

УДК 630\*432.331:614.841.4

## ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩЕЙ ПЕНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

<sup>1</sup>Кректун А.А., <sup>2</sup>Залесов С.В., <sup>1</sup>Хабибуллин А.Ф.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России», Екатеринбург, e-mail: alexkrec96@mail.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

На основе литературных данных и материалов собственных исследований предпринята попытка определения перспективности использования быстротвердеющей пены при тушении природных пожаров. Отмечается, что в связи с увеличением показателей фактической горимости лесов, вызванной изменением климата как в нашей стране, так и за ее пределами, участились случаи перехода огня природных пожаров в населенные пункты и даже гибели людей. Ущерб от природных пожаров составляет миллионы долларов. Для защиты населенных пунктов от природных пожаров используются различные химические вещества. В частности, в последние годы для тушения природных пожаров используется система пожаротушения NATISK, создающая компрессионную пену. Указанная пена сокращает расход воды на тушение, а по причине высокой липучести создает пенное покрытие даже на вертикальных поверхностях. Особо следует отметить, что компрессионная пена может использоваться как для тушения кромки пожара, так и для создания опорных и заградительных полос. Новым шагом при тушении природных пожаров является применение быстротвердеющей пены. Указанная полимеризованная кремнеземная пена наряду с липучестью обладает очень высокой стойкостью, что позволяет создавать пенное покрытие не только на древесной, кустарниковой и травянистой растительности, но и на зданиях и сооружениях на период до выпадения осадков. По эффективности быстротвердеющая пена превосходит воду в 50 раз, а пены, созданные на основе обычных пенообразователей, в 15 раз. Анализ данных о быстротвердеющей пене позволяет рекомендовать ее для широкого применения при защите населенных пунктов от природных пожаров.

**Ключевые слова:** природный пожар, лесной пожар, ликвидация пожара, защита населенных пунктов, компрессионная пена, быстротвердеющая пена

## PERSPECTIVE OF FAST CURING FOAM APPLICATION FOR POPULATED AREAS PROTECTION FROM NATURE FIRES

<sup>1</sup>Krektunov A.A., <sup>2</sup>Zalesov S.B., <sup>1</sup>Khabibullin A.F.

<sup>1</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, e-mail: alexkrec96@mail.ru;

<sup>2</sup>Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: Zalesov@usfeu.ru

Based on the literature data and materials of our own research, an attempt was made to determine the prospects for using fast-hardening foam in extinguishing wildfires. It is noted that, in connection with the increase in the indicators of the actual burning of forests caused by climate change both in our country and outside it, there have been more cases of the transition of fire from natural fires to populated areas and even death of people. The damage from wildfires is millions of dollars. Various chemicals are used to protect human settlements from natural fires. In particular, in recent years, the fire extinguishing system NATISK has been used to extinguish wildfires, creating a compression foam. This foam reduces the water consumption for quenching, and because of high stickiness, it creates a foam coating even on vertical surfaces. Especially it should be noted that the compression foam can be used both for extinguishing the edge of the fire, and for creating support and barrier strips. A new step in extinguishing wildfires is the use of fast-hardening foam. This polymerized silica foam along with the stickiness has very high resistance, which makes it possible to create a foam coating not only on woody, shrubby and grassy vegetation, but also on buildings and structures for the period before precipitation. By efficiency, the fast-hardening foam is 50 times greater than water, and the foam, created on the basis of conventional foaming agents, is 15 times. Analysis of data on fast-hardening foam makes it possible to recommend it for wide application in protecting human settlements from natural fires.

**Keywords:** native fire, forest fire, fire suppression, populated area protection, compressed foam, fast-hardening foam

В последние десятилетия, в связи с изменением климата, наблюдается резкое увеличение количества природных пожаров. Несмотря на предпринимаемые усилия по совершенствованию способов и средств тушения природных пожаров изменить ситуацию в лучшую сторону не удастся. Так, только на территории лесного фонда Российской Федерации ежегодно возникает до 35 тыс. лесных пожаров, а пройденная

ими площадь в отдельные годы превышает 2,5 млн га. По официальным данным Рослесхоза ущерб от лесных пожаров ежегодно составляет около 20 млрд руб. [1].

