.12 \text{ N/m}$) и временем пребывания пузырьков 0.2 с и 0.3 с, показывающим влияние этих параметров на динамику

кипения. Нагревание происходит через нижнюю стенку.

Граничные и начальные условия для численного моделирования нагревания моделируются в прямоугольном сосуде размером $40 \times 80 \text{ mm}$, из медного материала, с температурой нагрева стенки 400 Кельвин. В опыте мы использовали модель VOD (Volume Of Fluid) и механизм испарения - конденсации [6, 7].

Модуль Design Modeler (DM) применяем для построения геометрической модели объекта. При моделировании было использовано 17778 элементов.

По результатам моделирования двумерный вид увеличения и динамики пузырька пара в насыщенной среде начинается через 0.2 с от начала кипения.

В результате эксперимента можем отметить, что после 0,3 с с начала кипения различия в количестве и объеме пузырьков пара становятся очень четкими. Также мы замечаем, что пузырьки пара соединяются и образуют пленку пара. При увеличении поверхностного натяжения ($\sigma = 0.12 \text{ N/m}$) паровая пленка играет роль изолятора, который предотвращает контакт между жидкостью и поверхностью нагрева. Это уменьшает теплопередачу и приводит к ухудшению охлаждения поверхности нагрева [8, 9].

На практике для увеличения или уменьшения поверхностного натяжения можно использовать поверхностно-активные вещества, например, карбоксилаты, сульфаты, сульфонаты, бактерицидные, полимерные цепи и т. д. Температура, необходимая для запуска кипения с поверхностно-активным веществом, ниже, чем для воды; пузырьки пара образуются легче, и коэффициент теплопередачи значительно возрастает.

Выводы

Был выполнен комплексный CFD-анализ (Computational Fluid Dynamics

modeling) процесса охлаждения металлических поверхностей. В качестве охлаждающей жидкости в эксперименте использовали как техническую, так и насыщенную воду при атмосферных условиях. Этот анализ также послужил методом проверки возможностей новой численной модели для имитации кипения путем сравнения с экспериментальными данными, доступными в литературных источниках.

В ходе эксперимента было доказано, что паровая пленка образуется на горизонтальной верхней поверхности нагревателя в случае более высокого значения поверхностного натяжения ($\sigma = 0.12 \text{ N/m}$), которое приводит

к повышению температуры поверхности нагреваемой стенки и ухудшению охлаждения. Эти результаты аналогичны результатам прикладных экспериментов.

В работе рассматривается вопрос процесса влияния различных веществ на процесс охлаждения. Добавление поверхностно-активного вещества в воду снижает его поверхностное натяжение. Чтобы улучшить теплопередачу и, следовательно, охлаждать металл, предложено использовать поверхностно-активные вещества, уменьшающие поверхностное натяжение ($\sigma = 0.03 \text{ N/m}$). Добавление ПАВ в воду позволяет снизить время охлаждения аппаратов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яхи А., Хафизов Ф. Ш., Попова Е. В. Численные исследования поверхностного натяжения при зародышеобразовании кипения // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли: мат. II Международной научно-практической конференции Уфа, 2019. С. 167–168.
2. Zhang, B. J., Kim, K. J., Nucleate Pool Boiling Heat Transfer Augmentation on Hydrophobic Self-Assembly Mono-Layered Alumina Nano-Porous Surfaces, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 73 (2014), June, pp. 551-561.
3. Sanna, A., et al., Numerical Investigation of Nucleate Boiling Heat Transfer on Thin Substrates, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 76 (2014), Sep., pp. 45-64.
4. Jia, H.W., Zhang, P., Fu, X., Jiang, S.C., 2014. A numerical investigation of nucleate boiling at a constant surface temperature. *Appl. Therm. Eng.*, 1–10.
5. Pezo, M., Stevanovic, V., Numerical Prediction of Critical Heat Flux in Pool Boiling with the Two-Fluid Model, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 54 (2011), 15-16, pp. 3296-3303.
6. Lee, W.H.A., 1980. Pressure iteration scheme for two-phase flow modeling. In: Veziroglu, T.N. (Ed.), *Multiphase transport fundamentals, Reactor Safety*,
7. Stephan, P., Kern, J., Evaluation of Heat and Mass Transfer Phenomena in Nucleate Boiling, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 25 (2004), 2, pp. 140-148.
8. Popova, E.V., Sh Khafizov, F., Gritsay, G.M., Gazizov, A.M. Research on the thermal impact on steel structures of tanks in case of fire. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 6th International Scientific Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, AGRITECH-VI 2021; Krasnoyarsk; Russian Federation; 18 November 2021 до 20 November 2021; Код 177474 Volume 981, Issue 3, 25 February 2022, Номер статьи 032066
9. Хуснутдинова С. М., Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф. Определение удельной массовой скорости выгорания многокомпонентных нефтепродуктов // *Безопасность труда в промышленности*. 2021. № 10. С. 49–52.

REFERENCES

1. Yakhi A., Hafizov F. Sh., Popova E. V. Numerical studies of surface tension during boiling nucleation In the collection: Current problems and trends in the development of technosphere safety in the oil and gas industry. Materials of the II International Scientific and Practical Conference. Ministry of Science and Higher Education, Ufa State Petroleum Technical University, 2019; 167–168. (rus).
2. Zhang B. J., Kim K. J., Nucleate Pool Boiling Heat Transfer Augmentation on Hydrophobic Self-Assembly Mono-Layered Alumina Nano-Porous Surfaces, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2014; 551–561.

3. Sanna A., et al., Numerical Investigation of Nucleate Boiling Heat Transfer on Thin Substrates, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2014; 45–64.
4. Jia H. W., Zhang P., Fu X., Jiang S. C. A numerical investigation of nucleate boiling at a constant surface temperature. *Appl. Therm. Eng.*, 2014; 1–10.
5. Pezo M., Stevanovic V., Numerical Prediction of Critical Heat Flux in Pool Boiling with the Two-Fluid Model, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 2011; 3296–3303.
6. Lee W. H. A. Pressure iterations scheme for two-phase flow modeling. In: Veziroglu, T.N. (Ed.), *Multiphase transport fundamentals, Reactor Safety*, 1980.
7. Stephan P., Kern J., Evaluation of Heat and Mass Transfer Phenomena in Nucleate Boiling, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 2004; 2: 140–148.
8. Popova E. V., Khafizov Sh. F., Gritsay G. M., Gazizov A. M. Research on the thermal impact on steel structures of tanks in case of fire. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6th International Scientific Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development, AGRITECH-VI 2021. Krasnoyarsk. 2022*, 981 (3). (rus).
9. Khusnutdinova S. M., Hafizov F. S., Hafizov I. F. Determination of the specific mass rate of burnout of multicomponent petroleum products. *Occupational safety in industry*, 2021; 10: 49–52. (rus).

Информация об авторах

Хафизов Ильдар Фанилевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, профессор, отделение наук о Земле и нефтегазовых технологий, Академия наук Республики Башкортостан, Россия, 450008, г. Уфа, ул. Кирова, д. 15
РИНЦ ID: 465802; Scopus Author ID: 7003537835; Researcher ID: 0; ORCID: 0;
e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Яхи Абдеслам, аспирант кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1 РИНЦ ID: -; Scopus Author ID: -; Researcher ID: -; ORCID: -;
e-mail: abdobac2011@hotmail.fr

Попова Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия, 450064, Республика Башкортостан,

Information about the authors

Ildar F. Khafizov, Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department "Fire and Industrial Safety", Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Kosmonavtovstr., 1, 450064, Republic of Bashkortostan, Russian Federation; Professor, Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Russia, 450008, Ufa, Kirovastr., 15. ID RISC: 465802; Scopus Author ID: 7003537835; Researcher ID: 0; ORCID: 0;
e-mail: fanil150656@mail.ru

Ahi Abdeslam, Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Kosmonavtovstr., 1, 450064, Republic of Bashkortostan, Russian Federation;
e-mail: abdobac2011@hotmail.fr

Elena V. Popova, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department "Fire and Industrial Safety", Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Kosmonavtovstr., 1, 450064, Republic of

г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,
РИНЦИД:633418; Scopus Author ID:
8713389800; Researcher ID: 0; ORCID:0009-
0001-0809-2937;
e-mail: evpopova10@yandex.ru

Хафизов Фаниль Шамильевич, доктор
технических наук, профессор, заведую-
щий кафедрой пожарной и промышлен-
ной безопасности, Уфимский государ-
ственный нефтяной технический универ-
ситет, Россия, 450064, Республика Баш-
кортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
РИНЦИД:465802; Scopus Author ID:
7003537835; Researcher ID: 0;
ORCID: 0;
e-mail: fanil150656@mail.ru

Bashkortostan, Russian Federation; ID
RISC633418; Scopus Author ID:
8713389800; Researcher ID:
0;ORCID:0009-0001-0809-2937;
e-mail: evpopova10@yandex.ru

Fanil Sh. Khafizov, Dr. Sci. (Eng.), Professor
Head of the Department "Fire and Indus-
trial Safety", Ufa State Petroleum Techno-
logical University (USPTU), Ufa, Kos-
monavtovstr.,1, 450064, Republic of Bash-
kortostan, Russian Federation; ID RISC:
465802; Scopus Author ID: 7003537835;
Researcher ID: 0;ORCID: 0;
e-mail: fanil150656@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS

УДК 614.84.31; 311:614.84

ПОЖАРЫ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА НЕФТЕГАЗОПРОВОДАХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА ПЕРИОД С 2013 Г. ПО 2022 Г.**Фирсов Александр Георгиевич, Надточий Олег Витальевич, Сибирко Виталий Иванович, Арсланов Артём Минирович**

Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Московская область, Россия

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена исследованию пожаров и чрезвычайных ситуаций на нефтегазопроводах. В статье дан обзор существующих классификаций и видов нефтегазопроводов, материалов, из которых они изготовлены, факторов, влияющих на возможные аварии на нефтегазопроводах, и пожарной опасности транспортируемого продукта. Приведены статистические данные, характеризующие протяженность нефтегазопроводов и объем транспортируемого ими сырья. Осуществлен анализ статистики пожаров и чрезвычайных ситуаций на нефтегазопроводах, исследована динамика их распределения по годам за период 2013–2022 гг., рассмотрены основные причины возникновения пожаров и чрезвычайных ситуаций. На основе полученных в ходе исследований статистических данных осуществлен расчет консолидированного риска возникновения пожаров и чрезвычайных ситуаций и консолидированного риска угрозы жизни и здоровью людей в случае пожара или чрезвычайной ситуации на нефтегазопроводах. Авторами с целью иллюстрации проведенных исследований приведены примеры с кратким описанием наиболее значимых пожаров и чрезвычайных ситуаций, произошедших на нефтегазопроводах. Также рассмотрено использование сил и средств МЧС России и в целом РСЧС для тушения пожаров и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на нефтегазопроводах. Результаты исследований позволят минимизировать риски возникновения аварий и риски угрозы жизни и здоровью людей при пожарах и чрезвычайных ситуациях на нефтегазопроводах.

