

*А.А. Таранцев<sup>1</sup>, А.Л. Холостов<sup>2</sup>, И.В. Кушпиль<sup>3</sup>, А.А. Таранцев<sup>2</sup>*  
 (<sup>1</sup>СПБУ ГПС МЧС России, <sup>2</sup>Академия ГПС МЧС России, <sup>3</sup>Институт проблем транспорта  
 им. Н.С. Соломенко РАН; e-mail: t\_54@mail.ru)

## О НОВОМ ПОДХОДЕ К ТУШЕНИЮ ПОЖАРА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Рассмотрена проблема тушения пожаров на объектах в арктической зоне и на крайнем севере. Ввиду сложности использования воды для тушения пожара в условиях низких температур, предложено осуществлять продувку помещений холодным воздухом. При этом происходит замедление скорости горения и удаление дыма. Приведены результаты компьютерного моделирования опасных факторов пожара в изолированном отсеке, свидетельствующие о целесообразности такого способа подавления пожара.

Ключевые слова: арктическая зона, крайний север, обитаемые объекты, пожарная безопасность, продувка холодным воздухом.

### Введение

Современный исторический этап развития России и некоторых других стран предусматривает расширение присутствия людей в северных районах, в том числе в арктической зоне (рис. 1)<sup>1,2,3</sup>. Это обусловлено многими обстоятельствами: необходимостью разведки и добычи полезных ископаемых, прокладки транспортных магистралей (в том числе трубопроводов), наличием объектов Министерства обороны и МЧС России, а также наличием объектов энергетики, обеспечивающими их функционирование.



**Рис. 1.** Арктическая зона России

<sup>1</sup> Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу / Утверждены Президентом РФ 18.09.2008, № Пр-1069;

<sup>2</sup> Указ Президента РФ № 296 от 2 мая 2014 г. "О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации";

<sup>3</sup> Указ Президента РФ № 50 от 3 февраля 2015 г. "О государственной комиссии по вопросам развития Арктики"

Объекты (рис. 2), (в том числе объекты энергетики), предназначенные для функционирования в условиях низких температур, как правило, выполняются в виде теплоизолированных модулей с высоким соотношением уровня энергонасыщенности к объёму [1] и имеют большую удельную пожарную нагрузку. Эти обстоятельства, в свою очередь, обуславливают высокий риск возникновения пожаров с соответствующими последствиями (рис. 3).



**Рис. 2.** Объекты в арктической зоне и на крайнем севере, выполненные на основе теплоизолированных модулей



**Рис. 3.** Пример последствия пожара на объектах в условиях низких температур

## Проблема

Даже при оборудовании таких объектов системами автоматической пожарной сигнализации и установками автоматического пожаротушения, как это предусматривает СП 5.13130.2009<sup>4</sup>, необходимо внедрять отдельные решения как в процессе их эксплуатации [1], так и по ликвидации пожаров силами пожарных подразделений или специализированных команд из числа персонала объектов [2, 3]. Несмотря на отдельные разработки [4-6], позволяющие использовать температурно-активированную воду, процесс тушения с применением воды осложняется в условиях низких температур. Кроме того, на объектах энергетики тушение пожара с использованием воды не всегда возможно. Результатом этого может являться полное выгорание жилых и служебных модулей (помещений) со всеми отрицательными последствиями для функционирования объектов и их персонала.

## Подавление пожара холодным воздухом

Такое положение дел требует изыскания, кроме существующих [4-6], новых тактических приёмов тушения пожаров на объектах энергетики в условиях низких температур. Одним из таких приёмов может являться продувка горящего объёма низкотемпературным воздухом. При этом некоторый риск "раздувания" пожара притоком кислорода подаваемого воздуха должен компенсироваться падением среднеобъёмной температуры и срывом пламени набегающим воздушным потоком.