Особо следует отметить, что лесные пожары нередко «приходят» в населенные пункты, уничтожая не только промышленные и жилые объекты, но и создавая реальную опасность для жизни населения. Так, в 2010 г. в результате лесных пожаров более

2,5 тыс. семей осталось без крова и более 60 человек погибло в огне или отравилось продуктами горения. Весной 2017 в Красноярском крае и Иркутской области в результате лесных пожаров и горения сухой травы в 10 населенных пунктах было уничтожено 179 жилых домов, в которых проживало 720 человек, 6 объектов экономики и 15 нежилых строений [2].

Проблема охраны населенных пунктов от лесных пожаров остро стоит не только в Российской Федерации, но и во многих других странах. В 2016 г. лесные пожары нанесли значительный ущерб населенным пунктам Испании и Португалии. На острове Мадейра они унесли жизни четырех человек, еще порядка 80 было госпитализировано с ожогами разной степени тяжести и отравлением угарным газом. Пламя уничтожило порядка 30 строений, среди них три гостиницы, в том числе пятизвездочный отель. Сильнее всего стихия ударила по курорту Ла Мальма. Из-за угрозы распространения огня было эвакуировано более 2,5 тысяч человек [3].

В 2016 г. от лесных пожаров также сильно пострадали населенные пункты и другие объекты в Канаде. Пожар начался 1 мая 2016 г. недалеко от Форта-Мак-Мюррэй (провинция Альберта). 3 мая он прошел через населенные районы, уничтожив около 2400 строений, и привел к крупнейшей эвакуации населения в истории провинции Альберта [1].

Таким образом, защита населенных пунктов от природных пожаров стала одной из важнейших задач современности. Последнее обуславливает необходимость поиска путей совершенствования способов тушения за счет применения новых средств тушения.

Целью исследований являлось установление возможности использования быстротвердеющей пены при охране населенных пунктов от природных пожаров.

#### **Материалы и методы исследования**

Были проанализированы результаты исследований по проблеме повышения эффективности охраны населенных пунктов от природных пожаров. Эффективность использования быстротвердеющей пены сравнивалась с эффективностью использования воды и компрессионной пены.

В процессе исследований подбирались смежные участки, близкие по видовому составу и надземной фитомассе живого напочвенного покрова. Участки были равной

величины и в натуре закреплялись кольями. Затем один из участков обрабатывался быстротвердеющей пеной с использованием огнетушителя ВП-50 СКДП из расчета 0,5 л/м<sup>2</sup>. Аналогичный участок обрабатывался компрессионной пеной с использованием системы пожаротушения NATISK с той же дозировкой, а третий – водой из ранцевого огнетушителя из расчета 0,5 л/м<sup>2</sup>. Опыт производился в трехкратной повторности. Затем осуществлялся мониторинг за пожарным созреванием напочвенных горючих материалов на обработанных участках.

Особое внимание в работе уделено анализу научной и ведомственной литературы по проблеме использования быстротвердеющей пены.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Одним из способов совершенствования охраны населенных пунктов от природных пожаров является использование воздушно-механической пены. Ее можно использовать для прокладки заградительных и опорных полос, а также непосредственного тушения огня. Перспективным способом в этом направлении представляется применение компрессионной пены, так как она обладает повышенной стойкостью и способностью налипать на лесные горючие материалы и постройки в населенных пунктах [4]. Полевским заводом «Спецавтотехника» налажен выпуск систем пожаротушения NATISK, способных создавать как «сухую», так и «мокрую» компрессионную пену, т.е. пену с соотношением воды (раствора пенообразователя) и воздуха 1:20 и 1:5 соответственно. Указанная пена создается в системе пожаротушения NATISK за счет воздействия на раствор, содержащий пенообразователь, воздуха под высоким давлением. Благодаря ячеистой структуре пена надежно обволакивает лесные горючие материалы, препятствуя притоку воздуха к объектам горения (рисунок). Кроме того, за счет липучести пена не стекает даже с вертикальных поверхностей горючих материалов, что минимизирует ее расход. Известно, что основная масса воды, используемой при тушении лесных пожаров, стекает с горючих материалов, не смачивая их, по причине высокого поверхностного натяжения. Другими словами, тушение лесных пожаров водой значительно менее эффективно, чем тушение воздушно-механической компрессионной пеной. Последнее особенно важно, если учесть слабую освоенность лесного фонда