Ключевые слова: нефтегазопровод, пожар, чрезвычайная ситуация, силы и средства, риск возникновения чрезвычайной ситуации и пожара, риск угрозы жизни и здоровью людей, причина возникновения пожара и чрезвычайной ситуации

FIRES AND EMERGENCIES ON OIL AND GAS PIPELINES ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR THE PERIOD FROM 2013 TO 2022**Aleksandr G. Firsov, Oleg V. Nadtochiy, Vitaliy I. Sibirko, Artem M. Arslanov**

All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha, Russian Federation

ABSTRACT

This work is devoted to the study of fires and emergencies on oil and gas pipelines. The article provides an overview of the existing classifications and types of oil and gas pipelines, the materials from which they are made, the factors affecting possible accidents on oil and gas pipelines and the fire hazard of the transported product. Statistical data characterizing the length of oil and gas pipelines and the volume of raw materials transported by them are given. The analysis of statistics of fires and emergencies on oil and gas pipelines was carried out, the dynamics of their distribution by year for the period 2013-2022 was studied, the main causes of fires and emergencies were considered. On the basis of the statistical data obtained in the course of the research, the calculation of the consolidated risk of fires and emergencies and the consolidated risk of a threat to human life and health in the event of a fire or an emergency on oil and gas pipelines was carried out. In order to illustrate the research, the authors provide examples with a brief description of the most significant fires and emergencies that occurred on oil and gas pipelines. The use of the forces and means of the Ministry of Emergency Situations of Russia and the RSChS as a whole for extinguishing fires and eliminating the consequences of emergencies on oil and gas pipelines was also considered. The results of the research will minimize the risks of accidents and the risks of threats to human life and health in case of fires and emergencies on oil and gas pipelines.

Keywords: oil and gas pipeline, fire, emergency, forces and means, risk of emergency and fire, risk of threat to life and health of people, cause of fire and emergency

Введение

Система трубопроводов является важным элементом транспортной инфраструктуры Российской Федерации. Один из основных видов транспортируемых ею сегодня грузов – это ископаемые углеводороды (нефть и газ). Трубопроводы классифицируют в зависимости от транспортируемого вещества, материала из которого они изготовлены, рабочих параметров, агрессивности среды и способа их прокладки [1]. Трубопроводы, перекачивающие углеводороды, по своей значимости делятся на следующие виды: промышленные, магистральные, технологические, распределительные и коммунальные. По виду транспортируемого продукта они распределяются на нефтепроводы, нефтепродуктопроводы и газопроводы [2].

По данным Росстата протяженность магистральных нефтепроводов и газопроводов (далее нефтегазопроводы) в 2021 г. составила более 256 тыс. км [3]. Это более

чем в 2 раза больше, чем протяженность всех железнодорожных путей в Российской Федерации (122 тыс. км.). На сегодняшний день протяженность нитей газопроводов составляет 185 тыс. км, нефтепроводов – 54 тыс. км, а нефтепродуктопроводов – 17 тыс. км. Прирост транспортируемого газа в 2021 г., по сравнению с 2000 г., составил 12,4 %, а нефтяных грузов – 78,3 %. В целом из года в год отмечается увеличение протяженности магистральных нефтегазопроводов и объема транспортируемой продукции. Исключением стал 2020 г. когда существенно снизились объемы транспортируемой продукции и, соответственно, дополнительный ввод в эксплуатацию трубопроводов. Это связано с тем, что в период пандемии Covid-19 резко и значительно снизилось потребление углеводородов промышленными предприятиями в международном масштабе практически на год. В табл. 1 приве-

дены основные статистические характеристики эксплуатируемых магистральных нефтегазопроводов.

Таблица 1

Статистические данные, характеризующие протяженность и объем транспортировки углеводородов по магистральным трубопроводам на территории Российской Федерации за период с 2000 по 2021 г.

Table 1

Statistical data characterizing the length and volume of transportation of hydrocarbons through trunk pipelines in the territory of the Russian Federation for the period from 2000 to 2021

| Наименование показателя Indicator name | 2000 г. | 2010 г. | 2019 г. | 2020 г. | 2021 г. |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Протяженность трубопроводов (тыс. км) Length of pipelines (thousand km) | | | | | |
| Магистральные трубопроводы, в т. ч.: Main pipelines, incl.: | 215 | 233 | 252 | 254 | 256 |
| газопроводы gas pipelines | 152 | 167 | 182 | 184 | 185 |
| нефтепроводы oil pipelines | 48 | 49 | 53 | 53 | 54 |
| нефтепродуктопроводы petroleum products pipelines | 15 | 16 | 17 | 17 | 17 |
| Введено в эксплуатацию (тыс. км) Commissioned (thousand km) | | | | | |
| Газопроводы магистральные и отводы Main gas pipelines and branches | 2,0 | 2,0 | 1,3 | 1,0 | 2,1 |
| Нефтепроводы магистральные и нефтепродуктопроводы магистральные региональные Main oil pipelines and petroleum products pipelines regional trunk pipelines | 0,7 | 1,2 | 0,7 | 0,2 | 0,2 |
| Транспортировка грузов по магистральным трубопроводам (млн т) Transportation of goods through trunk pipelines (million tons) | | | | | |
| Газ Gas | 511,2 | 536,6 | 550,9 | 511,6 | 574,6 |
| Нефтяные грузы, в т. ч.: Oil cargoes, incl.: | 317,8 | 524,9 | 608,2 | 549,8 | 566,7 |
| нефть petroleum | 294,6 | 491,7 | 567,7 | 509,5 | 523,9 |
| нефтепродукты petroleum products | 23,1 | 33,2 | 40,5 | 40,4 | 42,9 |

Россия занимает второе место в мире по количеству и протяженности нефтегазопроводов. Они получили свое широкое распространение в связи с тем,

что, в отличие от автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, по ним могут безостановочно в круглосуточном режиме транспортироваться углеводороды в больших объемах на значительные расстояния. Сегодня в России функционируют три нефтепровода и четыре газопровода. Крупнейший в мире на сегодняшний день нефтепровод – это

«Дружба» (5 116 км), который проходит через Литву, Латвию, Германию, Польшу, Республику Беларусь, Венгрию, Словакию, Чехию и Украину. А также газопровод «Голубой поток», соединяющий Турцию и Россию по дну Черного моря (1 213 км). На рис. 1 представлены карты со схемой расположения основных артерий магистральных нефтегазопроводов.

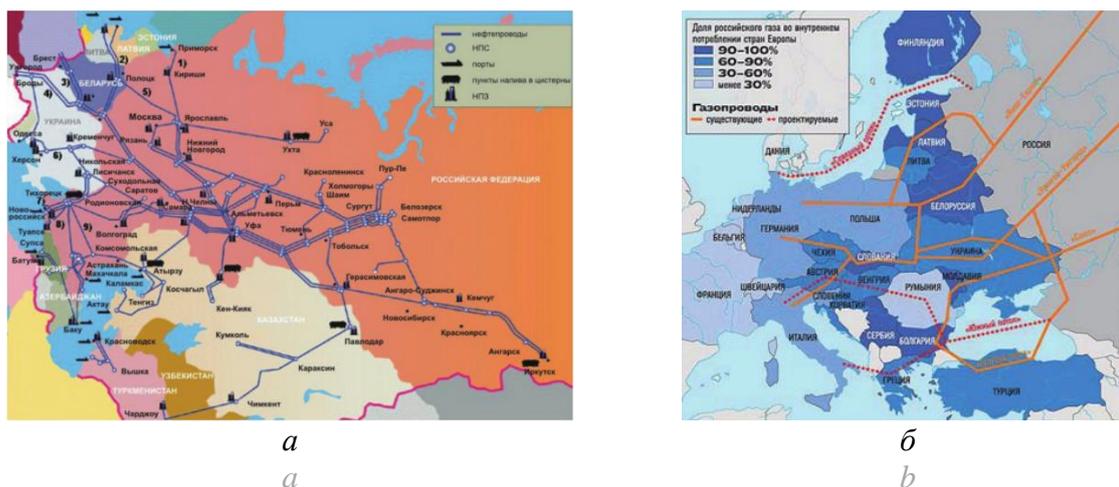


Рис. 1. Схема основных магистральных нефтепроводов (а) и газопроводов (б) на территории Российской Федерации

Fig. 1. Scheme of the main main oil pipelines (a) and gas pipelines (b) on the territory of the Russian Federation

Нефтегазопроводная сеть – это самый сложный дорогостоящий технологический комплекс, требующий к себе особого внимания и соответствующего контроля. Сеть оборудуется установками для осушения и одоризации газа, распределительными и перекачивающими станциями. На работу нефтегазопроводной сети оказывает влияние ряд внутренних и внешних факторов: температура окружающей среды, температура и степень агрессивности транспортируемого материала, наличие теплоизоляции, тип прокладки труб, давление в системе трубопровода, материал, из которого изготовлен трубопровод, нагрузки теплового удлинения, прочность сварной арматуры и вибрационные нагрузки [4].

Основной материал, из которого сегодня изготавливают нефтегазопроводы,

– это специальная высококлассная углеродистая или высоколегированная сталь. В зависимости от местных климатических условий и вида транспортируемого продукта для изготовления нефтегазопроводов применяется разный состав стали со специально заданными эксплуатационными характеристиками, а также дополнительными изоляционными защитными элементами. Исходя из технологии изготовления, трубопроводы делятся на бесшовные и сварные. Использование современных технологий в промышленности позволяет сегодня изготавливать стальные трубы большого диаметра со специальным внутренним изоляционным покрытием, устойчивым к воздействию коррозии. Такими изоляционными мате-

риалами являются: резина, эбонит, фторопласт, полиэтилен, а также различные стеклянные эмали.

В последнее время набирают популярность трубопроводы, изготовленные из различных полимеров. Они значительно легче, экономичнее и долговечнее стальных трубопроводов, не подвержены коррозионным воздействиям, просты в обработке и монтаже, а также сохраняют необходимые эксплуатационные характеристики, эластичность и одновременно требуемый уровень жесткости. Однако такие трубопроводы не используются для транспортирования вредных веществ 1-го класса опасности, взрывоопасных веществ и сжиженных углеводородных газов. Сегодня помимо трубопроводов даже допускается изготовление эластичных полимерных резервуаров для хранения ряда нефтепродуктов. Наряду с неоспоримыми преимуществами существуют и недостатки – это горючесть полимерных трубопроводов и недостаточные прочностные характеристики [5].

Еще один материал, используемый сегодня для изготовления трубопроводов, – это композитный материал, объединивший в себе лучшие эксплуатационные характеристики металлических и полимерных труб. Нефтегазопровод из композитного материала имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоев различных материалов, обеспечивающих одновременно высокую термостойкость, прочность, стойкость к коррозии и пропускную способность [6].

Основная часть

Нефтегазопроводные сети являются важными объектами экономики. Учитывая, что нефтегазопроводы транспортируют большие объемы потенциально опасных углеводородов в разных климатических условиях и при разных технологических условиях транспортировки (например, сорт парафинистой нефти для

ее транспортировки подогревается до 50 °С, а бутан, наоборот, охлаждается до 48 °С), к ним предъявляются определенные требования по обеспечению безопасности и надежности [7, 8], в т. ч. и по обеспечению пожарной безопасности. Пожарная опасность нефтегазопроводов обусловлена наличием транспортируемой пожароопасной продукции. Пожароопасные свойства природного газа, нефти и нефтепродуктов достаточно хорошо изучены [9, 10], что позволяет создавать более безопасные в эксплуатации и в техническом обслуживании нефтегазопроводные сети. За весь период с 2013 по 2022 гг. на всех видах нефтегазопроводов произошло 52 чрезвычайные ситуации (далее – ЧС) [11] и 137 пожаров [12]. Причем надо отметить, что не каждая технологическая авария на нефтегазопроводе приводит к пожару или ЧС (должна соответствовать определенным критериям отнесения к ЧС [13]). В среднем за 10 лет (в период с 2013 по 2022 гг.) ежегодно регистрировалось порядка 2,2 пожаров на нефтепроводах и 11,5 на газопроводах. Количество ЧС на нефтегазопроводах значительно меньше и составляет от 1,5 ед. на нефтепроводах и до 3,7 ед. на газопроводах в год. Среднее консолидированное число пожаров и ЧС за рассматриваемый период составляет 18,9 ед. в год.

