

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

**А.А. Таранцев, доктор технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;
А.С. Чашин.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрена возможность применения модифицированных водных растворов для целей пожаротушения на объектах железнодорожного транспорта, а также возможность оперативного изменения свойств огнетушащих веществ под воздействием генератора переменного частотно-модулированного потенциала.

Ключевые слова: модифицированные водные растворы, транспорт, пожар, генератор переменного частотно-модулированного потенциала

APPLICATION OF MODIFIED WATER SOLUTIONS FOR FIRE ON THE OBJECTS OF RAILWAYS

A.A. Tarancev; A.S. Chashin.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The possibility of application of modified aqueous solutions for fire-fighting purposes in railway transport, and the possibility of rapid changes in the properties of fire extinguishing substances under the influence of the alternator frequency-modulated potential.

Keywords: modified aqueous solutions, transportation, fire, alternator frequency-modulated potential

По статистическим данным МЧС России пожары на транспорте занимают второе место после бытовых пожаров: с 2005 г. более 21 тыс. пожаров в год [1] (рис. 1). Безусловно, это является весомой причиной для рассмотрения данного вопроса с целью уменьшения времени ликвидации пожаров на транспорте и, как следствие, уменьшения получаемого ущерба.

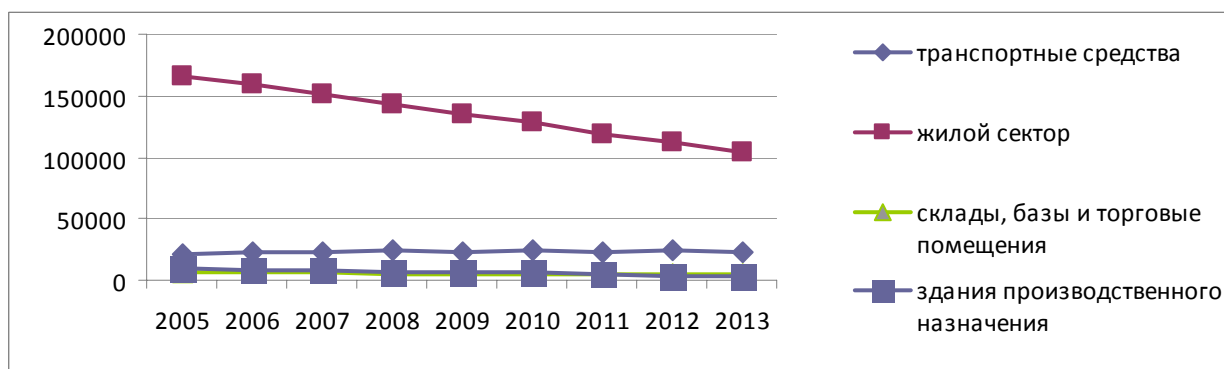


Рис. 1. Количество пожаров в России за 2005–2013 гг.

Средний ущерб от пожара на транспортных средствах в России за период 2005–2013 гг. вырос с 37 000 руб. до 100 000 руб. Средний материальный ущерб от пожара на железнодорожном (ж/д) транспорте составляет 1 656 000 руб. Это обусловлено относительно высокой стоимостью подвижного состава, стоимостью перевозимых грузов. Следует помнить о косвенном ущербе, который неизменно возникает при пожаре на ж/д полотне. Он влечёт за собой ущерб как управляющей организации (в виде потери прибыли от несвоевременно выполненных обязательств, неустойку за невыполненные договора, возврат билетов, выплату страховки пассажирам, ремонт ж/д полотна и т.д.), так и для пассажиров (необходимость замены билетов, оплата лечения, срывы сроков поездки и т.п.).

Пожары на ж/д транспорте характеризуются:

- большим количеством пассажирского и подвижного состава на станциях;
- быстрым распространением огня по сгораемым материалам внутри вагонов, распространением огня на соседние сооружения, вагоны, чему способствуют узкие протяженные разрывы между ж/д составами;
- возможным наличием легковоспламеняющихся, горючих, ядовитых и токсичных жидкостей, возможностью их растекания из цистерн и образования загазованных зон на прилегающей территории;
- недостаточным противопожарным водоснабжением из-за отсутствия или удалённости водоисточников (по нормам может достигать 500 м);
- угрозой поражения электрическим током.

