

М. В. Алешков, Т. Г. Меркушкина, В. Д. Федяев, А. С. Гумиров
(Академия Государственной противопожарной службы МЧС России;
e-mail: aleshkov.m@mail.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ ПРИ ПОДАЧЕ ПО НАСОСНО-РУКАВНЫМ СИСТЕМАМ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

РЕЗЮМЕ

Введение. В статье описаны методика и программа проведения экспериментальных исследований по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур. Определены численные значения параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарному рукаву длиной 20 м. Получены экспериментальные зависимости параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены от кратности и массового расхода.

Цели и задачи. Разработаны программа и методика проведения экспериментальных исследований по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам. Для проведения экспериментальных исследований были поставлены следующие задачи:

- разработка измерительного комплекса по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам при отрицательных температурах;
- определение физической модели движения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам;
- разработка программы и методики проведения экспериментальных исследований по определению массового расхода компрессионной пены.

Методы. Для определения параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам использовались методы математического анализа статистических данных полученных в ходе проведения экспериментальных данных.

Результаты и их обсуждение. Экспериментально получены численные значения охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур в зависимости от кратности по длине рукавной линии.

Выводы. 1. Разработаны программа и методика проведения экспериментальных исследований по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур.

2. В результате проведенных экспериментальных исследований получены данные по кратностям и параметрам интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам в зимний период при различных отрицательных температурах. Для измерения параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по пожарным рукавам при отрицательных температурах окружающего воздуха был разработан и собран измерительный комплекс.

3. Полученные данные позволят производить оценку параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур.

Ключевые слова: интенсивность охлаждения, компрессионная пена, пеновоздушная смесь, насосно-рукавная система, пеногенирующая установка, установка получения и подачи компрессионной пены, низкие температуры.

Для цитирования: Алешков М. В., Меркушкина Т. Г., Федяев В. Д., Гумиров А. С. Исследование параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 2 (92). – С. 8-19. <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.8-19>

В современной Российской Федерации существует большое количество огнетушащих веществ. С каждым годом совершенствуются методы и способы подачи различных видов пенных растворов. Одним ещё не до конца изученным средством пожаротушения является компрессионная пена. Компрессионная пена – это пена, полученная принудительным вспениванием пенного раствора воздухом, которая подаётся по насосно-рукавным системам [1]. Территория Российской Федерации имеет различные климатические районы, но в большей мере преобладают районы с холодными климатическими поясами. На территории Российской Федерации находятся объекты атомной энергетики, часть из которых расположена на территории с холодным климатом [2]. При тушении пожаров этих объектов возникают сложности подачи огнетушащих веществ, что значительно осложняет работу пожарных подразделений при низких температурах воздуха.

На плавучей атомной теплоэлектростанции "Академик Ломоносов", которая стала самой северной станцией [8], находятся пожарные автомобили, на которых установлены установки получения и подачи компрессионной пены [4]. Для наиболее эффективного применения данных автомобилей в условиях низких температур необходимо провести экспериментальные исследования по оценке параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур воздуха.

В 2021 г. в зимний период была проведена целая серия экспериментальных исследований [9] по оценке параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам.

Объектом исследования являлась автоцистерна с установкой получения и подачи компрессионной пены АЦ 3,0-40 NATISK на базовом шасси МАЗ (рис. 1).

Цель экспериментальных исследований – определение параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по рукавным линиям в условиях низких температур.

Принципиальная схема установки получения и подачи компрессионной пены баллонного типа представлена на рис. 2.

При проведении экспериментальных исследований по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам в условиях низких температур, показатели окружающей среды были следующие [3]:

- температура окружающего воздуха – от -20°C до -10°C ;
- скорость ветра – 1-3 м/с;
- относительная влажность воздуха – 50-67 %;
- атмосферное давление – от 84 до 106,7 кПа.