Рис. 2 отражает распределение общего количества зарегистрированных пожаров и ЧС на нефтегазопроводах за период с 2013 по 2022 гг. На графике в интервале 2013–2017 гг. отмечается тенденция снижения консолидированного количества пожаров и ЧС, а с 2018 г. наблюдается рост значений. В 2022 г. зафиксировано снижение количества пожаров и ЧС на нефтегазопроводах, и их количество стало сопоставимо с 2017 г. Распределения количества пожаров и ЧС на газопроводах и нефтепроводах, приведенные на рис. 3, цикличны и в целом схожи.

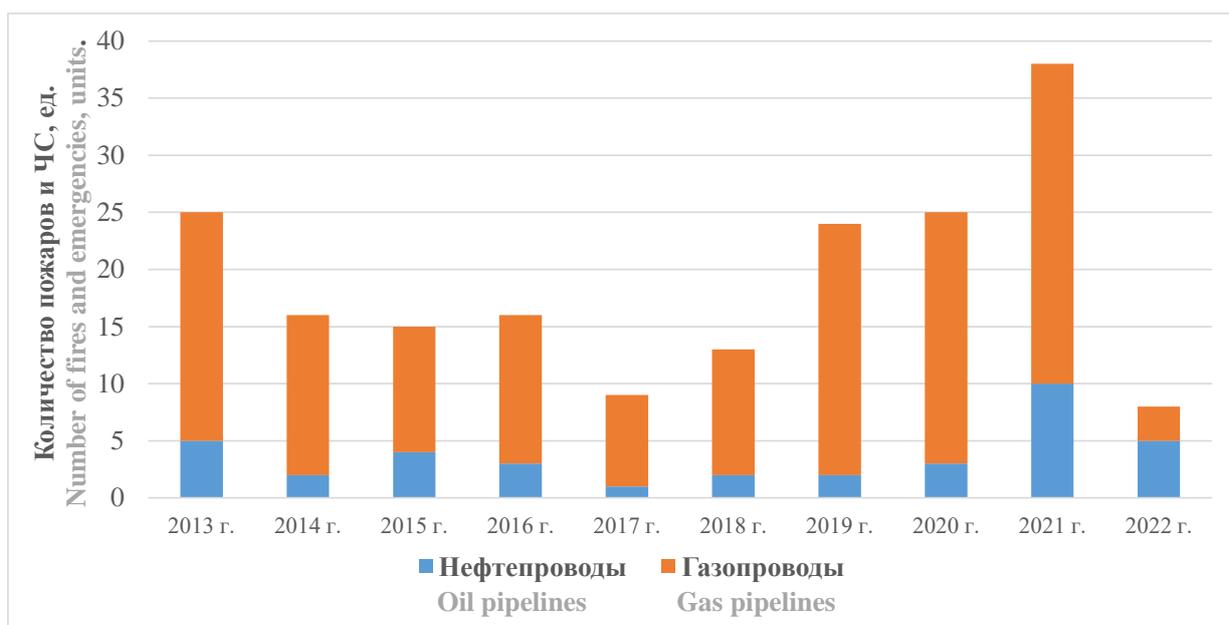


Рис. 2. Распределение консолидированного количества пожаров и ЧС на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

Fig. 2. Distribution of the consolidated number of fires and emergencies on oil and gas pipelines for the period from 2013 to 2022

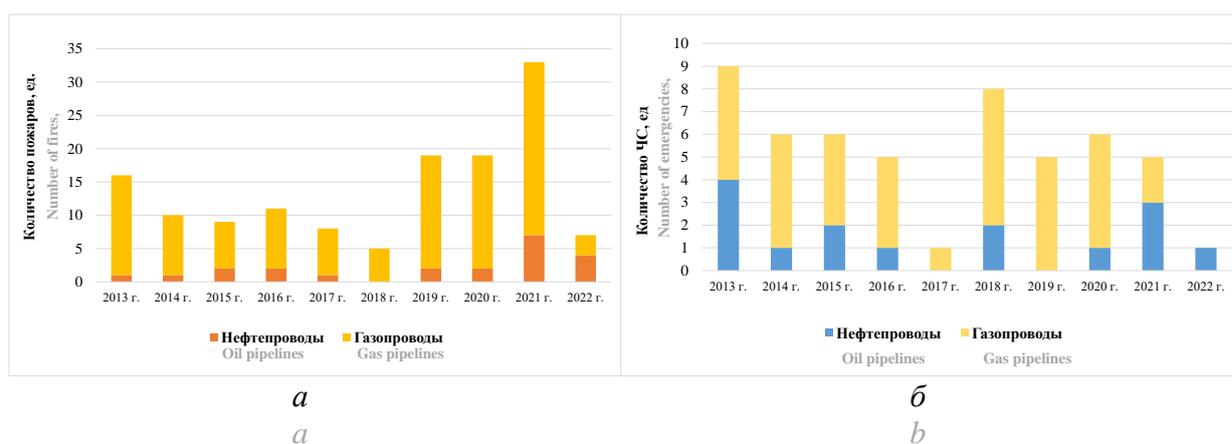


Рис. 3. Распределение количества пожаров (а) и чрезвычайных ситуаций (б) на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

Fig. 3. Distribution of the number of fires (a) and emergencies (b) on oil and gas pipelines for the period from 2013 to 2022.

В работах [14–17] проанализированы возможные причины возникновения аварий на нефтегазопроводных сетях. Лидирующими причинами пожаров на газопроводах в период с 2013 по 2022 гг. стали в основном «прочие причины»:

- связанные с неосторожным обращением с огнем – 11,3 %;
- связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации газового оборудования – 11,3 %;
- не относящиеся ни к одной из групп – 10,4 %.

Меньше всего пожаров на газопроводах связано с такими причинами как:

- нарушение правил монтажа электрооборудования – 0,9 %;
- нарушение правил техники эксплуатации электрооборудования – 0,9 %;
- шалость с огнем детей – 0,9 %;
- прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и устройств, – 0,9 %.

Для пожаров на нефтепроводах наиболее характерны такие причины возникновения, как самовозгорание веществ и материалов – 18,2 %, неустановленные причины – 18,2 %, прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп, – 18,2 %.

Меньше всего пожаров на нефтепроводах зарегистрировано по причинам:

- нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ – 4,5 %;
- поджог – 4,5 %;
- взрыв – 4,5 %;
- прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем, – 4,5 %.

Более полная структура основных причин пожаров на газопроводах и нефтепроводах за 2013–2022 гг. представлена в табл. 2.

Таблица 2

Структура основных причин возникновения пожаров на нефтегазопроводах за 2013 – 2022 гг.

Table 2

Structure of the main causes of fires on oil and gas pipelines for 2013 – 2022

| № п/п No p/n | Наименование причины Name of the reason | Газопроводы Gas pipelines | | Нефтепроводы Oil pipelines | |
|-----------------|---|--|------------------|--|------------------|
| | | количество пожаров, ед. number of fires, units. | Доля, % share, % | количество пожаров, ед. number of fires, units. | Доля, % share, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Нарушение правил монтажа электрооборудования Violation of the rules for the installation of electrical equipment | 1 | 0,9 | 0 | 0,0 |

| | | | | | |
|----|--|---|-----|---|------|
| 2 | Нарушение правил техники эксплуатации электрооборудования Violation of the rules of engineering for the operation of electrical equipment | 1 | 0,9 | 0 | 0,0 |
| 3 | Шалость с огнем детей Prank with the fire of children | 1 | 0,9 | 0 | 0,0 |
| 4 | Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и устройств Other reasons related to violation of the rules for the design and operation of heat-generating units and devices | 1 | 0,9 | 0 | 0,0 |
| 5 | Нарушение правил пожарной безопасности при эксплуатации газового оборудования Violation of fire safety rules during the operation of gas equipment | 2 | 1,7 | 0 | 0,0 |
| 6 | Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования Lack of design and manufacture of electrical equipment | 2 | 1,7 | 0 | 0,0 |
| 7 | Недостаток конструкции, изготовления и монтажа производственного оборудования Lack of design, manufacture and installation of production equipment | 4 | 3,5 | 0 | 0,0 |
| 8 | Нарушение технологического регламента процесса производства Violation of the technological regulations of the production process | 2 | 1,7 | 2 | 9,1 |
| 9 | Недостаток конструкции и изготовления газового оборудования Lack of design and manufacture of gas equipment | 3 | 2,6 | 0 | 0,0 |
| 10 | Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования Other reasons related to violation of the rules for the design and operation of electrical equipment | 3 | 2,6 | 2 | 9,1 |
| 11 | Разряд статического электричества Discharge of static electricity | 5 | 4,3 | 0 | 0,0 |
| 12 | Нарушение правил пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ Violation of fire safety rules during electric and gas welding works | 5 | 4,3 | 1 | 4,5 |
| 13 | Поджог Arson | 6 | 5,2 | 1 | 4,5 |
| 14 | Взрыв Explosion | 6 | 5,2 | 1 | 4,5 |
| 15 | Неосторожность при курении Carelessness when smoking | 7 | 6,1 | 0 | 0,0 |
| 16 | Неустановленные причины Unspecified causes | 4 | 3,5 | 4 | 18,2 |
| 17 | Грозовые разряды Lightning discharges | 9 | 7,8 | 0 | 0,0 |

| | | | | | |
|-----------------------|--|-----|------|----|------|
| 18 | Прочие причины, связанные с неисправностью производственного оборудования, нарушением технологического процесса производства Other causes associated with malfunction of production equipment, disruption of the production process | 7 | 6,1 | 2 | 9,1 |
| 19 | Самовозгорание веществ и материалов Spontaneous combustion of substances and materials | 8 | 7,0 | 4 | 18,2 |
| 20 | Прочие причины, связанные с нарушением правил устройства и эксплуатации газового оборудования Other reasons related to violation of the rules for the design and operation of gas equipment | 13 | 11,3 | 0 | 0,0 |
| 21 | Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем Other causes associated with careless handling of fire | 13 | 11,3 | 1 | 4,5 |
| 22 | Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп Other reasons that do not belong to any of the groups | 12 | 10,4 | 4 | 18,2 |
| Всего: Altogether: | | 115 | 100 | 22 | 100 |

Основные причины возникновения ЧС на нефтегазопроводах за период с 2013 по 2022 гг. приведены в табл. 3. Наиболее распространенная причина ЧС на газопроводах – это порыв магистрального газопровода – 37,8 %, пожар (взрыв) магистрального газопровода – 24,3 %. Наименьшее количество ЧС связано с прорывом магистрального газопровода – 8,1 %.

Самая распространенная причина возникновения ЧС на нефтепроводах – это разгерметизация магистральных нефтепроводов – 40 %. Наименьшее количество ЧС на магистральных нефтепроводах составляют: несанкционированные врезки – 6,7 %, повреждение трубопровода – 6,7 %, пожар (взрыв) – 6,7 %, прорыв нефтепровода – 6,7 %.

Риск возникновения пожара и ЧС на нефтегазопроводах возможно рассчитать по формуле:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^T K_{\text{пож, ЧС } i}^j}{L_{\text{ср тр } i} \cdot T}, \quad (1)$$

где R_i – риск возникновения пожара и ЧС в расчете на 1 тыс. км трубопроводов i -го вида в год, рассчитанный за период времени T , ед./(тыс. км · год);

$i = 1$ – газопровод, $i = 2$ – нефтепровод;

T – количество лет, за которые проводится расчет значений,

$K_{\text{пож, ЧС } i}^j$ – количество пожаров и ЧС на трубопроводах i -го вида за j -й год, ед.;

$L_{\text{ср тр } i}$ – средняя длина трубопроводов i -го вида за год, рассчитанная за период времени T , тыс. км/год.

В результате проведенного расчета по формуле (1) при $T = 10$ (2013–2022 гг.) консолидированный риск возникновения пожаров и ЧС на нефтепроводах за год составил 0,054 ед. на 1 тыс. км трубопровода, а на газопроводах риск возникновения пожаров и ЧС составил 0,083 ед. в расчете на 1 тыс. км трубопровода.