Интенсивность подачи воды при тушении пожаров на подвижном составе ж/д транспорта представлена в табл. 1 [2].

Таблица 1. Интенсивность подачи воды при тушении пожаров

Подвижной состав ж/д транспорта	Интенсивность л/(м ² ·с)
Пассажирский, почтово-багажный, рефрижераторский	0,2–0,35
Грузовой с твёрдыми сгораемыми материалами	0,2–0,25
Грузовой с хлопковой продукцией	0,25–0,4
Грузовой с контейнерами	0,15–0,2

Полный охват пламенем для открытых вагонов 10–15 мин, закрытых грузовых вагонов – 15–20 мин [2]. Тушение пожаров на ж/д транспорте осуществляется посредством огнетушителей и автоматических установок пожаротушения (АУП). АУП применяются при защите тяговых составов, спецвагонов (рефрижераторов), а также в зданиях и сооружениях ж/д инфраструктуры. Также тушение производится с помощью пожарных автомобилей и пожарных поездов.

Преобладающей горючей нагрузкой на объектах ж/д транспорта являются твёрдые вещества, что подразумевает пожары класса «А». Например, около 75 % грузовых крытых вагонов выполнены из древесных материалов [3]. Основным огнетушащим веществом (ОТВ), применяемым при тушении данного класса пожаров, является вода. Актуальность вопроса использования в целях пожаротушения модифицированных водных растворов комплексного действия подтверждается уменьшением времени на тушение пожара, а следовательно и уменьшением ущерба жизни и здоровью людей и материальным ценностям.

Известны механизмы тушения пожара, такие как охлаждение, изоляция, разбавление, ингибирование. При тушении водой происходит охлаждение зоны горения за счет интенсивного испарения ОТВ, а так же разбавление, посредством снижения концентрации кислорода в воздухе при образовании водяного пара. При применении ОТВ, сочетающем в себе несколько механизмов, тушение пожара будет происходить быстрее (табл. 2).

Таблица 2. Огнетушащие способности исследуемых ОТВ

Огнетушащая способность ОТВ	Охлаждение	Изоляция	Ингибирование	Разбавление	Тушение установок под напряжением
Вода	+	–	–	+	–
Насыщенный цеолит	+	(зависит от депонированного вещества)	+	–	+
Буферный раствор тетрабората натрия	+	+	+	–	–
Водоугольная суспензия	+	+	–	–	–
Хлорсилан	+	+	+	+	–
Жидкое стекло	+	+	–	–	–
Взвеси переосажденного оксида алюминия и активного оксида алюминия в воде	+	–	–	–	–

Для оценки огнетушащей эффективности модифицированных ОТВ комплексного действия проведено исследование таких веществ как цеолит, буферный раствор с применением тетрабората натрия или соли ортофосфорной кислоты, водоугольная суспензия, тетрахлорсилан, золь-гель вещества, взвеси переосаждённого оксида алюминия и активного оксида алюминия в дистиллированной воде, представленных в табл. 2.

Использование наноразмерных порошковых огнетушащих веществ при тушении различных типов пожаров оправдано их большой удельной поверхностью взаимодействия [4]. Подобный эффект возможно усилить с помощью депонирования, в данном случае, внедрения одного вещества (активного наноразмерного комплекса) в другое (метод экстремальной адсорбции [5]). В роли транспорта для наноразмерного комплекса может выступать минерал природный цеолит.

Комбинированные огнетушащие вещества на основе цеолитов возможно применять в огнетушителях и стационарных установках автоматического пожаротушения. Стоит отметить, что цеолиты применяются в различных порошковых составах для уменьшения показателя слёживаемости, то есть сам по себе цеолит мелкой фракции обладает крайне низким показателем слёживаемости и высоким показателем текучести, что обеспечит длительный срок годности порошков на его основе.

