
ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГNETУШАЩИХ И ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЖИДКОСТЕЙ

Ш.Г. Гаджиев;

А.В. Иванов, кандидат технических наук;

Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;

Е.Н. Кадочникова, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Дано описание способа модификации наножидкостей в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала, приведены сведения об огнетушащих и теплозащитных свойствах гидрогелей на основе модифицированных наножидкостей.

Ключевые слова: наножидкости, гидрогели, переменный частотно-модулированный потенциал, огнетушащее вещество

RESEARCH EXTINGUISHING AND THERMAL INSULATION PROPERTIES OF HYDROGELS PREPARED FROM MODIFIED NANOFLUIDS

Sh.G. Hajiyev; A.V. Ivanov; G.K. Ivakhnyuk; E.N. Kadochnikova.

Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The description of a method for modifying nanofluids under conditions of variable frequency modulated potential, presents data about the fire extinguishing and heat-protective properties of hydrogels based on modified nanofluids.

Keywords: nanofluids, hydrogels, variable frequency modulated potential, extinguishing agent

Пожары на объектах промышленного производства являются наиболее сложными и представляют значительную опасность для коммуникаций, смежных сооружений и в особенности – для участников тушения [1]. При горении в технологических аппаратах и коммуникациях происходит аккумуляция тепловой энергии, что в значительной степени влияет на процесс тушения. Высокая температура снижает эффективность применения огнетушащих веществ (ОТВ), увеличивает их расход и время тушения [2].

Одним из способов повышения эффективности установок пожаротушения и тепловой защиты может быть применение в качестве ОТВ водногелевых составов (гидрогелей) с регулируемыми наноструктурами. Гидрогели обладают рядом преимуществ перед традиционно используемой на пожаре водой – малой текучестью, способностью сохранять форму, прочностью и упругостью. В отличие от воздушно-механических пен и порошковых составов, гидрогели характеризуются возможностью подачи на большие расстояния, что

снижает риск поражения участников тушения, а также безопасностью для окружающей среды.

Гидрогели представляют собой структурированные гомогенные коллоидные системы, заполненные жидкостью, каркас которых образован частицами высокомолекулярных соединений. Мицеллы, представляющие собой ключевые частицы высокодисперсной коллоидной системы, при образовании гелей не разрушаются, а связываются между собой, образуя ячейки с водной средой [3].

Мицеллы как устойчивые и равновесные образования являются наноструктурами за счет своего уникального строения исключительно в виде малых форм и отсутствия макроскопических аналогов. Молекулы в мицеллах имеют способность перемещаться вдоль границ полярной и неполярной областей наночастиц (ограничение имеется при движении по нормали), что характеризует их как двумерно жидкие и одномерно твердые тела [3].

Данные свойства позволяют создавать наножидкости (НЖ) на основе гидрогелей с регулируемой наноструктурой. В работах [5–8] показано, что при воздействии электрических и магнитных полей в структуре гелей наблюдаются обратимые структурные изменения, в частности оптическая плотность, сорбционная емкость, температура дегидратации и др.

При создании водногелевых составов с регулируемыми наноструктурами в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП) на структуру водногелевых составов возможна переориентация макромолекул огнетушащих компонентов вдоль силовых линий электрического поля, что позволяет изменять физические свойства гидрогелей [9] (рис. 1).

Аналогичный эффект был отмечен при наблюдении осажденных углеродных нанотрубок (УНТ) в НЖ. В условиях воздействия ПЧМП происходило разрушение агломераций УНТ и преимущественная ориентация наноразмерных комплексов УНТ в одном направлении [11].