Несмотря на низкий риск возникновения пожаров и ЧС на нефтегазопроводах за весь период с 2013 по 2022 гг., при пожарах на газопроводах погиб 1 чел. и травмировано 32 чел. При пожарах на нефтепроводах гибель людей не зарегистрирована и количество травмированных людей составило 9 чел. Погибших людей при ЧС, произошедших на нефтегазопроводах, не зарегистрировано. Количество пострадавших людей при ЧС на газопроводах составило 12 чел., а на нефтепроводах –

Таблица 3

Структура основных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на нефтегазопроводах за 2013 – 2022 гг.

Table 3

Structure of the main causes of emergencies on oil and gas pipelines for 2013 – 2022

| № п/п No p/n | Наименование причины Name of the reason | Газопроводы Gas pipelines | | | | Нефтепроводы Oil pipelines | | | |
|-----------------------|---|---------------------------------------|--|-----------------------------|---------------------|---|--|-----------------------------|---------------------|
| | | коммунальные, ед. communal, units. | магистральные, ед. mainline, units. | всего, ед. total, units. | Доля, % share, % | внутрипромысловые, ед. intra-field, units. | магистральные, ед. mainline, units. | всего, ед. total, units. | Доля, % share, % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Авария, связанная с неисправностью на газораспределительной подстанции (скачек давления газа) Accident associated with a malfunction at a gas distribution substation (gas pressure jumps) | 1 | 0 | 1 | 2,8 | 0 | 0 | 0 | 0,0 |
| 2 | Прочие аварии Other accidents | 2 | 3 | 5 | 13,9 | 0 | 3 | 3 | 20,0 |
| 3 | Несанкционированная врезка Unauthorized tie-in | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 0 | 1 | 1 | 6,7 |
| 4 | Повреждение Damage | 0 | - | 0 | 0,0 | 0 | 1 | 1 | 6,7 |
| 5 | Пожар (взрыв) Fire (explosion) | 0 | 9 | 9 | 25,0 | 0 | 1 | 1 | 6,7 |
| 6 | Порыв Impulse | 0 | 14 | 14 | 38,9 | 1 | 1 | 2 | 13,3 |
| 7 | Прорыв Breach | 0 | 3 | 3 | 8,3 | 0 | 1 | 1 | 6,7 |
| 8 | Разгерметизация Depressurization | 0 | 5 | 5 | 13,9 | 1 | 5 | 6 | 40,0 |
| Всего: Altogether: | | 3 | 34 | 37 | 100,0 | 2 | 13 | 15 | 100,0 |

0 чел. Риск угрозы жизни и здоровью людей на одном пожаре или ЧС возможно рассчитать по формуле:

$$R_{\text{нас } i} = \frac{\sum_{j=1}^T P_{\text{нас } \text{пож, ЧС } i}^j}{\sum_{j=1}^T K_{\text{пож, ЧС } i}^j}, \quad (2)$$

где $R_{нас\ i}$ – риск угрозы жизни и здоровью людей на одном пожаре или ЧС, рассчитанный за период времени T , чел.,

$P_{нас\ пож, ЧС\ i}^j$ – количество погибших и травмированных людей на пожарах, погибших и пострадавших людей на ЧС на трубопроводах i -го вида за j -й год, чел.

Проведенные расчеты по формуле (2) показали, что консолидированный риск угрозы жизни и здоровью людей на пожаре или ЧС на нефтепроводах за последние 10 лет составил 0,243 ед. на один пожар или ЧС, а на газопроводах – 0,296 ед. После определения средних консолидированных рисков возникновения пожара и ЧС на нефтегазопроводах и угрозы жизни и здоровью людей на одном пожаре или ЧС в целом по России можно определить риск возникновения пожара и ЧС и риск угрозы жизни и здоровью людей на одном пожаре или ЧС на отдельно взятом участке нефтегазопровода.

Для оценки уровня обеспечения безопасности отдельного участка нефтегазопровода можно рассчитать величину риска возникновения пожара или ЧС, а также риск угрозы жизни и здоровью людей по следующим формулам:

$$R_{уч\ i} = \frac{\sum_{j=1}^M K_{уч\ пож, ЧС\ i}^j}{L_{уч\ ср\ тр\ i} \cdot M}, \quad (3)$$

$$R_{уч\ нас\ i} = \frac{\sum_{j=1}^M P_{уч\ нас\ пож, ЧС\ i}^j}{\sum_{j=1}^M K_{уч\ пож, ЧС\ i}^j}, \quad (4)$$

где $R_{уч\ i}$ – риск возникновения пожара или ЧС на определенном участке трубопровода i -го вида за год, рассчитанный по данным за период времени M , ед./(тыс. км·год), $i = 1..2$,

M – количество лет, за которые проводится расчет значений;

$K_{уч\ пож, ЧС\ i}^j$ – количество пожаров и ЧС на определенном участке трубопровода i -го вида за j -й год, ед.;

$L_{уч\ ср\ тр\ i}$ – средняя длина определенного участка трубопроводов i -го вида

за год, рассчитанная за период времени M , тыс. км/год;

$R_{уч\ нас\ i}$ – риск угрозы жизни и здоровью людей при пожаре или ЧС на определенном участке трубопровода i -го вида, рассчитанный за период времени T , чел., $i = 1..2$;

$P_{уч\ нас\ пож, ЧС\ i}^j$ – количество погибших и травмированных людей на пожарах, погибших и пострадавших людей на ЧС на определенном участке трубопровода i -го вида за j -й год, чел.

Тогда, если:

– величина $R_{уч\ i}$ превысит R_i ($R_{уч\ i} > R_i$), то необходимо повышение уровня безопасности соответствующего участка трубопровода путем разработки соответствующих мер или компенсирующих мероприятий, направленных на снижение риска и соответственно на предотвращение возникновения пожара или ЧС на данном участке;

– величина $R_{уч\ нас\ i}$ превысит $R_{нас\ i}$ ($R_{уч\ нас\ i} > R_{нас\ i}$), то необходимо повышение уровня безопасности соответствующего участка трубопровода в части разработки необходимых мер, направленных на предотвращение гибели или травмирования людей в результате возможного пожара или ЧС на данном участке трубопровода.

Для оценки уровня обеспечения безопасности отдельного участка возможно вместо расчетных величин R_i и $R_{нас\ i}$, рассчитываемых по формулам (1) и (2), использовать величины допустимого риска возникновения пожара или ЧС $R_{доп\ i}$ и допустимого риска угрозы жизни и здоровью людей $R_{доп\ нас\ i}$ соответственно. Однако в силу уже существующих низких значений риска возникновения пожара и ЧС и риска угрозы жизни и здоровью людей допустимые значения указанных рисков на определены. Для определения величин допустимого риска $R_{доп\ i}$ и $R_{доп\ нас\ i}$ необходимо проведение дополнительных

более глубоких исследований с использованием более репрезентативного статистического ряда данных.

На ликвидацию последствий ЧС и пожаров, как правило, затрачиваются значительные силы и средства МЧС России и в целом РСЧС (рис. 4). Так, на ликвидацию ЧС на газопроводах ежегодно в среднем привлекается 161 ед. различной пожарно-спасательной техники и порядка 45 чел. личного состава. А для ликвидации последствий ЧС на нефтепроводах в среднем привлекается в 1,5–2 раза больше сил и средств: 226 ед. пожарно-спасательной техники и до 80 чел. личного состава.

Для тушения пожаров на нефтепроводах ежегодно в среднем привлекается 9 ед. пожарной техники, а для ликвидации пожаров на различных системах газопроводов – 33 ед. При этом количество сил, привлеченных для тушения пожаров на нефтегазопроводах, в федеральной базе данных «Пожары» [18, 19] не фиксируется. Однако, исходя из тактико-технических характеристик основной и специальной пожарной техники, возможно с большой долей вероятности рассчитать количество личного состава подразделений МЧС России, участвовавшего в тушении пожара. Таким образом, полученные расчетным путем данные о силах пожарно-спасательных подразделений (рис. 4 в) показывают, что в тушении пожаров на газопроводах в среднем ежегодно задействуется 167 чел., а нефтепроводов – 51 чел. личного состава пожарных подразделений. В целом количество сил и средств пожарных подразделений, участвующих в тушении пожара на газопроводах, в три раза больше, чем при тушении пожаров на нефтепроводах.

Сравнение статистических данных на рис. 3 и 4 показывает, что распределение сил и средств, задействованных в лик-

видации последствий ЧС и тушении пожаров на нефтегазопроводах, имеет четкую зависимость от количества пожаров и ЧС за исследуемый временной период и соответствует динамике распределения числовых значений количества пожаров и ЧС. Однако наибольшее количество сил и средств, задействованных в ликвидации пожаров и ЧС, как правило, отмечается на крупных авариях и сложных в оперативном отношении действиях пожарных и спасательных подразделений. По мнению авторов, к такой категории ЧС и пожаров в период 2013–2022 гг. относятся следующие аварии на нефтегазопроводах, перечисленные в хронологическом порядке:

– 27.01.2013, 16:32, Ростовская область, Чертковский район. Порыв внутрипромыслового нефтепровода Самара – Лисичанск (диаметр 1220 мм). В результате аварии произошел розлив сырой нефти на площади 2 га объемом 49 м³. Масштаб: локальная ЧС. Для ликвидации последствий ЧС задействовано 46 ед. техники и 135 чел. личного состава РСЧС;

– 01.09.2013, 14:30, Волгоградская область, Алексеевский район. На магистральном нефтепроводе Самара – Лисичанск (диаметр 1200 мм) произошел розлив нефтепродуктов. Масштаб: локальная ЧС. Задействованы 141 ед. техники и 220 чел. сил РСЧС. Ущерб от ЧС составил более 85 млн руб.;

– 16.11.2014, 19:00, г. Москва. В результате неисправности на газораспределительной подстанции (скачок давления газа) произошло возгорание в 15 квартирах 11 жилых домов. Масштаб: локальная ЧС. В ликвидации участвовало порядка 86 ед. техники и 432 чел. личного состава РСЧС. Ущерб от ЧС – более 57 млн руб., пострадало 12 чел., спасено 12 чел.;