Цеолит обладает высокой теплоёмкостью (850 Дж/(кг·К), что тоже оказывает положительный эффект при обеспечении пожарной безопасности в совокупности с высокой удельной поверхностью взаимодействия [6]. То есть при попадании в очаг пожара сам по себе будет выступать охлаждающим агентом, а также он способен служить носителем флегматизатора, ингибитора горения, который в процессе нагревания приведет к снижению интенсивности горения вплоть до его прекращения.

Низкий показатель слёживаемости, а также возможность сорбировать газообразные и жидкие огнетушащие вещества позволяет обоснованно полагать, что применение цеолитов в роли носителя этих веществ повысит эффективность порошковых огнетушащих средств и их использование при тушении локальных загораний, в том числе и электроустановок под напряжением.

Иной способ получения наноразмерных огнетушащих порошков заключается в использовании буферного раствора с применением тетрабората натрия ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) или соли ортофосфорной кислоты (H_3PO_4). В последнем молекулярно растворяется значительное количество карбоната кальция (мела без примесей). При подаче в очаг пожара

образовавшийся в воде гидрокарбонат кальция разлагается на наночастицы оксида кальция (охлаждающее действие) с выделением углекислого газа (флегматизирующее и изолирующее действие) и соединений бора или фосфора (ингибирующее действие).

Способ тушения пожаров путем образования в процессе тушения наноразмерного защитного слоя на поверхности горючего материала заключается в распылении комбинированного огнетушащего средства на основе водного буферного раствора.

За основу буферного раствора взята вода. Для повышения ее огнетушащей эффективности применяется химическая модификация, а именно: создан буферный раствор с использованием тетрабората натрия для того, чтобы сместить кислотность раствора до создания слабощелочной среды. Создание такой среды необходимо для наилучшего растворения в ней мела (CaCO_3), с которым происходит следующее: при смещении кислотности в сторону щелочной среды карбонат кальция переходит в гидрокарбонат кальция, который гораздо более растворим в воде.

Состав предлагаемого буферного раствора: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{CaCO}_3$. Данный буферный раствор обладает такими характеристиками, как доступность и дешевизна, а также повышенный огнетушащий эффект. Для получения максимально насыщенного раствора CaHCO_3 необходимо создать уровень кислотности раствора от 6,5 до 10,3. При соблюдении этих условий будет достигаться максимальный огнетушащий эффект, так как энергия, выделяемая очагом пожара, будет расходоваться на разложение большего количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Подобный эффект достигается благодаря тому, что образовавшийся в воде гидрокарбонат кальция разлагается на наночастицы оксида кальция, при этом на зону горения оказывается охлаждающее действие, происходит в результате физико-химических процессов выделение углекислого газа, тем самым оказывается флегматизирующее и изолирующее действие, соединения бора оказывают мощное ингибирующее действие. Кроме этого при попадании предлагаемого ОТВ на поверхности образуется прочный наноразмерный защитный слой, состоящий из соединений бора и оксида кальция, который можно разрушить только механически [7].

Наряду с буферным раствором буры в пожаротушении возможно использование водоугольной суспензии с наноразмерными частицами пирокарбона в водном растворе. В данном случае появляется возможность использовать наночастицы технического углерода, которые выпускаются в промышленном масштабе, и диспергировать их в воде. Потребуется поверхностно-активные вещества (например, сульфанола) для повышения гидрофильности пирокарбона и создания угольной взвеси в растворе [8].

Способ получения ОТВ на основе раствора хлорсилана заключается в том, что наноразмерные частицы ОТВ образуются в процессе диспергирования (распыления) и сброса (слива) с определенной высоты огнетушащего агента и протекания сложной физико-химической реакции взаимодействия агента и влаги воздуха. В качестве огнетушащего агента применяются хлорсиланы, а именно тетрахлорид кремния.