В начале эксперимента производились замеры пустых пластиковых ёмкостей объёмом 40 л и 200 л.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Автоцистерна с установкой подачи компрессионной пены АЦ 3,0-40 NATISK на базовом шасси МАЗ при проведении экспериментальных исследований при температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$:
а) расположение воздушного баллона, предназначенного для получения и подачи компрессионной пены;
б) внешний вид регулировочного крана для получения компрессионной пены разной кратности;
в) проложенная рукавная линия длиной 20 м;
г) приём данных с рукавных вставок по средствам радиоканала на приёмное устройство (ноутбук)

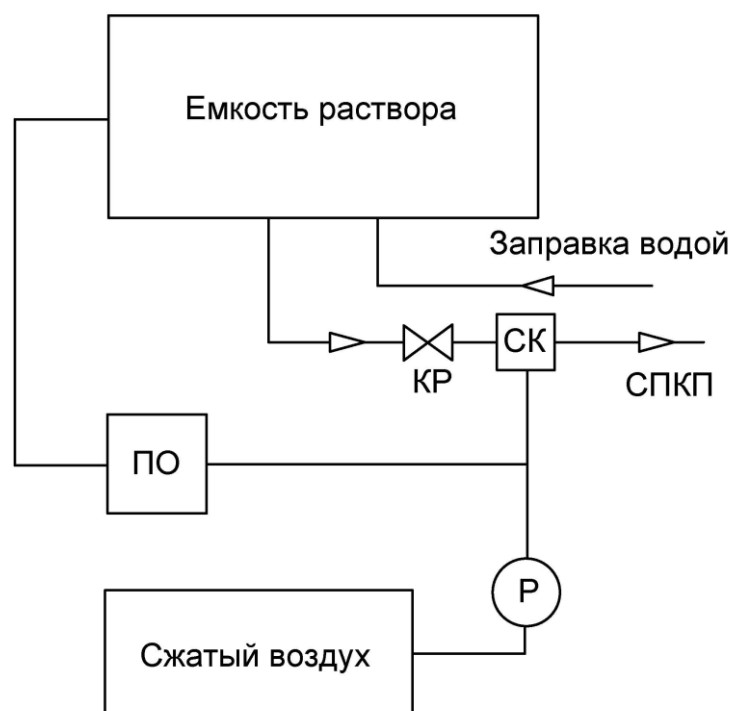


Рис. 2. Принципиальная схема установки получения и подачи компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам баллонного типа:

СК – смешивающая камера; КР – кран регулировки кратности пены;

ПО – пенообразователь; Р – редуктор; СПКП – ствол подачи компрессионной пены

Перед проведением экспериментальных исследований необходимо было подготовить установку [5] получения и подачи компрессионной пены. Подготовка включает в себя следующие этапы: заполнение дополнительной ёмкости водой, заполнение отдельной ёмкости пенообразователем, проверка давления в воздушном баллоне [6]. После этого выставляли положения крана регулировки кратности от 1 до 9. Под положением крана 9 компрессионная пена подаётся с кратностью от 3 до 7. При положении крана 5 – с кратностью от 8 до 12. При проведении натурного эксперимента использовался фторсинтетический пенообразователь AFFF с концентрацией 3 %. Производителем данного пенообразователя является ООО "Ивановский Химический Завод". После этого запускали измерительный комплекс по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены [7].

Экспериментальные исследования

На ровной поверхности были установлены платформенные весы для измерения массы пластиковых ёмкостей объёмом 40 л и 200 л.

Прокладка рукавной линии производилась в следующем порядке: от установки получения и подачи компрессионной пены прокладывался рукав длиной 3 м, рукавная вставка № 1 Ду50 с температурным датчиком, рукав длиной 20 м, рукавная вставка № 2 Ду50 с температурным датчиком (рис. 3), рукав длиной 3 м и после подсоединялся ствол для подачи компрессионной пены (рис. 4).