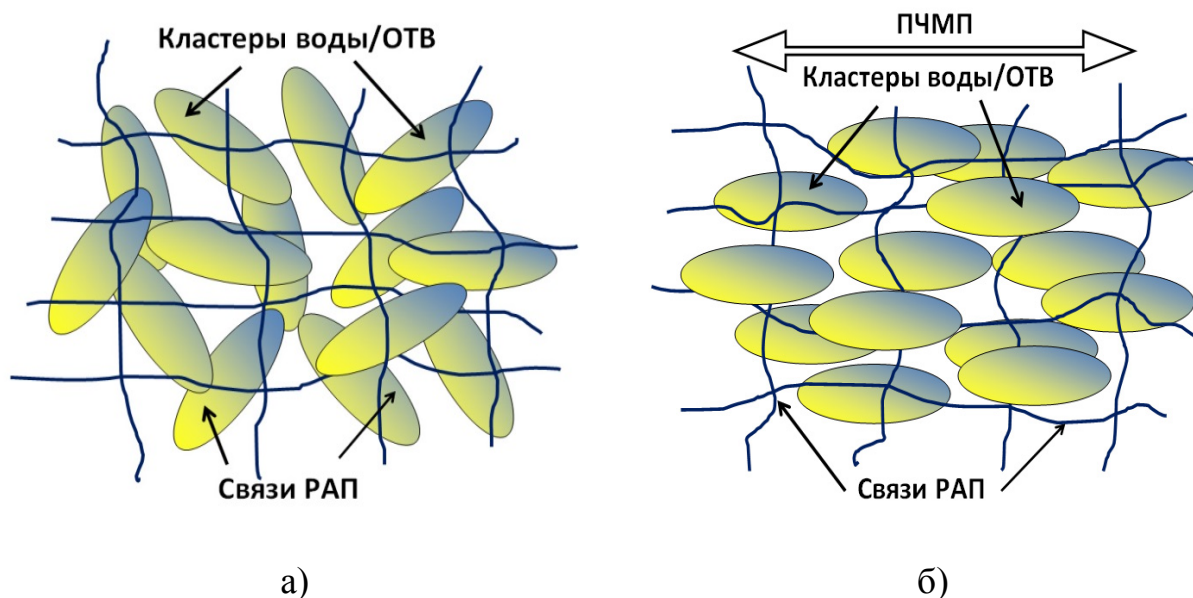


Рис. 1. Модель структурирования кластеров воды и ОТВ в гидрогеле: а) в стандартных условиях образования гидрогеля; б) в условиях воздействия ПЧМП

Одним из физических свойств модифицированных гидрогелей, представляющих особый интерес для оценки их теплозащитных характеристик, является теплопроводность.

Согласно закону Фурье [10], плотность теплового потока q пропорциональна градиенту температуры $gradT$:

$$q = -\lambda \text{grad}T ,$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Тепловой поток q , прошедший сквозь произвольную поверхность S , определяется выражением:

$$q = -\int_S \lambda (\partial T / \partial n) dS .$$

Следовательно, количество теплоты, прошедшее через нагреваемую поверхность в течение времени t , определяется выражением:

$$Q = -\int_0^t \int_S \lambda (\partial T / \partial n) dS dt$$

Так как большинство элементов технологического оборудования выполнено из металлов, обладающих высокой теплопроводностью, скорость прогрева поверхности конструкций, подвергшихся термическому воздействию на пожаре, во многом зависит от величины коэффициента теплопроводности ОТВ, подающейся на защиту конструкций.

Величина теплопроводности неметаллических жидкостей, использующихся в качестве хладагентов, на один–три порядка ниже теплопроводности твердых веществ (рис. 2). Кроме того, теплопроводность жидкостей очень слабо зависит от температуры в стандартных условиях [12].

Таким образом, при модификации гидрогелей для использования в качестве средств тепловой защиты возможно использование НЖ с внедренными органическими компонентами с регулируемыми теплоизолирующими свойствами.

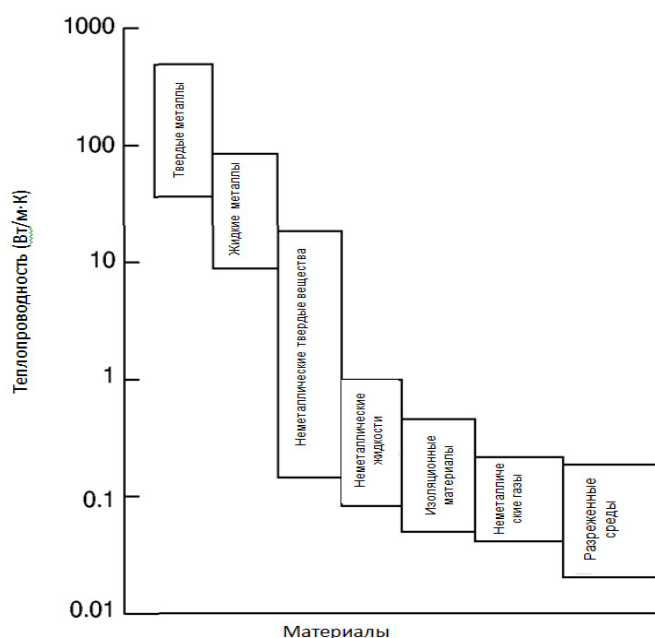


Рис. 2. Диапазоны значений теплопроводности различных веществ материалов

На кафедре организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России проводились исследования для оценки эффективности применения модифицированных водногелевых составов на основе карбопола EDT-2020 (гидрогелей) в качестве охлаждающего агента.

В ходе испытаний на лабораторной установке (рис. 3) были исследованы теплоизолирующие свойства гидрогелей в сравнении с водой, традиционно используемой на пожаре в качестве огнетушащего и охлаждающего вещества. Проводились измерения температуры керосина марки ТС-1 [13], находящегося в емкости установки.

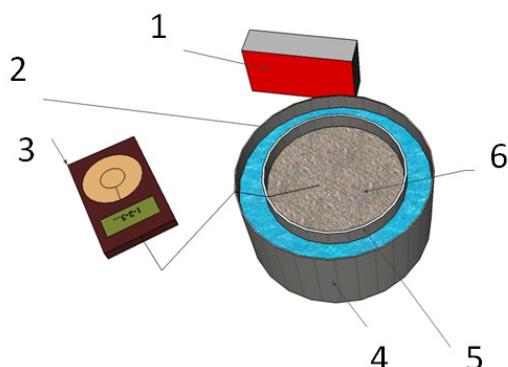


Рис. 3. Лабораторная установка по исследованию теплоизолирующих свойств ОТВ по схеме «стакан в стакане»: 1 – инфракрасный излучатель; 2 – охлаждающее вещество (вода, гидрогель); 3 – термопары; 4 – емкость с ОТВ; 5 – емкость с авиационным керосином; 6 – авиационный керосин марки ТС-1

В результате эксперимента выявлено, что скорость прогрева авиационного керосина марки ТС-1 значительно ниже при использовании модифицированных гидрогелей в качестве теплоизолирующего вещества, нежели чем при использовании воды (рис. 4).