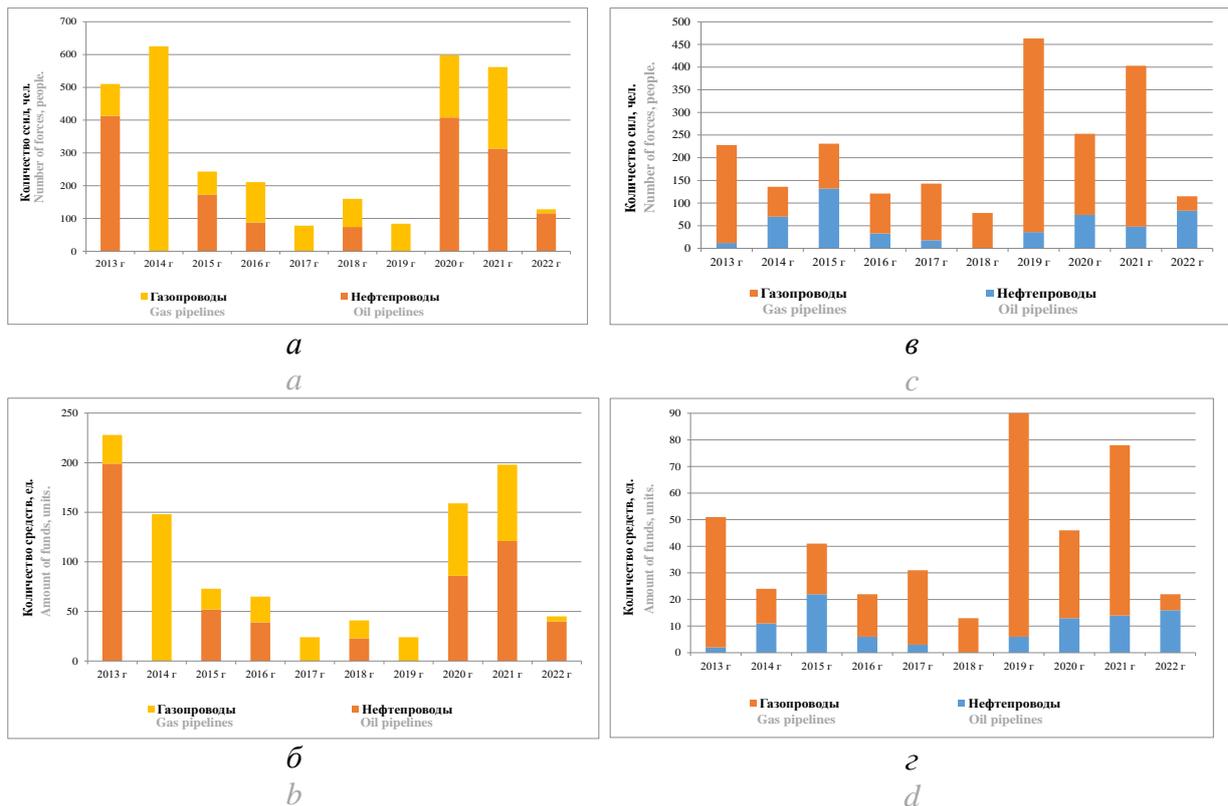


Рис. 4. Распределение количества сил (а) и средств (б), задействованных в ликвидации чрезвычайных ситуаций, и количества сил (в) и средств (г), задействованных в тушении пожаров на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

Fig. 4. Distribution of the number of forces (a) and means (b) involved in the elimination of emergency situations, and the number of forces (c) and means (d) involved in extinguishing fires on oil and gas pipelines for the period from 2013 to 2022

– 19.08.2015, 04:45, Пермский край, Большесосновский район. Разгерметизация магистрального нефтепровода УРНУ «Транснефть» Сургут – Полоцк (диаметр 1200 мм) с последующим возгоранием. Масштаб: локальная ЧС. В ликвидации ЧС участвовало 38 ед. средств и 113 чел. сил РСЧС;

– 19.08.2015, 06:24, Пермский край, Очерский район, Павловское городское поселение. Нефтепровод Холмогоры – Клин, 1 572 км, НПС «Б. Соснова» УРНУ. Причина пожара – нарушение технологического регламента процесса производства. В тушении участвовали 20 ед. основной и специальной пожарной техники, подано 6 пожарных стволов. Создан оперативный штаб пожаротушения.

Пострадавших нет. В результате пожара повреждено 4 м³ площади;

– 20.06.2016, 03:20, Свердловская область, г. Ивдель. Авария на 1203 км. магистрального газопровода Ямбург – Елец 1 (диаметр 1420 мм) с дальнейшим возгоранием. Масштаб: муниципальная ЧС. Задействовано 26 ед. техники и 123 чел. сил РСЧС. Ущерб от ЧС составил более 1,7 млн руб.;

– 11.07.2019, 11:07, Московская область, городской округ Мытищи. Пожар на подземном газопроводе. Причина пожара – взрыв. В тушении участвовали 42 ед. основной и специальной пожарной техники, подано 17 пожарных стволов. Создан оперативный штаб пожаротушения. На пожаре погиб 1 чел., получили травму – 10 чел. В результате пожара

уничтожено 3 здания (сооружения) и повреждено 6 зданий (сооружений), уничтожено 50 м³ и повреждено 1500 м³ площади, повреждено 44 ед. автотранспортной техники;

– 13.07.2020, 05:10, Хабаровский край, Комсомольский район. Прорыв магистрального нефтепровода Оха – Комсомольск-на-Амуре с последующим розливом нефтепродуктов массой 120 т. Масштаб: муниципальная ЧС. К ликвидации ЧС привлекалось 67 ед. техники и 343 чел. личного состава подразделений РСЧС. Ущерб от ЧС – 500 млн руб.;

– 23.02.2021, 08:40, Оренбургская область, Илекский район. Разгерметизация двух магистральных газопроводов «Союз» и Оренбург – Новопсков с последующим факельным горением, нарушено газоснабжение у потребителей. Масштаб: межмуниципальная ЧС. Использовано в ликвидации ЧС 49 ед. различной техники и 162 чел. сил РСЧС. Ущерб от ЧС – более 97 млн руб.;

– 11.05.2021, 22:00, Республика Коми, г. Усинск. В результате разгерметизации внутрипромыслового нефтепровода (диаметр 270 мм) произошел розлив и попадание сырой нефти в акваторию реки Колва (водозаборов ниже по течению реки нет). Масштаб: межмуниципальная ЧС. В ликвидации задействовано 55 ед. различной техники и 184 чел. личного состава РСЧС. Ущерб от ЧС составил 0,5 млн руб.

Из анализа приведенной выше информации видно, что на ликвидацию сложных в оперативном плане пожаров и ЧС могут привлекаться достаточно крупные силы и средства МЧС России, а также других профильных министерств, ведомств и крупных компаний. Как видно из приведенной выше статистической информации, на ликвидацию последствий пожаров и ЧС на нефтегазопроводах ежегодно задействуется не менее 429 ед.

техники и 343 чел. личного состава подразделений пожарной охраны и других подразделений, входящих в состав РСЧС. Нередко требуется оперативное перемещение значительных ресурсов, необходимых для ликвидации последствий пожаров и ЧС, на значительные расстояния и в труднодоступные места. Да и само тушение таких пожаров, и ликвидация ЧС сопряжены с определенными рисками и требуют не только наличие специальной техники и средств, но и специальной подготовки пожарных и спасателей. Однако в настоящее время нет четких методических рекомендаций, регламентирующих тушение пожаров и ликвидацию ЧС на нефтегазопроводах. Видимо, это связано с низкими рисками возникновения пожаров и ЧС и причинения вреда жизни и здоровью людей на нефтегазопроводах.

Заключение

Низкие значения консолидированных рисков возникновения пожара и ЧС, а также угрозы жизни и здоровью людей на пожаре или ЧС на нефтегазопроводах, рассчитанные по формулам (1) и (2), связаны с использованием при проектировании, производстве и эксплуатации нефтегазопроводов современных технологий и материалов, качественных методов диагностики и контроля, защиты от целого спектра возможных потенциальных угроз, а также высоким запасом прочности. Таким образом, с одной стороны, присутствует низкий риск возникновения пожаров или ЧС и угрозы жизни и здоровью людей на пожаре или ЧС, что подтверждается приведенными выше статистическими данными, а с другой стороны, по нефтегазопроводам транспортируется опасное в пожарном и экологическом отношении сырье.

По различным оценкам экспертов и специалистов, от 50 % до 70 % трубопроводов требуют соответствующего профилактического и капитального ремонта или

замены, т. к. больше половины сетей были построены еще в советское время. Износ производственного оборудования может привести к технологической аварии на нефтегазопроводе и, как следствие, к пожару и (или) ЧС. Это косвенно подтверждает цикличность и схожесть амплитуд динамики пожаров и ЧС на нефтегазопроводах за последние десять лет, т. е., после очередного восходящего циклического всплеска (три-четыре года) числа пожаров и ЧС на отдельных участках нефтегазопроводов осуществляется соответствующий ремонт изношенных трубопроводов, и далее идет снижение числа пожаров и ЧС. Данная закономерность проверялась авторами и на более ретроспективном статистическом ряде в 15 лет.

Поэтому для дальнейшей минимизации значений рисков возникновения пожара и ЧС и угрозы жизни и здоровью людей на пожаре или ЧС на нефтегазопроводах, в том числе на их отдельных участках, когда $R_{уч i} > R_i$ или $R_{уч нас i} > R_{нас i}$, и поддержания их на одном уровне необходимо:

– провести дополнительные исследования, направленные на определение величины допустимого риска возникновения пожара и ЧС ($R_{доп i}$), а также риска угрозы жизни и здоровью людей на пожаре или ЧС ($R_{доп нас i}$) на нефтегазопроводах;

– осуществлять своевременную замену устаревшего и вышедшего из строя технологического оборудования, в т. ч. замену изношенных трубопроводов;

– использовать при строительстве современные материалы, не подверженные коррозии, а металлические трубопроводы защищать более стойкими к изнашиванию защитными средствами от коррозии;

– чаще проводить профилактические осмотры наиболее опасных в технологическом отношении узлов трубопроводов;

– широко внедрять современные методы диагностики и контроля технического состояния трубопроводов. В т. ч. использовать аэрокосмическую съемку местности, беспилотные летательные аппараты со специальным оборудованием, способным определять утечки и незаконные врезки на глубине до 1 м;

– разработать соответствующие рекомендации по тушению пожаров и ликвидации ЧС на нефтегазопроводах;

– осуществлять регулярную тактическую и психологическую подготовку личного состава подразделений МЧС России (в т. ч. на местности) по тушению возможных пожаров и ликвидации ЧС на нефтегазопроводах. В обучении использовать компьютерное моделирование возможных ситуаций развития технологических аварий на нефтегазопроводах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. StudFiles: сайт. URL: <https://studfile.net/preview/16434474/page:2/> (дата обращения: 29.04.2023).
2. Классификация трубопроводов // Газовик Пайп: сайт. URL: <https://gazovikpipe.ru/klassifikaciya-truboprovodov?ysclid=1h1yrmbihj253067517> (дата обращения: 29.04.2023).
3. Российский статистический ежегодник. 2022: стат.сб // Росстат. М., 2022. 691 с.
4. Трубопровод // Inoxtrade: сайт. URL: <https://inoxtrade.ru/info/blog/truboprovod/> (дата обращения: 29.04.2023).
5. Самигулин Г. Х., Захаров А. Е. Снижение пожарной опасности при хранении нефтепродуктов в полимерных эластичных резервуарах, модифицированных нанокремнеземными компонентами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 148–158.
6. О применении труб из полимерных материалов для промышленных трубопроводов / Д. А. Гулин и др. // Нефтегазовое дело. 2020. Т. 18, № 6. С. 107–115.
7. СП 284.1325800.2016. Трубопроводы промышленные для нефти и газа. Правила проектирования и производства работ // Консорциум «Кодекс»: электронный фонд правовых и нормативно-технических

документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456096925?ysclid=lh1zd6f2by929649613> (дата обращения: 29.04.2023).

8. ГОСТ 32569–2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах // Консорциум «Кодекс»: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111138/titles/7E60KF?ysclid=lh1ygsyjdo520844857> (дата обращения: 29.04.2023).

9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. в 2-х кн. / А. Н. Баратов и др. М., 1990. Кн. 1. 496 с.

10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. в 2-х кн. / А. Н. Баратов и др. М., 1990. Кн. 2. 384 с.

11. Чрезвычайные ситуации и их последствия в 2021 г.: стат. сб. / А. А. Порошин и др. Балашиха, 2022. 70 с.

12. Пожары и пожарная безопасность в 2021 г. Статистика пожаров и их последствий: стат. сб. / В. С. Гончаренко и др. Балашиха, 2022. 114 с.

13. Критерии информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: приказ МЧС России № 429 от 05.07.2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402707588>.

14. Атаманов Т. Н. Обзор причин аварий и пожаров на магистральных трубопроводах // Проблемы техносферной безопасности. 2014. № 3. С. 136–138.

15. Полякова С. А., Ильичев С. С. Анализ аварийности на объектах нефтегазовой отрасли России // Молодой ученый. 2022. № 16 (411). С. 115–117. URL: <https://moluch.ru/archive/411/90471/> (дата обращения: 04.06.2023).