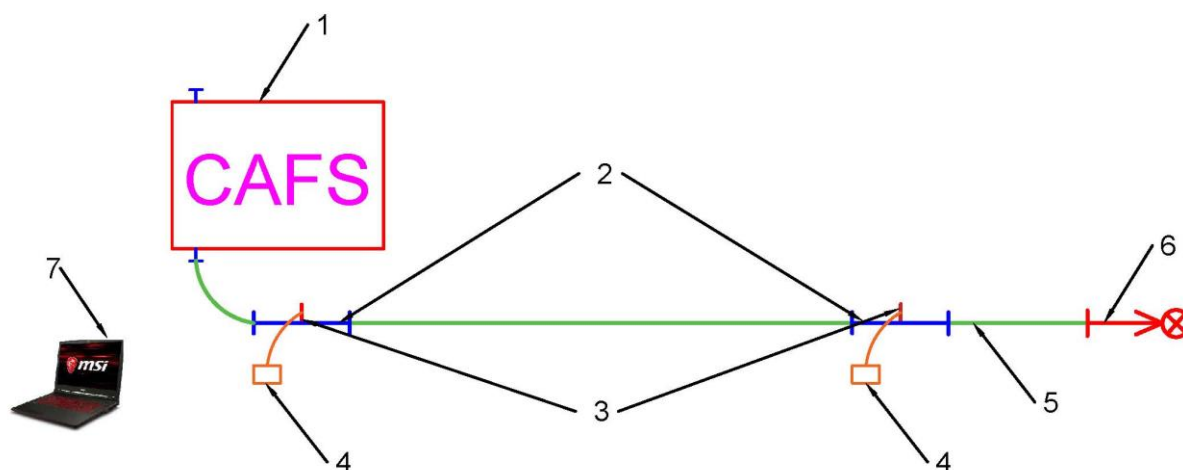


Рис. 3. Схема подачи для оценки интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным линиям:

- 1 – установка получения и подачи CAFS; 2 – рукавные вставки;
 3 – температурные датчики; 4 – приёмный прибор; 5 – пожарные рукава;
 6 – ствол для подачи компрессионной пены; 7 – приёмное устройство (ноутбук)



а)



б)

Рис. 4. Рукавные вставки Ду50 с температурным датчиком при экспериментальных исследованиях при температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$:
 а) рукавная вставка № 1 с температурным датчиком при входе в рукавную линию;
 б) рукавная вставка № 2 с температурным датчиком при выходе из рукавной линии

Экспериментальные исследования проводились в следующем порядке:

1) Производится запуск установки получения и подачи компрессионной пены, установленной на АЦ-3,0-40 при заданных положениях крана от 1 до 9.

2) Проводится проливка рукавной линии для стабилизации подачи компрессионной пены с помощью перекрывного ствола для более точных показателей определения кратности компрессионной пены (рис. 5).

3) Без перекрывания ствола производится заполнение пластиковой ёмкости компрессионной пеной и одновременно фиксируется время начала подачи.

4) Заполнение ёмкости компрессионной пеной производится до определённой отметки, после чего измеряется время заполнения. Далее ствол не перекрывается и проливка продолжается.

5) Во время измерения показателей кратности фиксируется температура на входной вставке № 1 и выходной вставке № 2 с использованием измерительного комплекса.

Порядок действий повторяется 5-6 раз для разных положений крана подачи компрессионной пены (рис. 6).



Рис. 5. Проливка рукавной линии при подаче компрессионной пены по насосно-рукавным системам при температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Также авторами была проведена целая серия экспериментальных исследований по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при температуре окружающего воздуха $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких отрицательных температурах наиболее рациональным решением является подача компрессионной пены кратностью до 12. Внешний вид пожарного ствола после подачи компрессионной пены при отрицательной температуре представлен на рис. 7.



Рис. 6. Вид компрессионной пены после подачи по насосно-рукавным системам при температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$



Рис. 7. Внешний вид перекрывного ствола после подачи по насосно-рукавным системам компрессионной пены при температуре воздуха $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Исходя из полученных кратностей экспериментальные данные по параметрам интенсивности охлаждения компрессионной пены были проверены с помощью физической модели движения пеновоздушной смеси по круглым трубопроводам, что подтверждает правильность проведения экспериментальных исследований и методику проведения этих экспериментов. Физическую модель определили из различных моделей, но уникальность данной разработанной физической модели заключается в том, что она учитывает параметры движения 3-х компонентной смеси. На графиках (рис. 8 и 9) представлено сравнение экспериментальных данных с теоретическими.