Техническая реализация такого приёма может заключаться в оборудовании одной части (торца) модуля нагнетающим вентилятором с нормально закрытым теплоизолированным люком, а в другой части (торце) – нормально закрытым люком и вытяжным вентилятором дымоудаления или без него. Включение вентилятора (вентиляторов) и вскрытие теплоизолированных люков может производиться как автоматически от датчиков, так и в ручном режиме персоналом.

Предварительная оценка успешности применения приёма продувки горящего объёма модуля низкотемпературным воздухом основывается на значительном замедлении реакции горения.

---

<sup>4</sup> СП 5.13130.2009 "Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования"

Полагая, что скорость этой реакции описывается уравнением Аррениуса [7]:

$$V_0 = V_{\max} \exp\left(-\frac{E}{RT_0}\right), \quad (1)$$

где  $V_{\max}$  – предельно возможная скорость реакции;

$R$  – универсальная газовая постоянная;

$E$  – энергия активации;

$T_0$  – температура, °K,

снижение интенсивности горения может быть определено по выражению:

$$\frac{V_x}{V_0} = \exp\left(-k \frac{E}{RT_0}\right), \quad (2)$$

где  $V_x$  – скорость реакции при продувке холодным воздухом;

$k$  – коэффициент ослабления реакции, оцениваемый для пониженной среднеобъёмной температуры  $T_x$  при продувке по выражению:

$$k = \frac{T_0}{T_x} - 1. \quad (3)$$

Кроме этого, эффективность подавления пожара продувкой холодным воздухом можно подтвердить путём сопоставления мощности  $P_{\Pi}$  тепловыделения при горении пожарной нагрузки и мощности  $P_x$ , отбираемой потоком холодного воздуха. Согласно [8]:

$$P_{\Pi} = qS_{\Pi}, \quad (4)$$

где  $q$  – удельная мощность тепловыделения, кВт/м<sup>2</sup>;

$S_{\Pi}$  – площадь пожара, м<sup>2</sup>.

Величину  $P_x$  можно оценить из выражения:

$$P_x = WSpC_p\Delta T, \quad (5)$$

где  $W$  – скорость нагнетаемого холодного воздуха, м/с;

$S$  – площадь люка, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность нагнетаемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C_p$  – удельная изобарная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг·K);

$\Delta T$  – повышение температуры нагнетаемого воздуха после прохождения зоны горения.

Например, если величина удельной мощности тепловыделения  $q \approx 200$  кВт/м<sup>2</sup>, а площадь пожара на момент начала продувки  $S_{\Pi} = 4$  м<sup>2</sup>, то, согласно (4):  $P_{\Pi} \approx 800$  кВт. С другой стороны, если холодный воздух ( $C_p \approx 1$  кДж/(кг·K),  $\rho \approx 1,3$  кг/м<sup>3</sup>) нагнетается вентилятором со скоростью  $W = 10$  м/с через проём площадью 0,6 м<sup>2</sup> и нагревается с температуры

$T_X = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $T_0 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$  (то есть  $\Delta T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), то, согласно (5):  $P_X = 10 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 100 \approx 780\text{ кВт}$ . Даже такая грубая прикидка свидетельствует о возможности отбора большей части мощности пожара нагнетаемым воздухом.

Вышеизложенное позволяет предположить, что продувка холодным воздухом горящего помещения может замедлить развитие пожара или даже подавить его, что облегчит последующие действия по ликвидации пожара.

### Моделирование подавления пожара холодным воздухом

Для подтверждения эффекта подавления пожара продувкой холодным воздухом был проведён компьютерный эксперимент с использованием полевой модели пожара [8], реализуемой программой PyroSim [9]. В её среде был задан вид условного теплоизолированного модуля с пожарной нагрузкой и смоделировано горение в его средней части с последующей продувкой от левого торца с вентилятором к правому с отверстием. Исходные данные для расчётов: размеры помещения  $h = 2,2\text{ м}$ ,  $b = 2,2\text{ м}$ ,  $a = 20,0\text{ м}$ ; пожар класса  $A$  (удельная мощность тепловыделения  $\approx 200\text{ кВт/м}^2$ ); температура наружного воздуха  $t = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; скорость продувки  $10\text{ м/с}$ ; время начала продувки – 60-я секунда пожара; включение нагнетающего вентилятора и открытие торцевых люков (диаметры люков  $0,5\text{ м}$ ) либо автоматически либо от извещателей, либо персоналом модуля.

Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 4-6. Предполагаемый эффект подавления пожара холодным воздухом подтвердился – уже через несколько секунд после начала продувки температура в левой части начала снижаться (рис. 5), а почти через 2 мин начался срыв пламени (рис. 6) и среднеобъёмная температура значительно снизилась.

В результате компьютерного моделирования получены зависимости **опасных факторов пожара (ОФП)** – температуры и концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе – в левой части модуля (рис. 7), в центре (рис. 8) и в правой части (рис. 9). Это вполне соответствует физике процесса – сначала температура и концентрация  $\text{CO}_2$  близки к начальным значениям, затем начинают быстро расти, особенно в центральной части, где начался пожар, а после продувки значения ОФП снижаются. Причём температура падает до отрицательных значений (рис. 7а, 8а и 9а).

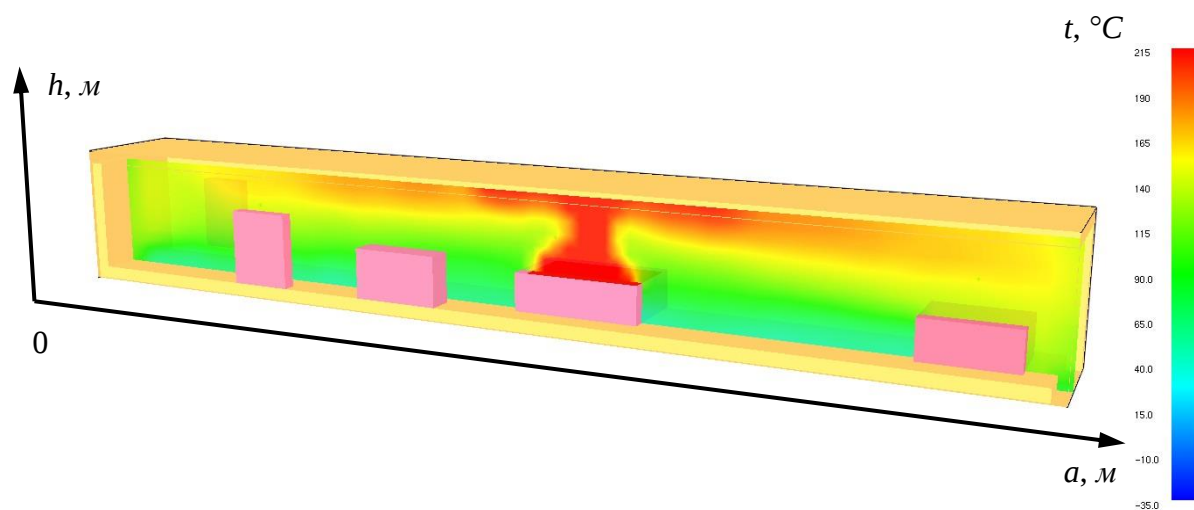


Рис. 4. Возгорание в теплоизолированном модуле

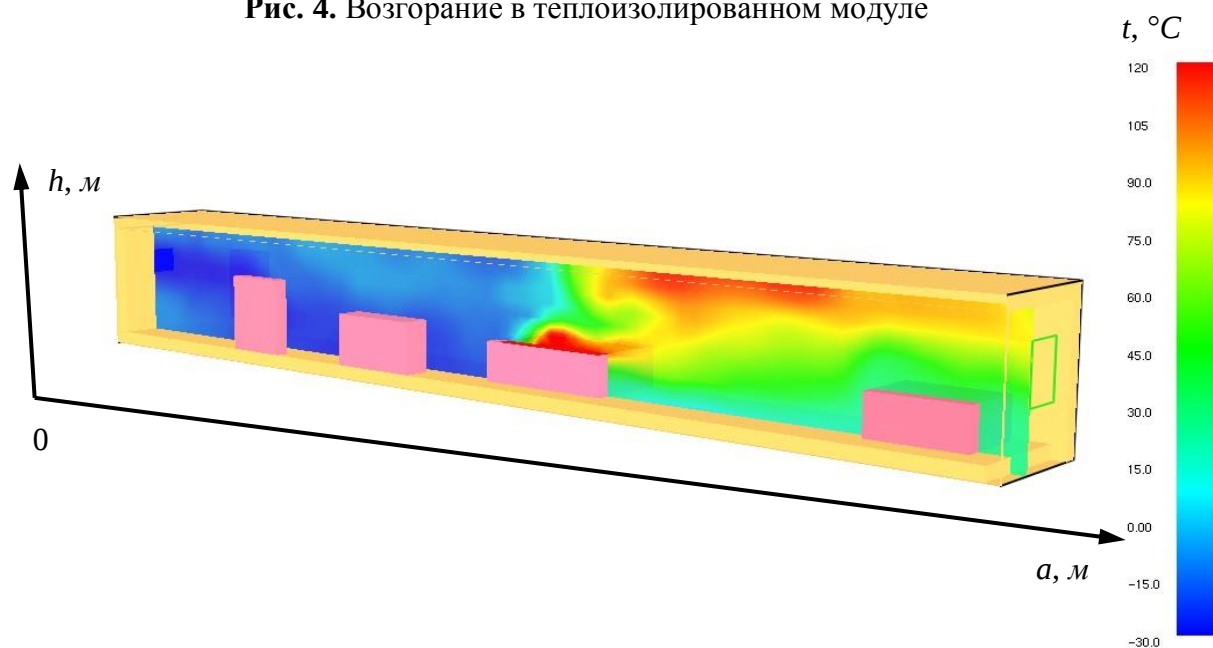


Рис. 5. Подача низкотемпературного ( $-40\text{ }^\circ\text{C}$ ) воздуха со скоростью  $10\text{ м/с}$  на 65-й секунде пожара