16. Кушнарева О. В., Голубаев Д. В. Анализ причин аварий на объектах магистрального транспорта нефти и газа: проблемы и решения // Master's Journal. 2018. № 1. С. 37–43.

17. Богомолова Е. Ю., Грицких Н. А., Козыдло М. В. Несанкционированные врезки в трубопроводные системы как фактор аварийности и экологического ущерба // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019. Т. 8, № 2 (27). С. 70–74.

18. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015621277 Российская Федерация. Федеральная база данных «Пожары»: № 2015620394: заявлено 17.04.2015: опубликовано 20.08.2015 / В. И. Сибирко; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России).

19. Об утверждении Регламента работы в информационной системе «Автоматизированная аналитическая система поддержки и управления контрольно-надзорными органами МЧС России»: приказ МЧС России от 04.10.2022 № 954. URL: <https://cloud.mail.ru/public/zEjU/brw7WTn6z> (дата обращения: 09.02.2023).

REFERENCES

1. Website StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/16434474/page:2/> (date of the application 29.04.2023).

2. Site Gazovik Pipe / Classification of pipelines. URL: <https://gazovikpipe.ru/klassifikaciya-truboprovodov?ysclid=lh1yrmbihj253067517> (date of the application 29.04.2023).

3. Russian Statistical Yearbook. 2022: Stat.sb. Rosstat. 2022; 691. (rus).

4. Website Inoxtradestainlesssteel / Factors affecting work. URL: <https://inoxtrade.ru/info/blog/truboprovod/>(date of the application 29.04.2023).

5. Samigulin G. Kh., Zakharov A. E. Reducing the fire hazard during the storage of petroleum products in polymeric elastic tanks modified with nanocarbon components. Problems of risk management in the technosphere, 2023; 2 (66): 148–158. (rus).

6. Gulin D. A., Karpova K. E., Glazkov A. S., Nasibullin T. R. On the use of pipes made of polymeric materials for field pipelines. Oil and gas business, 2020; 18 (6): 107–115. DOI 10.17122/ngdelo-2020-6-107-115. – EDN HMWLGB. (rus).

7. Electronic fund of legal and normative-technical documents. Code of Practice Field Pipelines for Oil and Gas. Rules for the design and production of work SP 284.1325800.2016. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456096925?ysclid=lh1zd6f2by929649613> (date of the application 29.04.2023).

8. Electronic fund of legal and normative-technical documents. GOST 32569-2013 Technological steel pipelines. Requirements for the device and operation in explosive and chemically hazardous industries.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111138/titles/7E60KF?ysclid=lh1ygsyjd0520844857> (date of the application 29.04.2023).

9. Baratov A. N., Korolchenko A. Ya., Kravchuk G. N. at al. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: Reference edition: in 2 books. Moscow, Chemistry, 1990; 496. (rus).

10. Baratov A. N., Korolchenko A. Ya., Kravchuk G. N. at al. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them: Reference edition: in 2 books. Moscow, Chemistry, 1990; 384. (rus).

11. Poroshin A. A., Matyushin Yu. A., Firsov A. G. at al. Emergencies and their consequences in 2021: statistical compendium. Balashikha, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2022; 70. (rus).

12. Goncharenko V. S., Chechetina T. A., Sibirko V. I. at al. Fires and fire safety in 2021: Statistics of fires and their consequences. Statistical compendium. Balashikha, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, 2022; 114. (rus).

13. Criteria for information on natural and man-made emergencies: order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No 429 dated 05.07.2021. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402707588>.

14. Atamanov T. N. Overview of the causes of accidents and fires on main pipelines. Problems of technosphere safety: materials of the international scientific-practical conference of young scientists and specialists, 2014; 3: 136–138. (rus).

15. Polyakova S. A. at al. Analysis of accidents at the facilities of the oil and gas industry in Russia. Young scientist, 2022; 16 (411): 115–117. URL: <https://moluch.ru/archive/411/90471/> (date of the application 04.06.2023). (rus).

16. Kushnareva O. V., Golubaev D. V. Analysis of the causes of accidents at the facilities of the main oil and gas transport: problems and solutions. Master's Journal, 2018; 1: 37–43. (rus).

17. Bogomolova E. Yu., Gritskikh N. A., Kozydlo M. V. Unauthorized tie-ins in pipeline systems as a factor of accident rate and environmental. Azimuth of scientific research: economics and management, 2019; 8 (2) (27): 70–74. DOI 10.26140/anie-2019-0802-0016. (rus).

18. Certificate of state registration, n of the database No. 2015621277 Russian Federation. Federal database "Fires": No. 2015620394: announced on 04/17/2015: published on 08/20/2015 / V. I. Sibirko; applicant Federal State Budgetary Institution "All-Russian Order of the Badge of Honor" Research Institute of Fire Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief (FGBU VNIPO EMERCOM of Russia). (rus).

19. On approval of the Regulations for work in the information system "Automated analytical system for support and management of the control and supervisory bodies of the EMERCOM of Russia": order of the EMERCOM of Russia dated 04.10.2022 No. 954. URL : <https://cloud.mail.ru/public/zEjU/brw7WTn6z> (date of the application 09.02.2023). (rus).

Информация об авторах

Фирсов Александр Георгиевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, член-корреспондент НАНПБ, ведущий научный сотрудник отдела пожарной статистики, ВНИИПО МЧС России, 143903, Московская область, мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха РИНЦИД: 462043; ORCID: 0000-0003-3272-1972; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Надточий Олег Витальевич, старший научный сотрудник отдела пожарной статистики, ВНИИПО МЧС России, 143903, Московская область, мкр. ВНИИПО, д. 12,

Information about the authors

Alexander G. Firsov, candidate of technical sciences (Rus.), Senior Researcher, corresponding member of NANPB, Leading Researcher of the Department of Fire Statistics, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 462043; ORCID: 0000-0003-3272-1972; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Oleg V. Nadtochiy, Senior Researcher, Fire Statistics Department, FGBU VNIPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation;

г. Балашиха РИНЦ ID: 1098133; ORCID:
0009-0002-2062-5131;
e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Сибирко Виталий Иванович, начальник сектора отдела пожарной статистики, ВНИИПО МЧС России, 143903, Московская область, мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха РИНЦ ID: 761310; ResearcherID: ABB-8963-2021; ORCID: 0000-0002-5319-6823; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Арсланов Артём Минирович, заместитель начальника отдела пожарной статистики - начальник сектора, ВНИИПО МЧС России, 143903, Московская область, мкр. ВНИИПО, д. 12, г. Балашиха РИНЦ ID: 749083; ORCID: 0000-0002-8469-8658; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

ID RISC: 1098133; ORCID: 0009-0002-2062-5131;
e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Vitaly I. Sibirko, head of the department of fire statistics, FGBU VNIIPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 761310; ResearcherID: ABB-8963-2021; ORCID: 0000-0002-5319-6823; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Artem M. Arslanov, Deputy Head of the Department of Fire Statistics - Head of the Sector, FGBU VNIIPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 749083; ORCID: 0000-0002-8469-8658; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

УДК 614.8

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА
В МИРЕ И НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ****Королев Денис Сергеевич^{1,2}, Вытовтов Алексей Владимирович^{1,2},
Куприенко Павел Сергеевич¹, Русских Елена Алексеевна³**¹Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация²Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж, Российская Федерация³Академия Государственной противопожарной службы, г. Москва, Российская Федерация**АННОТАЦИЯ**

События последних лет показывают, что количество чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера стремительно увеличивается. Если со вторыми складывающееся положение дел объясняется влиянием человеческого фактора, что, несомненно, учитывается при разработке комплекса профилактических мероприятий, направленных на минимизацию вероятности риска возникновения чрезвычайных ситуаций, то однозначной причины столь резкого увеличения числа природных катаклизмов на сегодняшний день нет. Поэтому авторами статьи проведена аналитическая работа по изучению негативного воздействия экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений в период 1970–2021 гг. в мире и на территории Российской Федерации. В результате были определены деструктивные события, оказывающие наибольшее влияние на смертность людей и экономический ущерб. Были рассчитаны и представлены аппроксимационные уравнения, позволяющие с удовлетворительной точностью спрогнозировать число природных катаклизмов. Полученные значения показывают неудовлетворительную перспективу, а значит разработка и совершенствование систем раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций природного характера, методов прогнозирования и мониторинга обстановки – актуальные задачи нашего времени.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, природные катаклизмы, факторы, причины, прогнозирование, статистический анализ, аналитическая работа

**STATISTICAL ANALYSIS OF NATURAL EMERGENCIES IN THE WORLD AND ON THE TERRITORY
OF THE RUSSIAN FEDERATION****Denis S. Korolev¹, Alexey V. Vytovtov^{1,2}, Pavel S. Kuprienko¹, Elena A. Russkikh³**¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation²Voronezh Institute for Advanced Training of Employees of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Voronezh, Russian Federation³Academy of the State Fire Service, Moscow, Russian Federation**ABSTRACT**URL: <http://uigps.ru/content/nauchnyy-zhurnal>

The events of recent years show that the number of natural and man-made emergencies is rapidly increasing. If the current state of affairs with the latter is explained by the influence of the human factor, which is undoubtedly taken into account when developing a set of preventive measures aimed at minimizing the likelihood of the risk of emergencies, then there is no unambiguous reason for such a sharp increase in the number of natural disasters today. Therefore, the authors of the article carried out analytical work to study the negative impact of extreme meteorological, climatic and hydrological phenomena in the period from 1970 to 2021 in the world and on the territory of the Russian Federation. As a result, destructive events were identified that have the greatest impact on human mortality and economic damage. Approximation equations were also calculated and presented, which make it possible to predict with satisfactory accuracy the number of natural disasters for the coming period. The obtained values show an unsatisfactory perspective of the future, which means that the development and improvement of early warning systems for natural emergencies, methods of forecasting and monitoring the situation are an urgent task of our time.

Keywords: emergency, natural disasters, factors, causes, forecasting, statistical analysis, analytical work

Введение

Стремительное увеличение среднегодовой температуры способствует ускорению круговорота воды на планете, приводя к интенсивным осадкам и наводнениям в одних регионах и к экстремальным засухам в других [1]. По этой же причине возросло количество зарегистрированных случаев лесных пожаров, активизировался процесс таяния вечной мерзлоты, критически уменьшилась толщина снежного покрова, как следствие, повышается уровень мирового океана с последующим затоплением прибрежных и низинных районов, вызывая эрозию почвы [2].

Изучение таких явлений, причин и факторов, способствующих их возникновению, невозможно без достоверного информационного и методологического обеспечения, а главное необходимо проведение аналитической работы, которая послужит основой для разработки эффективных решений и рекомендаций по снижению негативных последствий. Поэтому

цель исследования – проведение статистического анализа чрезвычайных ситуаций природного характера в мире и на территории Российской Федерации с последующим определением доверительных интервалов вероятности деструктивных событий.

Методы и результаты исследований

Согласно сведениям всемирной метеорологической организации, представленным в докладе, отмечено, что за последние 50 лет (в период 1970–2021 гг.) в мире произошло свыше 11 тыс. природных катаклизмов (природные пожары, наводнения, штормы, засухи и т. д.). При этом прослеживалась тенденция их резкого увеличения с 1970 г. вплоть до 2005 г., когда было зарегистрировано рекордное число крупных природных (150 случаев) катастроф и техногенных (205 случаев) аварий (рис. 1) [3, 4].