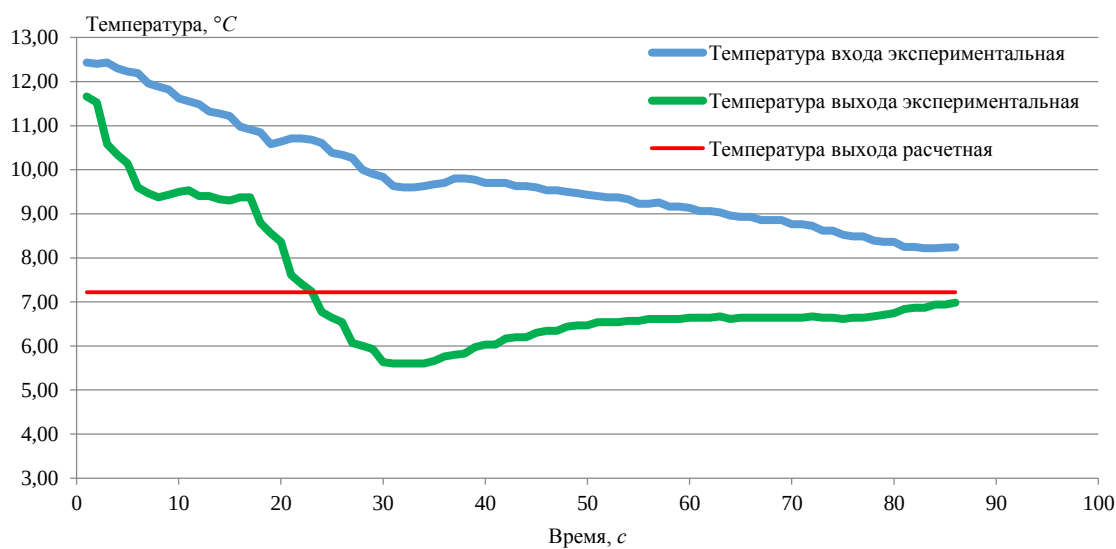


Рис. 8. Сравнение экспериментальных и расчётных данных по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при положении крана регулировки кратности 5

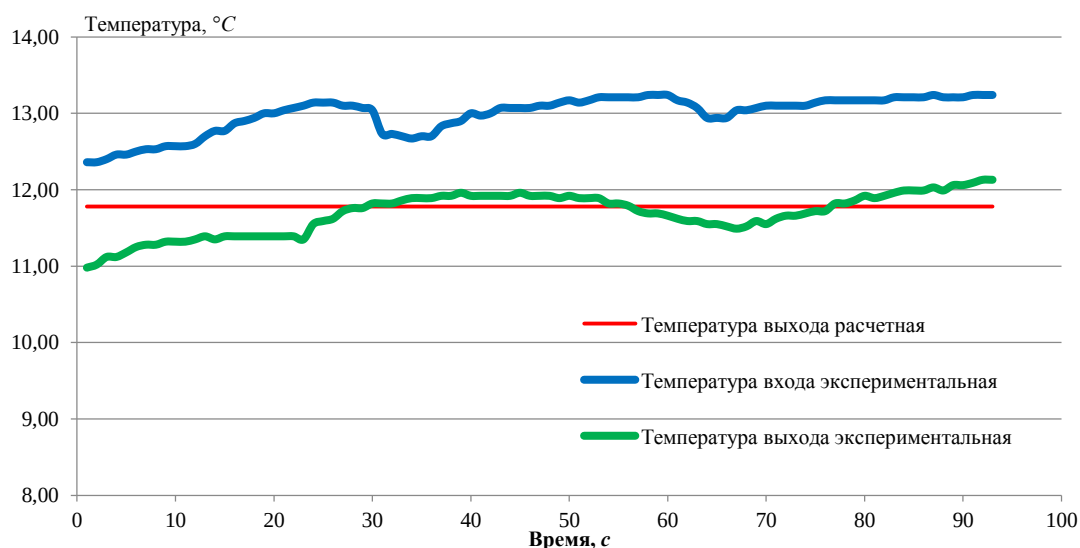


Рис. 9. Сравнение экспериментальных и расчётных данных по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам температуре воздуха $t = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$ при положении крана регулировки кратности 9