Благодаря своим физико-химическим свойствам хлорсиланы, прежде всего, тетрахлорид кремния (SiCl_4), обладают массой, превышающей более чем в пять раз массу воздуха, при распылении способны образовывать облако, стремящееся вниз, в котором уже будут происходить сложные физико-химические процессы, а именно процессы гидролиза, в результате которых образуется смесь продуктов реакции и сконденсированной влаги воздуха. В состав смеси образующейся в процессе распыления входят: мощный ингибитор процессов горения – хлороводород, высокоплотная наноразмерная смесь оксидов кремния, при этом между частицами образуются критически малые расстояния, в результате чего блокируется цепная реакция горения, на поверхности горючих веществ (материалов) и/или частиц образуется защитный слой, препятствующий образованию выхода продуктов термодеструкции. Образующаяся в процессе распыления коллоидная система, достигающая поверхности земли, выполняет роль огнетушащего вещества, по выше описанному механизму [9].

В исследовании также использовались вещества на золь-гелевой основе. В частности, неорганические золи, в роли которых может выступать даже канцелярский силикатный клей (так называемое жидкое стекло), и неорганические гели, растворенные в воде твёрдые наночастицы. Как в золях, так и в гелях находятся макромолекулы твёрдых частиц, которые при попадании на поверхность с высокой температурой начинают разлагаться и переходят в твёрдые частицы с большой поверхностью, в процессе чего происходят охлаждение, изоляция зоны горения.

Взвеси переосаждённого оксида алюминия и активного оксида алюминия в отличие от водоугольной суспензии являются неорганическими веществами, что повышает их эффективность как огнетушащих веществ (интенсивное охлаждение зоны горения за счёт диспергированных в воде наночастиц алюминия).

В работе [10] приведены сведения о повышении огнетушащей эффективности тонкораспыленной воды в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП). Показано, что время тушения модельного очага пожара класса «А» сокращается на 10 % в сравнении с контрольными испытаниями (рис. 2).

Изменение огнетушащих свойств может быть объяснено воздействием ПЧМП на надмолекулярную структуру групп молекул воды, что влияет на такие свойства, как поверхностное натяжение, динамическая вязкость и плотность (рис. 3).

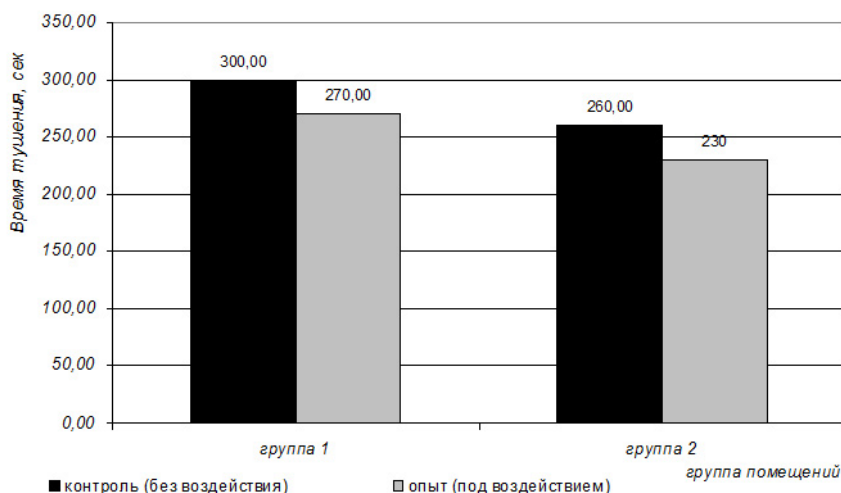


Рис. 2. Время тушения модельного очага пожара класса «А» в условиях воздействия ПЧМП