транспортной сетью и удаленность лесопожарных водоемов друг от друга. Компрессионная пена экологически безопасна и в природной среде быстро разрушается на инертные вещества. Не случайно интерес служб пожаротушения к компрессионной пене в последние годы резко увеличивается.

В то же время технологии пожаротушения постоянно развиваются. В частности, в практику пожаротушения входит быстротвердеющая пена (БТП).

В.В. Богданова с соавторами [5] предлагает использовать при тушении пожаров напыление пенополиуретана марки «Изолан 125». В результате серии лабораторных, установочных и полигонных испытаний установлено наличие огнезащитного эффекта труднотрующего пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий. Полученный состав возможно применять для предотвращения распространения горения в ограниченном пространстве, но в деле защиты населенных пунктов от природных пожаров, когда огонь движется большим фронтом, его применение, на наш взгляд, не будет эффективно.

Специалистами общества с ограниченной ответственностью научно-производственного объединения «Современное оборудование пожаротушения» (ООО НПО «СОПОТ») разработано средство пожаротушения с использованием новейшей технологии пожаров – взрывопредотвращения твердых и жидких горючих материалов. Технология является разработкой ООО НПО «СОПОТ» и получила название «Специализированная двухкомпонентная композиция

для пожаротушения» (СДКП), состоящая из компонента А и компонента Б. Новый метод позволяет осуществлять контролируемое твердение пены в интервале от 2 до 30 с.

Химическая структура и иерархическая морфология позволяют развивать термоизолирующую способность пен до значения удельной теплоемкости более 2,5 кДж/(кг•°С). Свойства данной пены позволяют достичь удельного расхода огнетушащего средства при тушении пожаров на уровне 1 л/м<sup>2</sup> по сравнению с 5 л/м<sup>2</sup> огнетушащего средства, основанного на штатном серийно выпускаемом поверхностно-активном веществе (ПАВ) [6]. В связи с вышеизложенным применение указанной технологии в деле защиты населенных пунктов от природных пожаров представляется нам целесообразным.

Преимущества быстротвердеющей пены для тушения твердых горючих материалов (далее – ТГМ) изложены в статье Д.С. Куприна [7], среди всех прочих автор выделяет повышенную растекаемость, смачиваемость и кроющую способность поверхности, а также большую адгезионную способность к поверхности почти всех видов ТГМ, что позволяет создавать на них устойчивый слой пены толщиной 3–5 см даже на вертикальных и горизонтальных («потолочных») поверхностях. Покрытые пеной ТГМ не воспламеняются даже под действием пламени газовой горелки с температурой пламени более 1000 °С в течение 3–5 минут. Кроме того, слой пены сохраняет свой объем, форму и огнезащитные свойства в течение нескольких дней.



*Живой напочвенный покров, покрытый компрессионной пеной*

В отличие от обычных пен, которые под воздействием пламени достаточно быстро испаряются, быстротвердеющая пена при нагреве не разрушается. В процессе испарения воды кристаллизация аморфных частиц кремнезема усиливается и образующийся каркас становится лишь прочнее и надежнее защищает обработанный объект [8].

При тушении непосредственно кромки природного пожара, а также создании опорных и заградительных полос очень важно иметь объективные данные об экологичности применяемых химических веществ. Известно [9], что быстротвердеющая пена содержит кремнезём и обладает возможностью впитывать воду, в том числе и из воздуха. Последнее, особенно при смачивании слоя пены, приводит к ее размягчению и в конечном счете механическому разрушению. Другими словами, быстротвердеющая пена является быстроразлагающейся, а содержащиеся в ней ингредиенты, в частности кремнезем, представляют собой химически инертные и экологически безопасные вещества. При этом не следует забывать, что при низкой влажности воздуха и отсутствии смачивания быстротвердеющая пена надежно защищает горючие материалы в течение периода до выпадения обильных осадков. Такие качества пены при ее правильном использовании обеспечивают ее широкое применение при защите населенных пунктов от природных пожаров.