Для подтверждения экспериментальных данных по определению параметров интенсивности охлаждения компрессионной пены при подаче по насосно-рукавным системам была разработана физическая модель движения компрессионной пены по круглым трубопроводам. С помощью физической модели движения компрессионной пены по пожарным рукавам были обработаны экспериментальные данные, полученные в ходе экспериментальных исследований. Погрешность экспериментальных данных с расчётными не превышала более 15 %, что говорит о правильно разработанной методике проведения экспериментальных исследований и физической модели движения компрессионной пены по пожарным рукавам при воздействии низких температур.

Литература

1. Камлюк А. Н., Навроцкий О. Д., Грачулин А. В. Тушение пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017. Т. 1, № 1. С. 44-53.
2. Алешков М. В. Особенности тушения крупных пожаров на территории Российской Федерации при внешнем воздействии опасных природных явлений // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 5. С. 59-64.
3. Молчанов В. П., Федяев В. Д., Гумиров А. С., Стругов А. О. Исследование параметров массового расхода при подаче по насосно-рукавным системам компрессионной пены // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 4. С. 5-10. <https://doi.org/10.25257/FE.2020.4.5-10>
4. Brinkley J., Depew R. Capabilities and limitations of compressed air foam systems (CAFS) for structural firefighting // The Fire Protection Research Foundation. 2012. 58 p.
5. Навроцкий О. Д., Заневская Ю. В., Грачулин А. В., Карпенчук И. В., Емельянов В. К. Исследование параметров пены, подаваемой с помощью пеногенерирующей системы со сжатым воздухом // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2011. № 2 (30). С. 125-132.
6. Kim A. K., Crampton G. P. Evaluation of the fire suppression effectiveness of manually applied compressed-air-foam (CAF) system // Fire technology. 2012. № 48 (3). Pp. 549-564.
7. Lu Q., Bao Zh., Chen T., Zhang X., Fu X. Experimental study on the performance of class A foam in extinguishing class A fires // Fire Science and Technology. 2013. № 2. Pp. 337-389.
8. Синельникова Е. А., Слепцова И. Н., Кротова А. А. Пожарные ручные стволы для подачи компрессионной пены // Матер. XXVIII междунар. науч.-практ. конф. "Актуальные проблемы пожарной безопасности": в 2 ч. / Международный салон средств обеспечения безопасности "Комплексная безопасность – 2016", Ногинск. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2016. С. 143-147.
9. Алешков М. В., Федяев В. Д., Гумиров А. С., Шульпинов А. А. Применение компрессионной пены при тушении пожаров объектов нефтегазового комплекса при отрицательных температурах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 4. С. 8-15. <https://doi.org/10.25257/FE.2020.4.8-15>

Материал поступил в редакцию 10 апреля 2021 г.; принят к публикации 15 июня 2021 г.

M. V. Aleshkov, T. G. Merkushkina, V. D. Fedyaev, A. S. Gumirov
(Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia;
e-mail: aleshkov.m@mail.ru)

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS OF THE COOLING STRENGTH OF COMPRESSION FOAM WHEN FEEDING THROUGH PUMPING AND HOSE SYSTEMS AT LOW TEMPERATURES

ABSTRACT

Introduction. The article describes a methodology and a program of experimental studies to determine the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through pumping and hose systems at low temperatures. The numerical values of the parameters of the cooling strength of the compression foam when feeding through the fire hose 20 m long are determined. The experimental dependences of the parameters of the cooling strength of the compression foam on the multiplicity and mass flow are obtained.