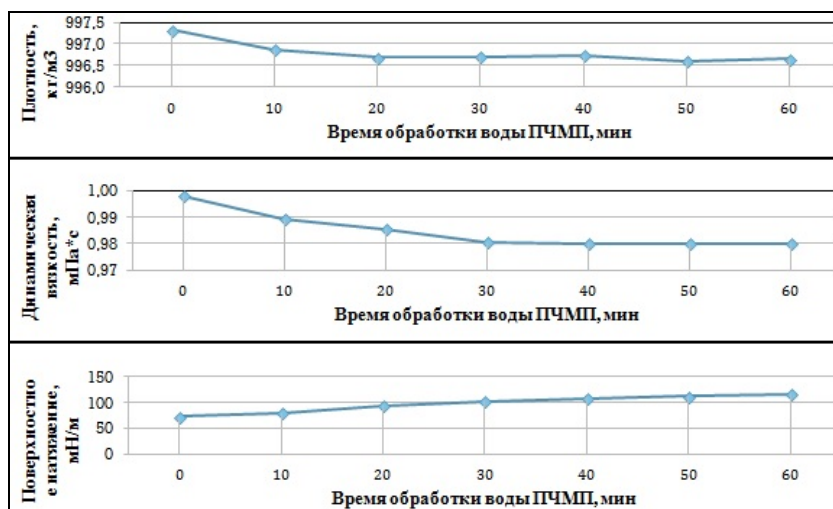


Рис. 3. График изменения плотности, динамической вязкости и поверхностного натяжения воды соответственно в зависимости от времени обработки генератором ПЧМП

Вышеизложенные данные позволяют предположить, что при обработке ПЧМП свойства исследуемых водных растворов также подвергнутся изменению [11].

При воздействии ПЧМП в течение 10 мин происходит увеличение интенсивности КР-спектра дистиллированной воды в диапазоне $3\ 000\text{--}4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ примерно в 2,5 раза. Исследования проводились на установке Ntegra Spectra лазером с длиной волны 532 nm, с одинаковым временем накопления 5 сек., в условиях обработки воды ПЧМС с частотой 160 Гц (рис. 4).

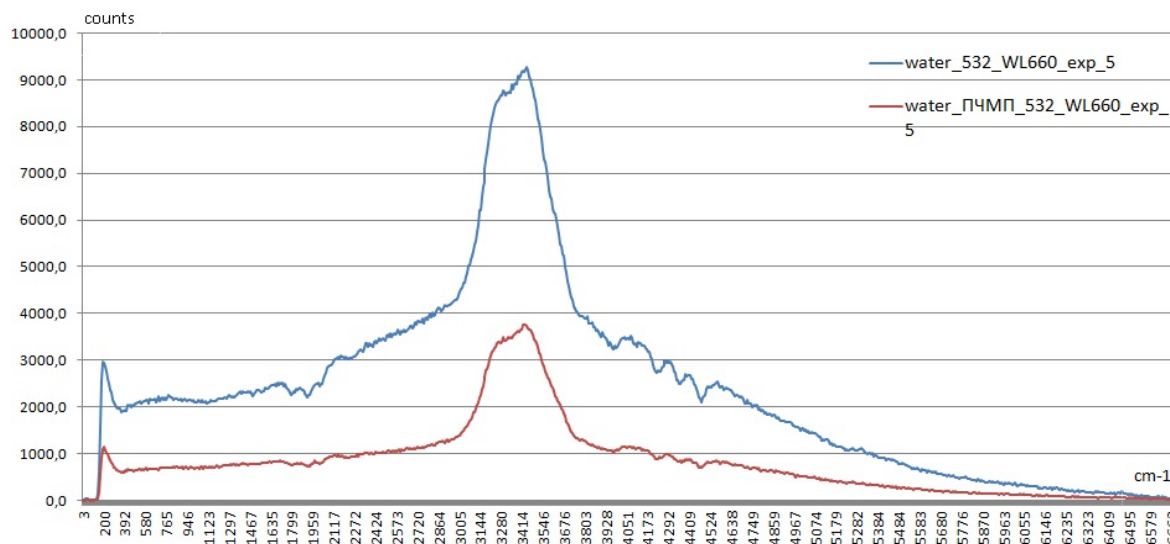


Рис. 4. Увеличение интенсивности КР-спектра воды в диапазоне $3000\text{--}4000\ \text{cm}^{-1}$ в условиях воздействия ПЧМП

При спектроскопии исследуемых веществ, обработанных ПЧМП в течение 10 мин, также наблюдалось изменение КР-спектра. Интенсивность КР-спектров возрасла во всех образцах, кроме взвеси оксида кремния (рис. 5, 6).

