

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.

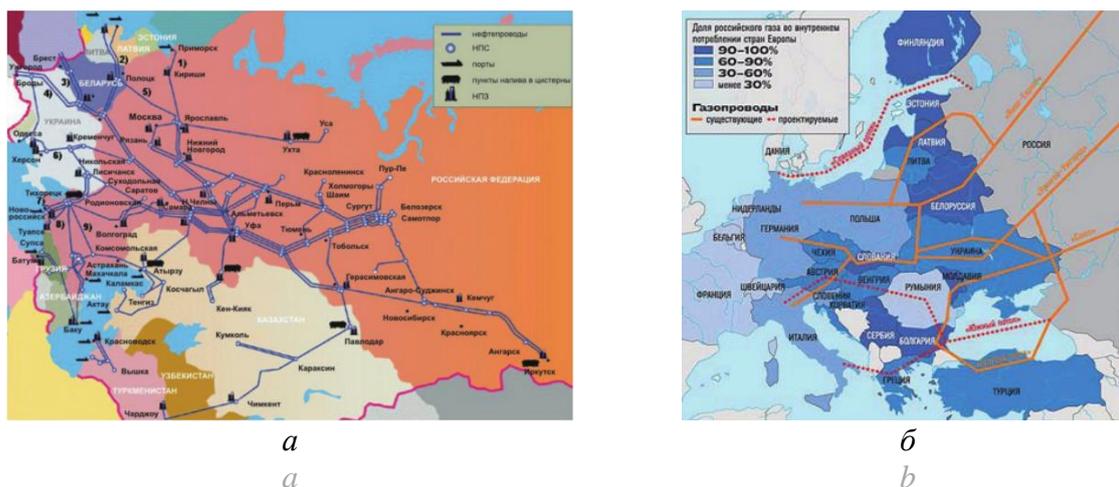


Рис. 1. Схема основных магистральных нефтепроводов (а) и газопроводов (б) на территории Российской Федерации

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 оличества 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.

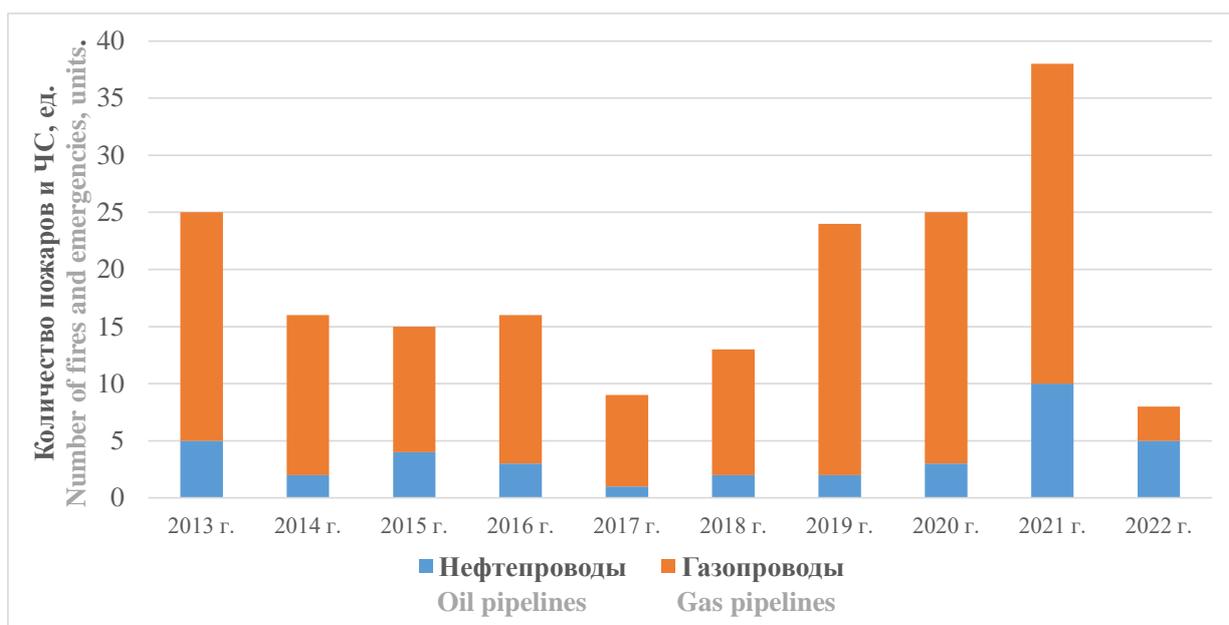


Рис. 2. Распределение консолидированного количества пожаров и ЧС на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

Fig. 2. Distribution of the consolidated number of fires and emergencies on oil and gas pipelines for the period from 2013 to 2022