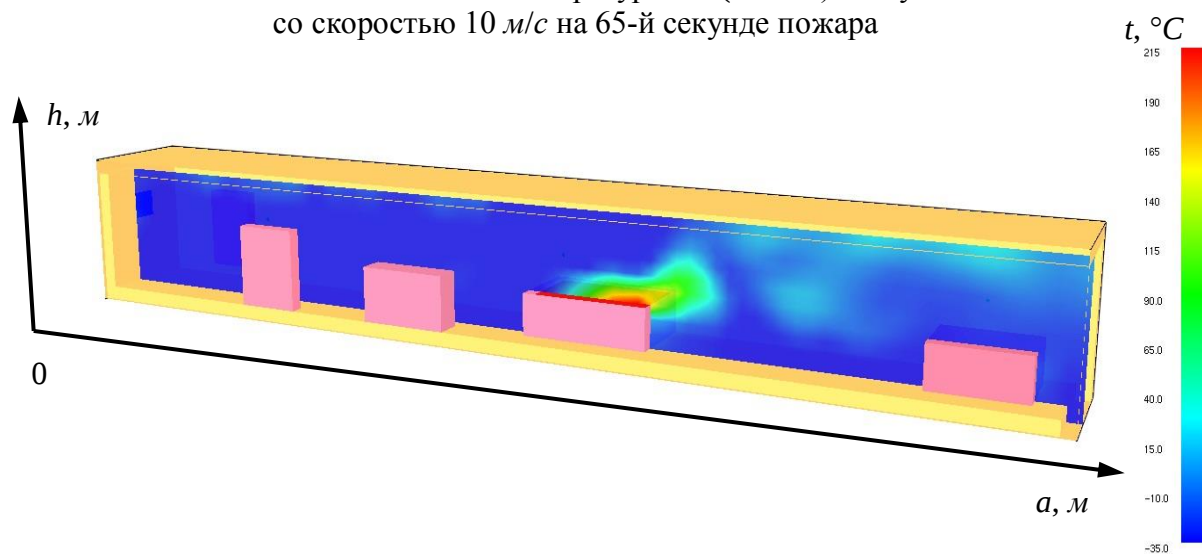


Рис. 6. Подавление пожара – срыв пламени низкотемпературным потоком на 130-й секунде пожара

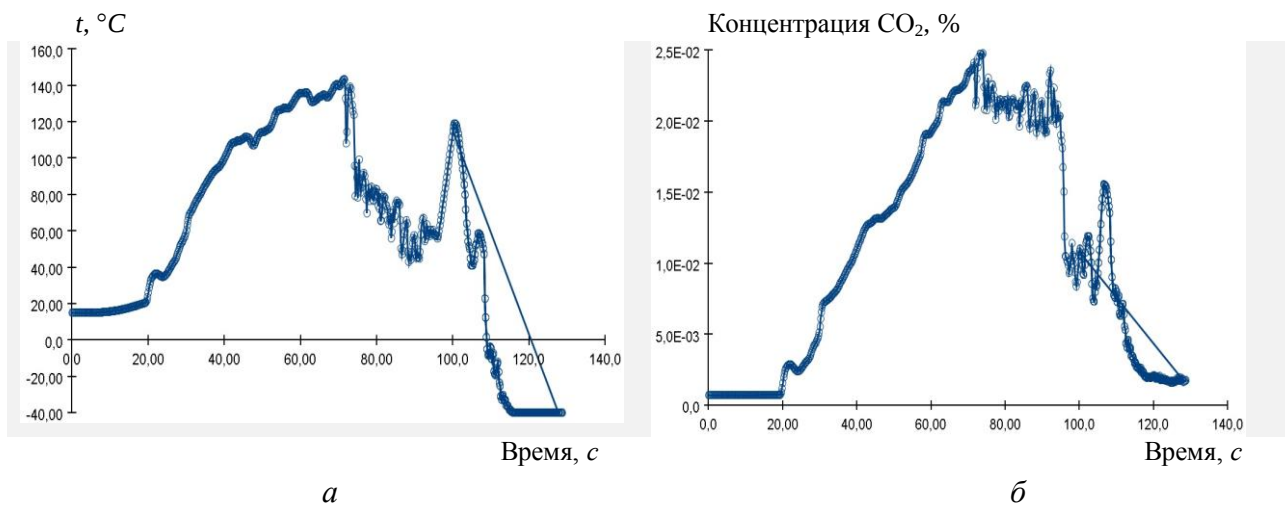


Рис. 7. Динамика температуры  $t$  (а) и концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе (б) в левой части модуля