Goals and objectives. A program and methodology for experimental studies to determine the parameters of the intensity of cooling of compression foam when feeding through pumping and hose systems has been developed. To carry out experimental studies, the following tasks were set:

- development of a measuring complex for determining the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through pumping and hose systems at negative temperatures;
- determination of the physical model of the movement of the compression foam when feeding through the fire hoses;
- development of a program and methodology for experimental research to determine the mass flow rate of compression foam.

Methods. Methods of mathematical analysis of statistical data obtained during experimental data were used to determine the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through the pumping and hose systems.

Results and its discussion. The numerical value of the cooling of the compression foam when feeding through the pumping-hose systems at low temperatures was obtained experimentally, depending on the multiplicity along the length of the hose line.

Conclusions. 1. A program and methodology for conducting experimental studies to determine the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through pumping and hose systems at low temperatures has been developed.

2. As a result of the experimental studies, data were obtained on the rates and parameters of the cooling strength of the compression foam when feeding through fire hoses in winter at various negative temperatures. To measure the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through fire hoses at negative ambient temperatures, a measuring complex was developed and assembled.

3. The data obtained will make it possible to evaluate the parameters of the compression strength of foam cooling when feeding through the pumping and hose systems at low temperatures.

Key words: intensity of cooling, compression foam, foam-air mixture, pumping-hose system, foam generating unit, a unit for generating and supplying compression foam, low temperatures.

For citation: Aleshkov M. V., Merkushkina T. G., Fedyaev V. D., Gumirov A. S. Investigation of the parameters of the cooling strength of compression foam when feeding through pumping and hose systems at low temperatures. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, 2021, vol. 2 (92), pp. 8-19 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/TTS.2021.2.92.8-19>

References

1. Kamluk A.N., Nawrocki A.D., Grachulin A.V. Fire extinguishing by compressed air foam systems. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi / Journal of Civil Protection of the MES of the Republic of Belarus*, 2017, vol. 1, no 1. pp. 44-53 (in Russian).
2. Aleshkov M. V. Peculiarities of extinguishing large-scale fires on the territory of the Russian Federation under the external effect of hazardous natural phenomena. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 59-64 (in Russian).
3. Molchanov V. P., Fedyaev V. D., Gumirov A. S., Strugov A. O. Analysis of mass flow parameters while delivering compressed air foam through pump-and-hose systems. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya / Fire and emergencies: prevention, elimination*, 2020, no. 4, pp. 5-10 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/FE.2020.4.5-10>
4. Brinkley J., Depew R. Capabilities and limitations of compressed air foam systems (CAFS) for structural firefighting. *The Fire Protection Research Foundation*, 2012, 58 p.
5. Navrotsky O. D., Zanevskaya Yu. V., Grachulin A. V., Karpenchuk I. V., Emel'yanov V. K. *Issledovanie parametrov peny, podavaemoy s pomoshch'yu penogeneriruyushchey sistemy so szhatym vozdukhom* [Investigation of the parameters of foam supplied using a foam generating system with compressed air]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya / Emergencies: prevention and elimination*, 2011, no. 2 (30), pp. 125-132.
6. Kim A. K., Crampton G. P. Evaluation of the fire suppression effectiveness of manually applied compressed-air-foam (CAF) system. *Fire technology*, 2012, no. 48 (3), pp. 549-564.
7. Lu Q., Bao Zh., Chen T., Zhang X., Fu X. Experimental study on the performance of class A foam in extinguishing class A fires. *Fire Science and Technology*, 2013, no. 2, pp. 337-389.
8. Sinelnikova E. A., Sleptcova I. N., Krotova A. A. *Pozharnye ruchnye stvol'y dlia podachi kompressionnoi peny* [Firefighters hand barrels for compression foam supply]. *Mater. XXVIII mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Aktual'nye problemy pozharnoy bezopasnosti": v 2 ch. / Mezhdunarodnyy salon sredstv obespecheniya bezopasnosti "Kompleksnaya bezopasnost' – 2016"*, Noginsk [Proceed. of XXVIII International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Fire Safety": at 2 parts / International Salon of Safety Means "Integrated Security – 2016", Noginsk], Balashikha, All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia Publ., 2016, pp. 143-147.
9. Aleshkov M. V., Fedyaev V. D., Gumirov A. S., Shulpinov A. A. Application of compression foam for extinguishing fires at oil and gas industry facilities at low temperatures. *Pozhary i chrezvychaynye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiya / Fire and emergencies: prevention, elimination*, 2020, no. 4, pp. 8-15 (in Russian). <https://doi.org/10.25257/FE.2020.4.8-15>