Высокая эффективность процесса тушения ТГМ быстротвердеющей пеной на основе структурированных частиц кремнезёма объясняется синергетическим усилением трёх основных механизмов огнетушащего действия, к которым добавляется четвёртый: препятствие выхода продуктов пиролиза древесины в зону горения ещё до того, как температура прогретых слоёв ТГМ снизится ниже температуры начала их пиролиза.

Установлено, что пена хорошо растекается по поверхности ТГМ в первые секунды её контакта с поверхностью ТГМ. Также она обладает высокой удельной теплопоглощающей способностью (от 2600 до 1500 кДж/л) в процессе перехода от жидкого состояния в гелеобразное, а затем и в твёрдое. При этом быстротвердеющая пена успевает отвести от поверхности горящего ТГМ 1000–1250 кДж/м<sup>2</sup> за оптимальное время её отверждения (30–40 с). Отвердевшая пена переходит по стойкости в категорию «бесконечно – живущих» и обладает большим коэффициентом адгезии.

Применение в качестве огнетушащего средства пен кратностью 10–20 снижа-

ет потери, удельный расход огнетушащих средств (ОС) на тушение пожаров и время их тушения – на 25–30% [10]. Также перспективным направлением в этой сфере является применение различных смачивателей. Тушение с применением загустителей воды или смачивателей типа патентованного зарубежного пенообразователя AFFF позволяет снизить удельный расход ОС и время тушения пожара примерно в 2 раза по сравнению с тушением обычной водой [11].

Применение БТП по показателю эффективности пожаротушения, показывающему, какая площадь тушится 1 л ОС за единицу времени, превосходит применение воды практически в 50 раз, пены на основе пенообразователя типа AFFF – в 15 раз [12].

Огнезадерживающие свойства БТП испытывались не только в лабораторных условиях, но и при проведении натуральных исследований в условиях лесной растительности [13]. В ходе летних исследований противопожарные заградительные полосы прокладывались с воздуха огнестойкой быстротвердеющей пеной с помощью разработанного НПО «СОПОТ» вертолётного водосливного устройства (ВВСУ), расположенного на внешней подвеске вертолётного МИ-8МТВ. Кроме того, проводились полевые испытания ранцевого огнетушителя ВП-50-СДКП, передвижного пожарного модуля и ранцевого устройства пожаротушения с УКТП «Пурга-2», разработанных для тушения кромки пожара пеной, в том числе быстротвердеющей.

В ходе натуральных экспериментов исследовались огнезадерживающие свойства противопожарных заградительных полос, созданных огнестойкой быстротвердеющей пеной. Эксперименты проводились при III классе пожарной опасности по условиям погоды в наиболее пожароопасных типах леса: сосняки лишайниковый и вересковый. Проведенные исследования показали, что разработанные вертолётные и наземные технические средства, предназначенные для прокладки пенных заградительных полос в лесах, могут создавать противопожарные полосы из огнестойкой быстротвердеющей пены различной длины и ширины с требуемой поверхностной плотностью пены. Быстротвердеющая пена хорошо защищает от огня кроны древостоя, препятствуя переходу низового пожара в верховой. В ходе летних и наземных натуральных испытаний зафиксированы высокие адгезионные свойства быстротвердеющей пены по отношению к лесным горючим материалам.

Таким образом, применение быстротвердеющих пен при защите населенных пунктов от природных пожаров имеет очень широкие перспективы. БТП более устойчива и огнестойка в сравнении с воздушно-механической и компрессионной пеной.

Использование БТП при защите населенных пунктов от природных пожаров можно реализовать по следующим направлениям:

1. Создание заградительных полос по всему фронту надвигающегося на населенный пункт природного пожара.