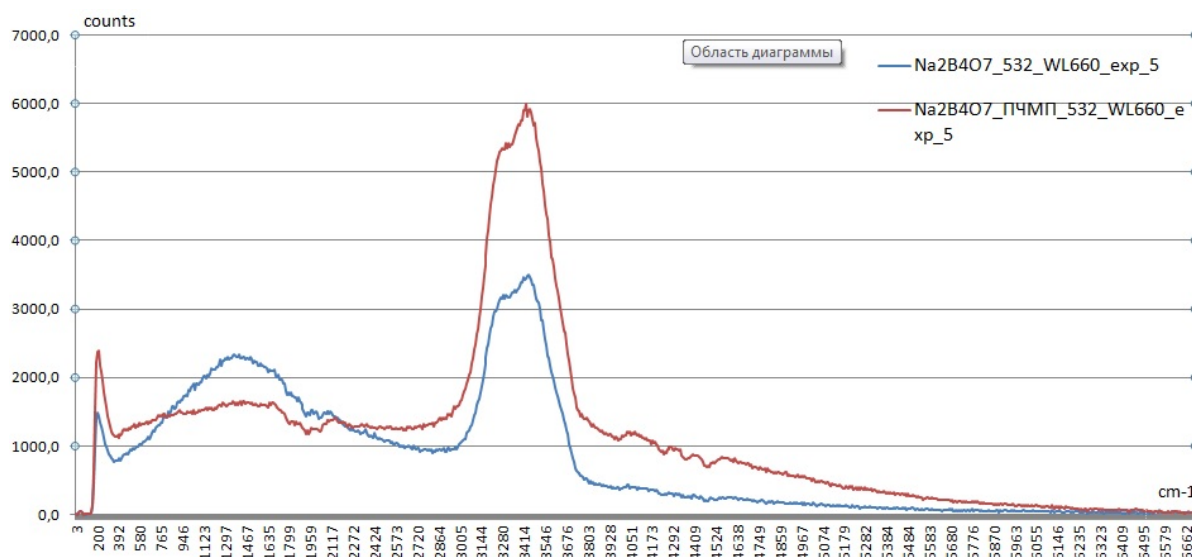


Рис. 5. Увеличение интенсивности КР-спектра водного раствора тетрабората натрия в диапазоне $3000\text{--}4000\ \text{cm}^{-1}$ в условиях воздействия ПЧМП