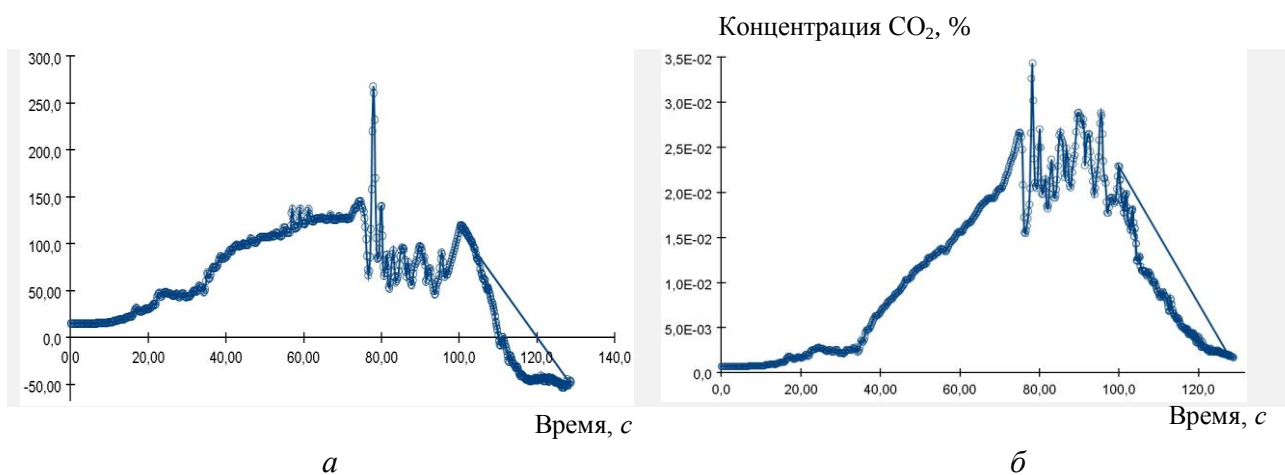


Рис. 8. Динамика температуры  $t$  (а) и концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе (б) в центре модуля

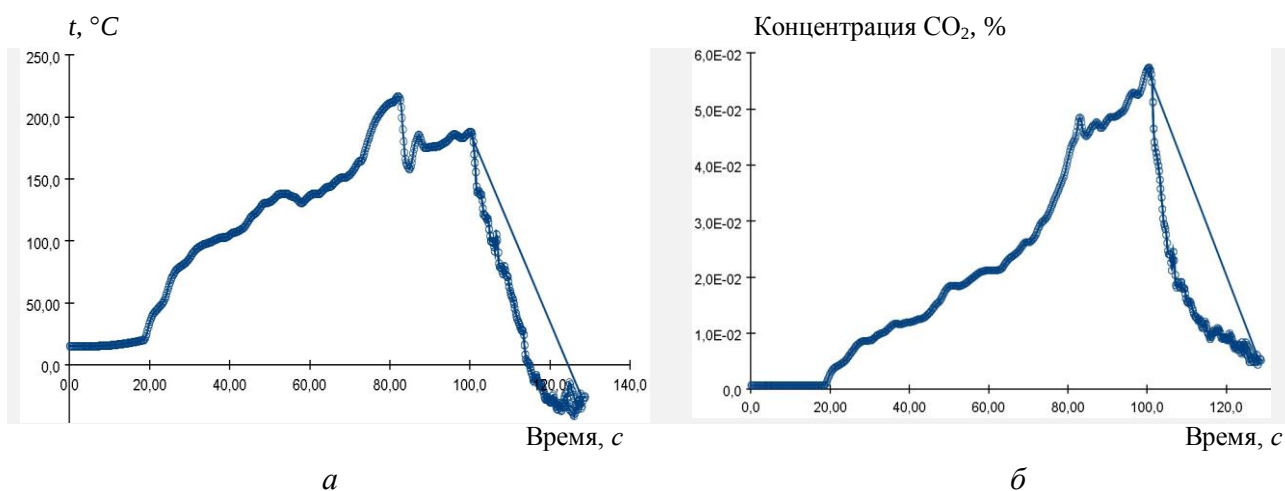


Рис. 9. Динамика температуры  $t$  (а) и концентрации CO<sub>2</sub> в воздухе (б) в правой части модуля

## Вывод

Таким образом, по оценкам, проведённым с использованием уравнения Аррениуса, можно сделать вывод, что продувка низкотемпературным воздухом горящего модуля приводит к резкому снижению в нём уровней ОФП, что фактически подавляет пожар, обеспечивает условия для эвакуации людей и облегчает последующие действия пожарного подразделения по ликвидации пожара. В дальнейшем представляется целесообразным провести комплекс исследований влияния температуры холодного воздуха, объёмного расхода его подачи и времени начала продувки на подавление пожара в модулях различных объёмов с учётом параметров пожарной нагрузки, которые позволят определить границы, при которых пожар будет локализован с помощью воздуха (объём, давление, скорость потока и пр.).