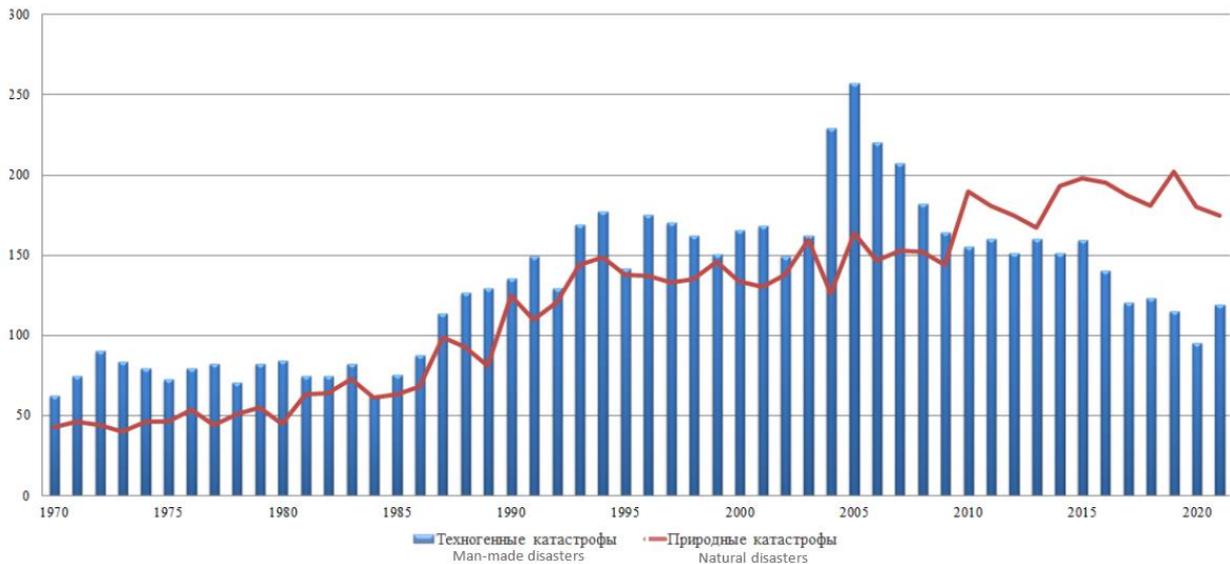


Рис. 1. Динамика природных и техногенных катастроф в мире за период 1970–2021 гг.

Fig. 1. Dynamics of natural and man-made disasters in the world for the period 1970-2021

Однако уже в 2006 г. происходит снижение количества чрезвычайных ситуаций техногенного характера, а минимальные значения, характерные для 1973 г., фиксировались в период 2019–2020 гг., что обусловлено, по всей видимости, распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19), введением локдаунов, замедлением работы производственных предприятий.

Катастрофы природного характера, напротив, продолжили динамику увеличения. В 2010–2023 гг. отмечен ряд крупных по числу жертв и величине экономических

убытков чрезвычайных ситуаций, среди которых: аномальная жара на территории РФ (свыше 56 тыс. погибших, ущерб в 1,5 % ВВП), землетрясение на Гаити (свыше 240 тыс. погибших), природно-техногенная авария в Японии (экономический урон свыше 309 млрд долларов), ураган в США, землетрясение в Турции (погибших более 50 тыс. человек), наводнения в Индии, России, Италии, Афганистане и т. д. Как итог – свыше 159438 человеческих смертей и экономический ущерб в размере 1 трлн долларов (рис. 2).

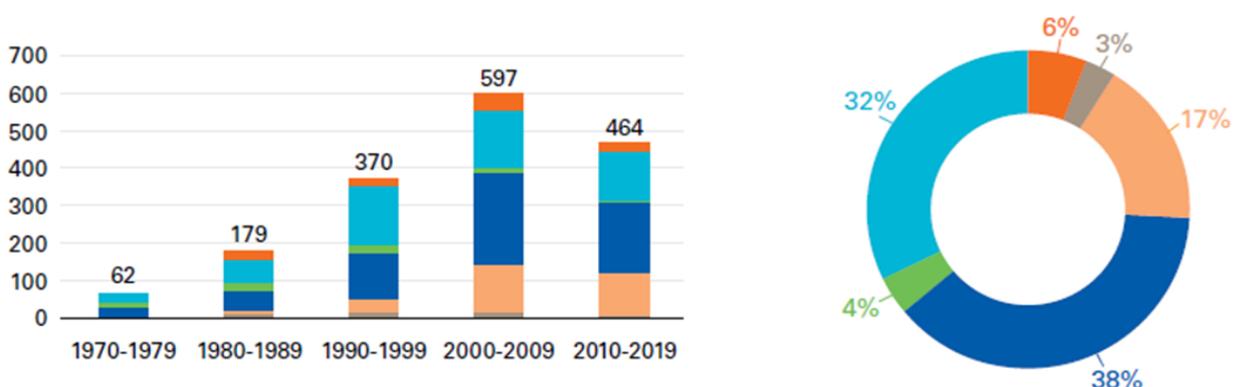


Рис. 2. Распределение природных катастроф по типу возникновения

Fig. 2. Distribution of natural disasters by type of occurrence

Аналитическая работа позволила установить, что около 70 % природных бедствий приходится на паводки (38 %) и штормы (32 %), а максимальное число

смертей (93 %) было вызвано экстремально высокими температурами, где безусловным лидером стала Россия (рис. 3) и землетрясениями [5, 6].

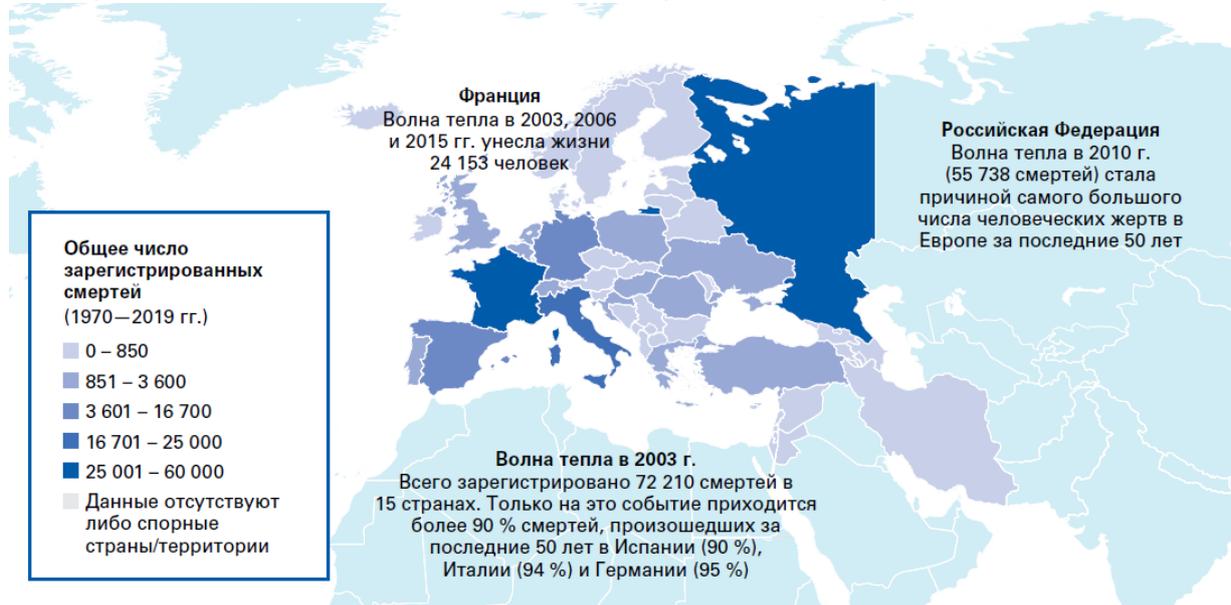


Рис. 3. Наиболее значимые случаи гибели людей

Fig. 3. The most significant deaths

Детальное отражение динамики чрезвычайных катастроф природного характера представили как линию тренда, где y – количественный фактор, а x – временной показатель. С точки зрения показателя качества, наилучшим оказалась

линейная зависимость (1), характеризующая хорошей связью коэффициента детерминации (2) и низким процентом средней ошибки аппроксимации (3). Линейная зависимость, лежащая в пределах 5–15 % и свидетельствующая о хорошем подборе уравнения регрессии к исходным данным.

$$y_x = r_{xy} \cdot \frac{x - \bar{x}}{S(x)} \cdot S(y) + \bar{y} = 0,961 \cdot \frac{x - 1995,5}{15,008} \cdot 52,483 + 119,019. \quad (1)$$

$$y_x = 3,3589x - 6583,6153$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_x)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{11086,45}{143232,98} = 0,9226. \quad (2)$$

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_x|}{n} \cdot 100\% = \frac{6,23}{52} \cdot 100\% = 11,98\%. \quad (3)$$

Исследование подачи ВГС с помощью МУПТ

В качестве прибора подачи ОТВ использовалась модульная установка пожаротушения тонкораспыленной

водой, с рабочим объемом 18 л. \bar{x} , \bar{y} – фактические значения уровня ряда;

$x - \bar{x}$ – разность между сравниваемым уровнем и уровнем, который ему предшествует;

$y_i - y_x$ – разница между средними значениями.

Линейная зависимость (1) показывает, что количество случаев природных катаклизмов изменяется во времени (x) с устойчивым положительным трендом ($a_1 = 3,35$), т. е. число природных катастроф в мире будет продолжать увеличиваться.

Коэффициент $b = -6583,6153$ формально показывает потенциальный уровень y .

Спрогнозируем границы доверительного интервала, в котором будет сосредоточено более 95 % возможных значений « y » при неограниченно большом числе наблюдений для $x_p = 2024$. В этом случае для прогнозирования зависимой переменной результативного признака необходимо знать прогнозные значения всех входящих в модель факторов, которые можно подставить в модель и получить точечные прогнозные оценки для выбранного показателя (4):

$$\begin{aligned} y(t) &= bx + a \\ y(t) &= 3,3589x - 6583,6153 \\ y(2024) &= 215,001. \end{aligned} \quad (4)$$

Вычислим ошибку прогноза для уравнения (4) по формуле (5):

$$\epsilon = t_{krit} \cdot S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\bar{x} - x_p)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (5)$$

где n – количество периодов времени;

S – стандартная ошибка оценки;

t_{krit} – отношение количества периодов времени к количеству зарегистрированных случаев деструктивных событий;

x – годовой параметр.

$$\epsilon = 2,311 \cdot 14,891 \sqrt{\frac{1}{52} + \frac{(1995 - 2024)^2}{11713}} = 9,684.$$

В итоге, с вероятностью 95 % можно гарантировать, что значение y при $x = 2024$ будет находиться в интервале от 208,317 до 224,6.

На территории РФ официальным учетом и статистическим анализом сведений, представляемых федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, государственными корпорациями и предприятиями, о чрезвычайных ситуациях, в частности природного характера, занимается Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

[7, 8]. Результатом аналитической работы за отчетный период становится Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». На основании полученных данных разрабатываются алгоритмы действий и взаимодействия органов РСЧС, планы предупреждения и ликвидации ЧС, направленные на защиту населения и территорий и обеспечение национальной безопасности страны [9–11].

В силу некоторых обстоятельств (срок хранения документов, закрытость

информации и др.) проследить многолетнюю динамику развития деструктивных событий природного характера для России

не предоставляется возможным, поэтому детализацию проведем для небольшого промежутка времени (рис. 4) [12, 13].