2. Создание опорных полос для проведения отжига при тушении природных пожаров, приближающихся к населенным пунктам.

3. Обработка близлежащих к лесному массиву построек населенного пункта БТП для предупреждения их возгорания от огня природного пожара.

4. Обработка лесной растительности и деревьев перед населенным пунктом для предотвращения перехода низового пожара в верховой, а также остановки верхового пожара.

Использование быстротвердеющих пен в сочетании с системой противопожарного устройства позволит эффективно защитить населенные пункты от природных пожаров.

#### Список литературы

1. Кректунов А.А., Залесов С.В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. – Екатеринбург: Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. – 162 с.
2. Горим и тонем [Электронный ресурс]: Российская газета. 29.05.2017. Вып. № 7280 (114). – Режим доступа: <https://rg.ru/2017/05/29/reg-skfo/v-krasnoiarском-krae-i-irkutской-oblasti-podveli-itogi-pozharov.html> (дата обращения: 15.04.2018).
3. Горящий сезон [Электронный ресурс]: Российская газета. 11.08.2016. Вып. № 7047 (179). – Режим доступа: <https://rg.ru/2016/08/11/na-iuge-evropy-lesnye-pozhary-vyshli-iz-podkontrolia.html> (дата обращения: 15.04.2018).
4. Кректунов А.А. Научное обоснование системы охраны населенных пунктов от лесных пожаров на Среднем Урале: дис. ... канд. с.-х. наук; специальность 06.03.03. – Екатеринбург, 2016. – 182 с.
5. Богданова В.В., Тихонов М.М., Мамедов А.М. Быстротвердеющие полимерные пены для ограничения распространения и тушения пожаров // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2016. – № 2 (24). – С. 4–9.
6. Быстротвердеющая пена – новейшая технология взрывопожаропредотвращения [Электронный ресурс]: официальный сайт НПО «Сопот». – Режим доступа: [http://sopot.ru/russian/nov\\_tehn\\_15.html](http://sopot.ru/russian/nov_tehn_15.html) (дата обращения: 15.04.2018).
7. Куприн Д.С. Прорывная технология пожаро-взрывопредотвращения с помощью быстротвердеющих пен на основе структурированных частиц кремнезема / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1. – № 1(7). – С. 326–327.
8. Ерицов А.М. Совершенствование технологий создания заградительных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах авиационных работ: дис. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 2017. – 215 с.
9. ГОСТ 32509-2013 Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде. – Введ. с 22.11.2013. – М.: Стандартинформ, 2014. – 26 с.
10. Vinogradov A.V. Silica foams for fire prevention and fire-fighting / D.S. Kuprin, I.M. Abduragimov, G.N. Kuprin, E. Serebriakov, V.V. Vinogradov // ACS (American Chemical Society), Applied materials & interfaces, 13 January 2016, vol. 8 (1), pp. 294–301.
11. Абдурагимов И.М. Прорывные технологии ликвидации лесных пожаров / Г.Н. Куприн, А.В. Виноградов, Д.С. Куприн, В.В. Виноградов // Лесной комплекс Сибири. – 2015. – № 5. – С. 80–85.
12. Абдурагимов И.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. Быстротвердеющие пены – новая эра в борьбе с лесными пожарами / Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 7–13.
13. Результаты натурных исследований огнезадерживающих свойств противопожарных пенных полос долговременного действия и средств для их прокладки / В.Г. Гусев [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2016. – № 3. – С. 50–63. DOI: 10.21178/2079-6080.2016.3.50.