## Литература

1. Гордиенко Д.М. Проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазодобычи в арктическом бассейне // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (71). 2017. С. 53-61. <http://academygps.ru/ttb>.
2. Таранцев А.А., Холостов А.Л., Нодь А.П., Таранцев А.А. Моделирование достаточности мобильных подразделений экстренных служб при возникновении ситуаций повышенной сложности // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 10. С. 59-66. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.59-66.
3. Ищенко А.Д., Холостов А.Л., Таранцев А.А., Жуков А.О. Моделирование элементов логистики в чрезвычайных ситуациях на труднодоступных объектах // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 4. С. 41-49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49.
4. Алешков М.В., Безбородько М.Д., Ольховский И.А., Двоенко О.В. История развития технических средств борьбы с пожарами в условиях низких температур // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 11. С. 77-83.
5. Алешков М.В., Безбородько М.Д. Применение мобильных средств пожаротушения для защиты объектов атомной энергетики от крупных пожаров в условиях экстремально низких температур // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2014. № 3. С. 37-45.
6. 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.
7. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика. М.: Мир, 2000. 176 с.
8. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара: учеб. пос. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
9. <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara>.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 15 декабря 2017 г.

**A.A. Tarantsev, A.L. Holostov, I.V. Kushpil, A.A. Tarantsev**  
**A NEW APPROACH TO FIRE FIGHTING AT LOW TEMPERATURES**  
**ON ENERGY FACILITIES**

During the operation of facilities in the Arctic Zone and in the Far North at low temperatures, despite some technological developments, the process of extinguishing with the use of water is complicated. The article considers a new approach to fire extinguishing in low temperature conditions by means of blowing the volume of burning space with low-temperature air.

The idea of technical realization of such method is described. Preliminary assessment of the success of the application of the method of purging of the burning volume with low-temperature air is based on a significant slowdown in the combustion reaction.

Rationale for the successful use of this method is provided.

To confirm the effect of fire suppression by blowing with cold air, a computer experiment with using a field fire model implemented by the PyroSim program was conducted.

As a result of computer simulation the time dependences of fire hazards: temperature and carbon dioxide concentration in the simulated room are obtained. The results are presented in the form of graphs.

Key words: Arctic zone, Far North, inhabited objects, fire safety, blowing by cold air.

### References

1. Gordienko D.M. Problems of ensuring the fire safety of oil and gas production facilities in the Arctic basin. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, vol. 1 (71), 2017, pp. 53-61. <http://academygps.ru/ttb> (in Russ.).
2. Tarantsev A.A., Holostov A.L., Nod A.P. Modeling of sufficiency of the mobile emergency units in case of situations of high complexity. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2016, vol. 25, no 10, pp. 59-66. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.59-66 (in Russ.).
3. Ishchenko A.D., Kholostov A.L., Tarantsev A.A., Zhukov A.O. Modeling of the elements of logistics in emergency situations on the distant objects. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 41-49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.41-49 (in Russ.).
4. Aleshkov M.V., Bezborodko M.D., Olkhovskiy I.A., Dvoenko O.V. History of the development of technical means to fight fire, adapted for work at low temperatures. *Pozharovzryvobezopasnost*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 77-83. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.77-83 (in Russ.).
5. Aleshkov M., Bezborodko M. Application of movable fire extinguishment means for protecting nuclear power plants from large fires under extremely low temperature conditions. *Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia*, 2014, no. 3, pp. 37-45 (in Russ.).
6. 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*, 2013, vol. 22, no. 5, pp. 59-64.
7. Shtiller V. *Uravneniye Arreniusa i neravnovesnaya kinetika* [Arrhenius equation and non-equilibrium kinetics]. Moscow, Mir Publ., 2000, 176 p.
8. Koshmarov Yu.A. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara* [Prediction of fire hazards]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2000, 118 p.