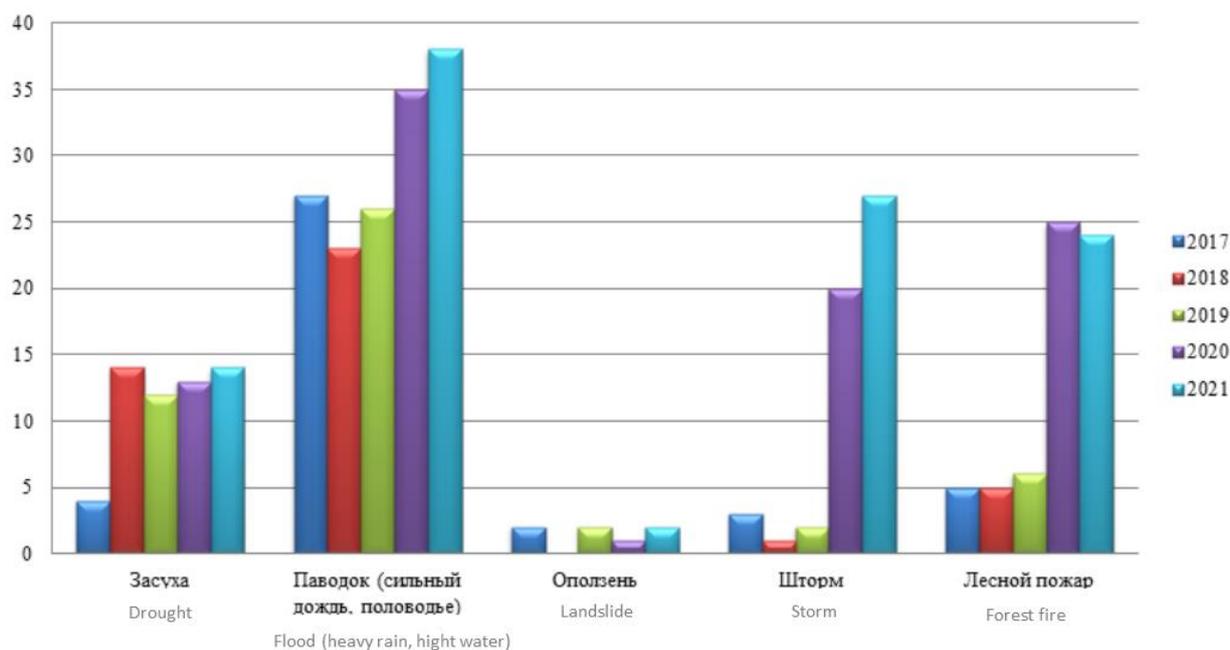


Рис. 4. Распределение ЧС природного характера на территории РФ с 2017–2021 гг.

Fig. 4. Distribution of natural emergencies on the territory of the Russian Federation from 2017–2021

На гистограмме рис. 4 видно, как в России преобладают наводнения (половодья), а также сильные снегопады и дожди, крупный град, наносящие ощутимый материальный ущерб населению

и отраслям экономики, а их количество растет с каждым годом, что отражается в подобранной экспоненциальной линии тренда (6–8):

$$b = \frac{n \sum x_i \cdot \ln y_i - \sum x_i \cdot \sum \ln y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{5 \cdot 41914,2999 - 10095 \cdot 20,7586}{5 \cdot 20381815 - 10095^2} \approx 0,2786. \quad (6)$$

$$a = \frac{1}{n} \cdot \sum \ln y_i - \frac{b}{n} \sum x_i = \frac{1}{5} \cdot 20,7586 - \frac{0,2786}{5} \cdot 10095 \approx -558,3059. \quad (7)$$

$$y(t) = e^{-558,3059 + 0,2786x}. \quad (8)$$

Отметим, что эмпирические коэффициенты тренда a и b являются лишь оценками теоретических коэффициентов, а само уравнение отражает лишь общую тенденцию в поведении рассматриваемых переменных. Поэтому коэффициент тренда $b = 0,278$ показывает среднее изменение резульативного показателя с изменением периода времени t .

Спрогнозируем границы доверительного интервала, в котором будет сосредоточено более 90 % возможных значений y при неограниченно большом числе наблюдений для $x_p = 2024$. В этом случае для прогнозирования зависимой переменной резульативного признака необходимо использовать экспоненциальную модель (11):

$$\bar{A} = \frac{0,7243}{5} \cdot 100\% = 14,48\%. \quad (9)$$

$$R^2 = 0,85. \quad (10)$$

Отметим, что эмпирические коэффициенты тренда a и b являются лишь оценками теоретических коэффициентов, а само уравнение отражает лишь общую тенденцию в поведении рассматриваемых переменных. Поэтому коэффициент

тренда $b = 0,278$ показывает среднее изменение результивного показателя с изменением периода времени t .

Спрогнозируем границы доверительного интервала, в котором будет сосредоточено более 90 % возможных значений « y » при неограниченно большом числе наблюдений для $x_p = 2024$. В этом случае для прогнозирования зависимой переменной результивного признака необходимо использовать экспоненциальную модель (11):

$$y(t) = a \cdot e^{bt} \quad (11)$$

$$y(t) = e^{-558,3059 + 0,2786x}$$

$$y(2024) = 146,56.$$

Вычислим ошибку прогноза для уравнения (11) по формуле (5):

$$\epsilon = t_{krit} \cdot S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\bar{x} - x_p)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

$$\epsilon = 4,177 \cdot 0,217 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{(2017 - 2024)^2}{10}} = 0,953.$$

Отсюда, с вероятностью 90 % можно гарантировать, что значение y при $x = 2024$ будет находиться в интервале от 145,6 до 147,5.

Заключение

В период 1970–1979 гг. в среднем в мире регистрировалось 700 чрезвычайных ситуаций природного характера. К 2000–2009 гг. эта цифра возросла до максимального значения – 3536 катаклизмов, что эквивалентно 10 бедствиям в день, а к 2010 г. немного снизилась до 3165, а наиболее частыми регистрируемыми катастрофами являлись штормы, наводнения (половодья, ливни), засуха, лесные пожары, оползни. Детальный анализ позволил представить склады-

вающуюся обстановку в виде аппроксимационной зависимости, наиболее наглядно описывающей развитие деструктивных событий. Такой подход позволил определить доверительные интервалы с 90 %-й вероятностью показывающие, что количество природных катастроф в мире будет только расти, а значит необходимость наращивания сил и средств для борьбы с природной стихией, разработка и совершенствование систем раннего предупреждения, новых методов прогнозирования и мониторинга остаются задачей номер один.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Глобальный аналитический доклад по снижению риска бедствий в 2019 г. URL: <https://gar.undrr.org/sites/default/files/.pdf>. (дата обращения: 06.06.2023).
2. Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений (1970–2019 гг.). URL: https://www.unclearn.org/wpcontent/uploads/library/1267_Atlas_of_Mortality_RU.pdf (дата обращения: 13.06.2023).
3. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. М., 2007. 122 с.

4. Енин Д. В. Чрезвычайные ситуации и их динамика в Российской Федерации // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 1. С. 56–61.
5. Королев Д. С., Калач А. В. Опыт применения информационных ресурсов для мониторинга и прогнозирования возникновения ЧС природного характера на примере Воронежской области // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: мат. Международной научно-практической конференции. СПб., 2021. С. 251–256.
6. Концепция модели развития системы управления в кризисных ситуациях / Д. С. Королев и др. // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 64–69.
7. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2021 году». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (дата обращения: 13.06.2023).
8. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 году». URL: https://motrelna.ru/upload_files/articles/2019/06/GosDoclad_po_2018_godu_Print.pdf (дата обращения: 13.06.2023).
9. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году». URL: <https://mchs.gov.ru/dokumenty/5304> (дата обращения: 13.06.2023).
10. Semenov V.S., Semenova O.V. Administrative-management bodies and public organizations activities in natural disasters // Modern Science and Innovations. 2020. № 1 (29). С. 124–130.
11. Balandina E.S., Al-Abboodi M.F. Linguistic representation of natural disasters in media coverage // Bulletin of the South Ural State University. Series: Linguistics. 2020. Т. 17. № 2. С. 30–35.
12. Соя А. В., Котловский И. Б. О возможности применения альтернативных методов управления рисками природных катастроф в России // Управление риском. 2021. № 4 (100). С. 3–11.
13. Проблемы мониторинга и предсказания природных катастроф / В. Г. Бондур и др. // Исследование Земли из космоса. 2005. № 1. С. 3–14.

REFERENCES

1. Global analytical report to reduce disaster risk in 2019 [electronic source]/https://gar.undrr.org/sites/default/files/reports/2019-05/full_gar_report.pdf. (Date of circulation 06.06.2023). (rus).
2. Atlas of mortality and economic losses as a result of extreme meteorological, climatic and hydrological phenomena (1970-2019) [Electronic Source]/https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/libry/1267_atlas_of_Mortality_ru.pdf (Date of circulation 06.13.2023) (rus).
3. Brushlinsky N. N., Sokolov S.V., Wagner P. Humanity and fires. Moscow, IPC Mask, 2007; 122. (rus).
4. Enin D. V. Emergency situations and their dynamics in the Russian Federation. Fires and Emergencies: Prevention, Liquidation, 2019; 1: 56 –61. (rus).
5. Korolev D. S., Kalach A. V. The experience of applying information resources for monitoring and forecasting the emergence of emergencies of a natural nature on the example of the Voronezh region. Safety Service in Russia: experience, problems, prospects. Monitoring, prevention and elimination of emergency situations of a natural and technogenic nature. Materials of the International Scientific and Practical Conference. St. Petersburg, 2021; 251–256. (rus).
6. Korolev D. S., Shmyreva M. B., Boyko G. M., Kvashnina G. A. The concept of the development model of the management system in crisis situations. Siberian fire and rescue messenger, 2021; 2 (21): 64–69. (rus).
7. The state report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic nature in 2021» [Electronic source] /<https://mchs.gov.ru/dokumenty/5946> (Appeal 13.06.2023). (rus).
8. State report “On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic in 2018” [Electronic source] https://motrelna.ru/upload_files/articles/2019/06/gosdoclad_pogodu_print.pdf (date of application 06.13.2023). (rus).
9. The state report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from emergency situations of natural and technogenic nature in 2020» [Electronic source] /<https://mchs.gov.ru/dokumenty/5304>(date of circulation 13.06.2023). (rus).
10. Semenov V. S., Semenova O. V. Administrative-Management Bodies and Public Organizations Activities in Natural Disasters. Modern Science and Innovations.,2020; 1 (29): 124–130. (rus).

11. Balandina E. S., Al-Abboodi M. F. Linguistic Representation of Natural Disasters in Media Coverage. Bulletin of the South Ural State University. Series: Linguistics, 2020, 2: 30–35. (rus).

12. Soya A. V., Kotlovsky I. B. On the possibility of applying alternative methods for managing the risk of natural disasters in Russia. Risk Management, 2021; 4 (100): 3–11. (rus).

13. Bondur B. G., Kondratyev K. Ya., Krapivin V. F., Savinov V. P. Problems of monitoring and predictions of natural disasters. Study of the Earth from Cosmos, 2005; 1: 3–14. (rus).

Информация об авторах

Королев Денис Сергеевич, доцент, к.т.н., Воронежский государственный технический университет, Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; РИНЦ ID: 829407; e-mail: otrid@rambler.ru

Вытовтов Алексей Владимирович, доцент, к.т.н., Воронежский государственный технический университет, Россия 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; РИНЦ ID: 754850; e-mail: taft.rvk@yandex.ru

Куприенко Павел Сергеевич, заведующий кафедрой техносферной и пожарной безопасности, д.т.н., доцент, Воронежский государственный технический университет, Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84; РИНЦ ID: 361280; e-mail: pavelkup51@mail.ru

Русских Елена Алексеевна, старший преподаватель кафедры высшей математики, к.т.н., Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; РИНЦ ID: 781857

Information about the authors

Denis S. Korolev, associate Professor, Ph.D., Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; ID RISC: 829407; e-mail: otrid@rambler.ru

Alexey V. Vytovtov, associate Professor, Ph.D., Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; ID RISC: 754850; e-mail: taft.rvk@yandex.ru

Pavel S. Kuprienko, Head of the Department of Technosphere and Fire Safety, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; ID RISC: 361280; e-mail: pavelkup51@mail.ru

Elena A. Russkikh, Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics, Ph.D., Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, Russia st. Boris Galushkina, 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ID RISC: 781857