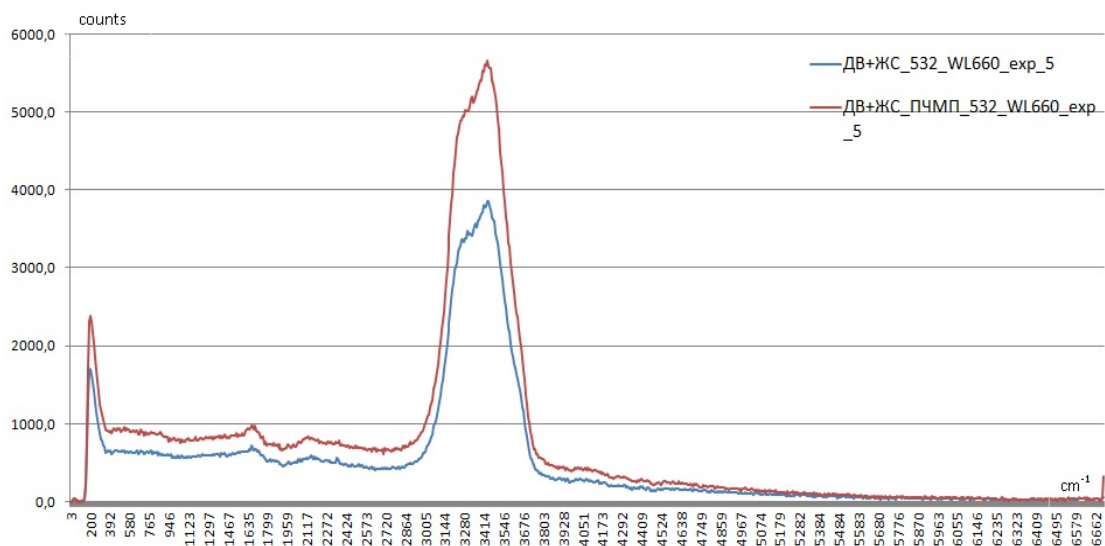


Рис. 6. Увеличение интенсивности КР-спектра водного раствора силиката натрия в диапазоне 3000–4000 cm^{-1} в условиях воздействия ПЧМП

Эффективность представленных ОТВ была проверена посредством тушения модельного очага пожара класса «А» [12].

В качестве критериев эффективности были приняты время и объём ОТВ, затраченные на тушение модельного очага пожара.

Тушение пожаров на ж/д транспорте осуществляется посредством пожарной техники и автоматических установок пожаротушения (АУП). АУП применяются при защите тяговых составов, спецвагонов (рефрижераторов), а также в зданиях и сооружениях ж/д инфраструктуры (табл. 3).

Таблица 3. Среднее время тушения пожара класса «А» представленными ОТВ с обработкой генератором ПЧМП и без обработки

Вещества и показатели	Время тушения без воздействия генератора ПЧМП, сек.	Время тушения при использовании генератора ПЧМП, сек.
Вода	25	20
Буферный раствор тетрабората натрия	14	13
Водоугольная суспензия	20	20
Сульфанол	17	17
Переосаждённый оксид алюминия	14	13
Активный оксид алюминия	15	14
Силикат натрия	12	11

Таким образом, показано, что использование отмеченных в статье наноразмерных порошковых ОТВ, благодаря их большой удельной поверхности взаимодействия и комплексному огнетушащему эффекту, позволит добиться высокой эффективности при тушении пожаров класса «А» на транспорте.

Результаты лабораторного эксперимента свидетельствуют о повышении огнетушащей эффективности исследуемых веществ при применении генератора ПЧМП.

Литература

1. МЧС России. URL: <http://www.mchs.gov.ru/stats/Pozhari> (дата обращения: 10.03.2015).
2. Руководство по тушению пожаров на железнодорожном транспорте. М.: УВО МПС, ВНИИЖТ, 2001. 198 с.

3. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности при производстве грузовой и коммерческой работы на ж/д транспорте // Департамент грузовой и коммерческой работы МПС России. М.: ВНИИЖТ, 1999. 136 с.
4. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. М.: Стройиздат, 1982.
5. Пименова М.А. Разработка мобильных производств активных углей для жизнеобеспечения населения в ЧС: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2005.
6. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. Л.: Химия, 1984. 352 с.
7. Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А., Чащин А.С. Огнетушащий раствор и способ тушения пожара с помощью этого раствора: пат. № 2510754 Рос. Федерация. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2510754.html> (дата обращения: 20.03.2015).
8. Влияние электрических переменных полей на критическую концентрацию мицеллообразования (ккм) сульфанола в его водных растворах / З. Гемиш [и др.]: материалы III науч.-техн. конф. молодых ученых «Неделя науки – 2013». СПб.: С.-Петербург. гос. технол. ин-т (техн. ун-т), 2013.
9. Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А., Крейтор В.П., Иванов А.В., Родионов В.А. Способ тушения пожара: пат. № 2504414. Рос. Федерация. № WO 2011078727 A1; заяв. 25.12.09; опубл. 30.06.11.
10. Анашечкин А.Д. Повышение эффективности огнетушащих и дезактивирующих составов на основе воды для морского и речного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006.
11. Иванов А.В., Кадочникова Е.Н., Плотникова А.С. Исследование спектров комбинационного рассеяния воды в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 4. С. 45–50.
12. Собурь С.В. Огнетушители: пособие. 5-е изд., с изм. М.: ПожКнига, 2008. 80 с.