#### References

1. Krekturnov A.A., Zalesov S.V. Okhrana naselennykh punktov ot prirodnykh pozharov [Protection of settlements from wildfires]. Ekaterinburg: Ural. In-t GPS MChS Rossii, 2017, 162.
2. Borisov T. Gorim i tonem: Rossiiskaia gazeta. 29.05.2017. № 7280 (114). [We burn and sink. Russian newspaper. 5.29.2017. No. 7280 (114)]. Available at: <https://rg.ru/2017/05/29/reg-skfo/v-krasnoiarском-krae-i-irkutской-oblasti-podveli-itogi-pozharov.html> (accessed 15.04.2018).
3. Fediakina A. Goriashchii sezon: Rossiiskaia gazeta. 11.08.2016. № 7047 (179) [The burning season. Russian newspaper. 8.11.2016. No. 7047 (179)]. Available at: <https://rg.ru/2016/08/11/na-iuge-evropy-lesnye-pozhary-vyshli-iz-podkontrolia.html> (accessed 15.04.2018).
4. Krekturnov A.A. Nauchnoe obosnovanie sistemy okhrany naselennykh punktov ot lesnykh pozharov na Srednem Urale: dis. kand. s.-kh. nauk [Scientific justification of system of protection of settlements from wildfires on Central Ural Mountains: thesis of the candidate of agricultural sciences]. Ekaterinburg, 2016, 182.
5. Bogdanova V.V., Tikhonov M.M., Mamedov A.M. Fast-curing polymer foams for the limit of spread and extinguishing of fires [Bystruverdeishchie polimernye peny dlia ogranicheniia rasprostraneniia i tusheniia pozharov]. Vestnik Universiteta grazhdanskoi zashchity MChS Belarusi – Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus, 2016, vol. 24, no. 2, pp. 4–6.
6. Bystruverdeishchaia pena – noveishaia tekhnologiia vzryvo-pozharopredotvrashcheniia [Fast-hardening foam – The newest technology of fire and explosion prevention]. Available at: [http://sopot.ru/english/nov\\_tehn\\_15.html](http://sopot.ru/english/nov_tehn_15.html) (accessed 15.04.2018).
7. Kuprin D.S. Breakthrough technology of a požarozvryvopredotvrashcheniye by means of quick-hardening foams on the basis of the structured silicon dioxide particles [Proryvnaia tekhnologiia požarozvryvopredotvrashcheniia s pomoshch'iu bystruverdeishchikh pen na osnove strukturirovannykh chastits kremnezema]. Pozharnaia bezopasnost': problemy i perspektivy – Fire safety: problems and prospects, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 326–327.
8. Eritsov A.M. Sovershenstvovanie tekhnologii sozdaniia zagraditel'nykh i opornykh polos pri tushenii lesnykh pozharov v zonakh aviatsionnykh rabot: dis. kand. s.-kh. nauk. [Improvement of technologies of creation of protecting and basic strips at suppression of wildfires in zones of aviation works: thesis of the candidate of agricultural sciences]. Ekaterinburg, 2017, 215.
9. GOST 32509-2013 surfactants. A method of determination of biodegradability in the water environment. – Vved. With 11/22/2013. – M.: Standartinform, 2014. – 26 p.
10. Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Serebriakov E., Vinogradov V.V. Silica Foams for Fire Prevention and Firefighting. ACS. Applied materials and interfaces, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 294–301.
11. Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Vinogradov A.V., Kuprin D.S., Vinogradov V.V. Breakthrough technologies of elimination of wildfires [Proryvnye tekhnologii likvidatsii lesnykh pozharov]. Lesnoi kompleks Sibiri – Lesnoy complex of Siberia, 2015, no. 5, pp. 80–85.
12. Abduragimov I.M., Kuprin G.N., Kuprin D.S. Fast-hardening foams, a new era in fighting forest fires [Bystruverdeishchie peny – novaia era v bor'be s lesnymi požarami]. Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia – Landscape Fires, 2016, no. 2, pp. 7–13.
13. Gusev V.G., Gutsev N.D., Kuprin G.N., Kuprin D.S., Eritsov A.M., Stepanov V.N. The results of field studies of fire-retardant properties of firefighting foam strips long-term actions and tools to create them [Rezultaty naturnykh issledovaniia ognезaderzhivaiushchikh svoistv protivopozharnykh pennnykh polos dolgovremennogo deistviia i sredstv dlia ikh sozdaniia]. Tруды Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khoziaistva – Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute, 2016, no. 3, pp. 50–63. DOI: 10.21178/2079-6080.2016.3.50.