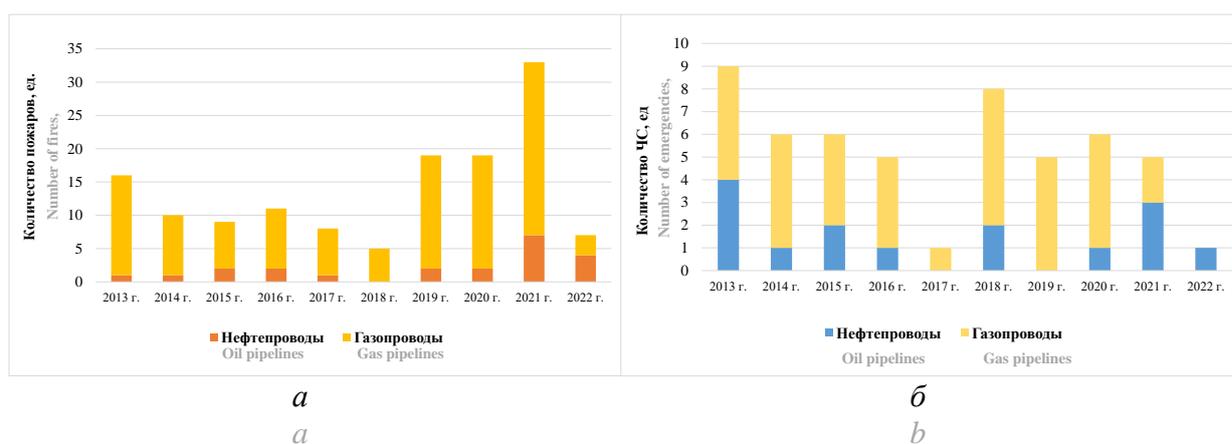


Рис. 3. Распределение количества пожаров (а) и чрезвычайных ситуаций (б) на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

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:

$$R_{\text{нас } i} = \frac{\sum_{j=1}^T P_{\text{нас } \text{пж,ЧС } i}^j}{\sum_{j=1}^T K_{\text{пж,ЧС } i}^j}, \quad (2)$$

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.;

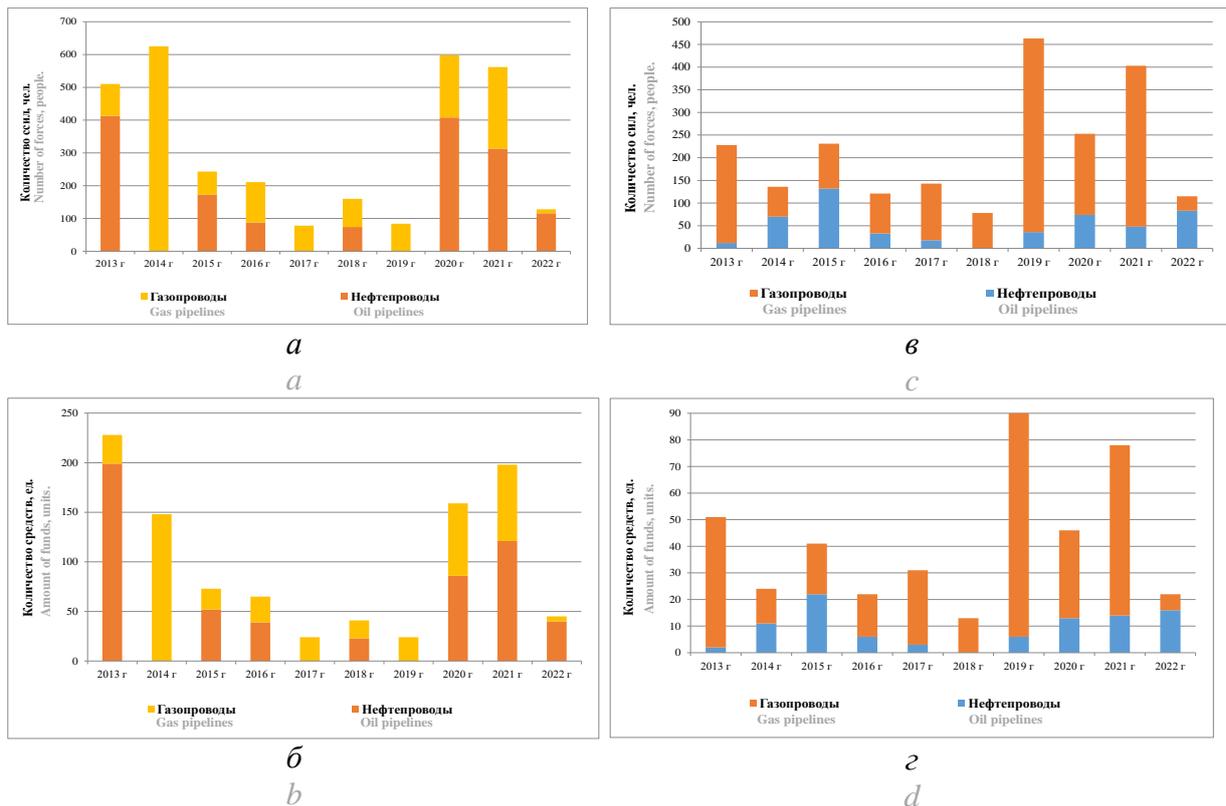


Рис. 4. Распределение количества сил (а) и средств (б), задействованных в ликвидации чрезвычайных ситуаций, и количества сил (в) и средств (г), задействованных в тушении пожаров на нефтепроводах и газопроводах за период с 2013 по 2022 гг.

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=lh1ygsyjdo520844857> (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: ot-del-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: ot-del-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: ot-del-16@vniipo.ru

ID RISC: 1098133; ORCID: 0009-0002-2062-5131;
e-mail: ot-del-16@vniipo.ru

Vitaly I. Sibirko, head of the department of fire statistics, FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 761310; ResearcherID: ABB-8963-2021; ORCID: 0000-0002-5319-6823; e-mail: ot-del-16@vniipo.ru

Artem M. Arslanov, Deputy Head of the Department of Fire Statistics - Head of the Sector, FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia, mkr. VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 749083; ORCID: 0000-0002-8469-8658; e-mail: ot-del-16@vniipo.ru