Received April 10, 2021; accepted June 15, 2021

Информация об авторах

АЛЕШКОВ Михаил Владимирович
д-р техн. наук, профессор; заместитель
начальника Академии по научной работе;
Академия Государственной противопо-
жарной службы МЧС России; Российская
Федерация, 129366, г. Москва, ул. Бориса
Галушкина, д. 4; ORCID ID: 0000-0001-
7844-1955; РИНЦ Author ID: 257856;
e-mail: aleshkov.m@mail.ru

МЕРКУШКИНА Татьяна Григорьевна
канд. техн. наук; профессор учебно-
научного комплекса пожарной безопасно-
сти объектов защиты; Академия Госу-
дарственной противопожарной службы МЧС
России; Российская Федерация, 129366,
г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4;
ORCID ID: 0000-0002-2831-4357;
РИНЦ Author ID: 766467; e-mail:
tmerkushkina@yandex.ru

ФЕДЯЕВ Владислав Дмитриевич
канд. техн. наук; заместитель начальника
центра – начальник отдела организации
научных исследований центра организации
научных исследований и научной инфор-
мации; Академия Государственной проти-
вопожарной службы МЧС России; Россий-
ская Федерация, 129366, г. Москва,
ул. Бориса Галушкина, д. 4; ORCID ID:
0000-0002-4217-6739; РИНЦ Author ID:
766510; e-mail: fedyaeff.v@yandex.ru

ГУМИРОВ Андрей Сергеевич
адъюнкт факультета подготовки научно-
педагогических кадров; Академия Госу-
дарственной противопожарной службы
МЧС России; Российская Федерация,
129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина,
д. 4; ORCID ID: 0000-0001-8550-5179;
РИНЦ Author ID: 1052288; e-mail:
romb55cool2014@yandex.ru

Information about the authors

ALESHKOV Mikhail Vladimirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor;
Deputy Head of the Academy for scientific
work; Academy of State Fire Service
of EMERCOM of Russia; Russian Federation,
129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4;
ORCID ID: 0000-0001-7844-1955;
RSCI Author ID: 257856; e-mail:
aleshkov.m@mail.ru

MERKUSHKINA Tatiana Grigorievna
Candidate of Technical Sciences; Professor
of Educational and Scientific Complex of Fire
Safety of Objects of Protection; Academy
of State Fire Service of EMERCOM of Rus-
sia; Russian Federation, 129366, Moscow,
Borisa Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-
0002-2831-4357; RSCI Author ID: 766467;
e-mail: tmerkushkina@yandex.ru

FEDYAEV Vladislav Dmitrievich
Candidate of Technical Sciences; Deputy
Head of the Center – Head of the Research
Organization Department of the Center
for the Organization of Scientific Research
and Scientific Information; Academy of State
Fire Service of EMERCOM of Russia;
Russian Federation, 129366, Moscow, Borisa
Galushkina St., 4; ORCID ID: 0000-0002-
4217-6739; RSCI Author ID: 766510; e-mail:
fedyaeff.v@yandex.ru

GUMIROV Andrey Sergeevich
Postgraduate Student, Faculty of Training
of Scientific and Pedagogical Personnel;
Academy of State Fire Service of
EMERCOM of Russia; Russian Federation,
129366, Moscow, Borisa Galushkina St., 4;
ORCID ID: 0000-0001-8550-5179; RSCI Au-
thor ID: 1052288; e-mail:
romb55cool2014@yandex.ru