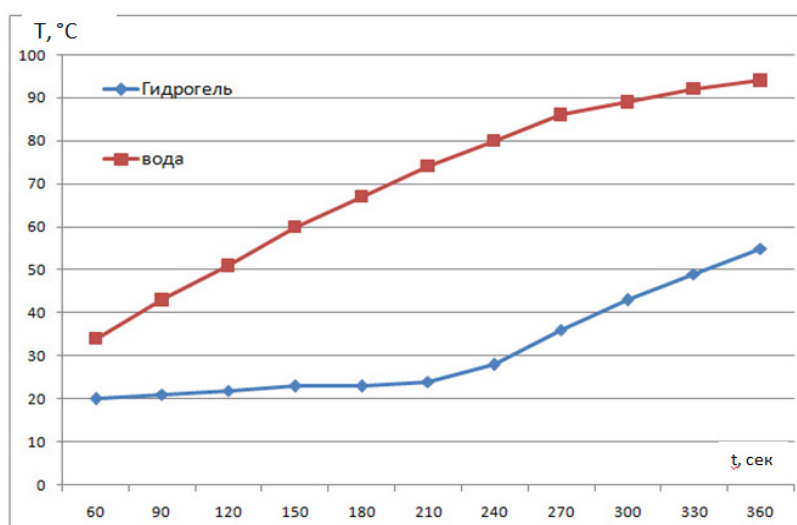


Рис. 4. Кинетика прогрева керосина ТС-1 при использовании воды и модифицированного гидрогеля с концентрацией карбопола EDT-2020 0,2 %

Для оценки защитных свойств модифицированного ОТВ проводилась сравнительная оценка скорости прогрева металлической конструкции (стальной лист размерами 300x300 мм, толщина металла – 6 мм) в условиях непосредственного контакта с пламенем.

В качестве теплозащитных материалов использовались:

- модифицированный гидрогель с концентрацией карбопола EDT-2020 1 %,
- огнезащитная краска «POLYFIRE» АК-5001 [14].

В качестве контрольного образца использовалась аналогичная пластина без нанесения защитного материала.

При проведении испытаний на поверхность наносился защитный слой толщиной 3–4 мм и в течение 90 с производился замер температуры конструкции в зоне теплового воздействия при непосредственном контакте пламени с защищаемой поверхностью. Показано, что при использовании модифицированных гидрогелей прогрев металлических конструкций происходит в два раза медленнее, нежели при обработке огнезащитным составом «POLYFIRE» АК-5001 (рис. 5).

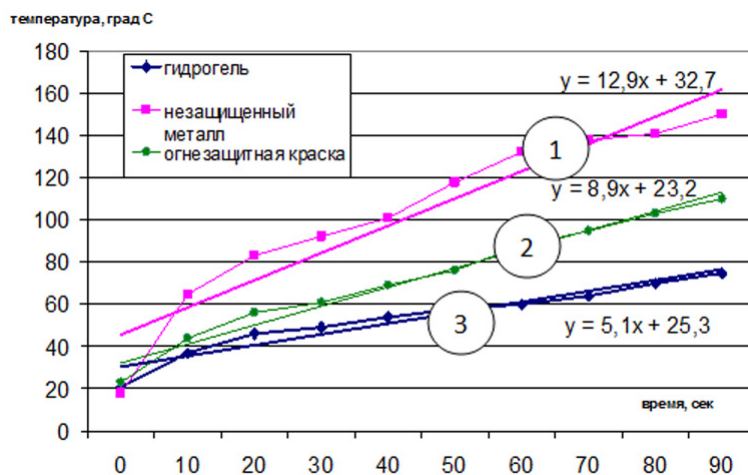


Рис. 5. Кинетика прогрева металлической конструкции, при температуре пламени 500 °С: 1 – незащищенной конструкции; 2 – при обработке огнезащитной краской («POLYFIRE» АК-5001); 3 – при обработке модифицированным гидрогелем

При оценке огнетушащих свойств модифицированных гидрогелей проводились испытания в соответствии с ГОСТ Р 51057-2001 [15]. В качестве горючего материала использовались бруски хвойных пород сечением (40±1) мм с влажностью от 10 до 20 %.

Модельный очаг пожара представлял собой деревянный штабель в виде куба (рис. 6). Штабель размещался на твердой опоре (на двух стальных уголках, установленных на бетонных блоках) таким образом, чтобы расстояние от основания штабеля до опорной поверхности составляло (400±10) мм. Размеры опоры определялись в соответствии с размерами модельного очага пожара, но не менее длины бруска. В процессе тушения фиксировался расход огнетушащего вещества и время тушения.

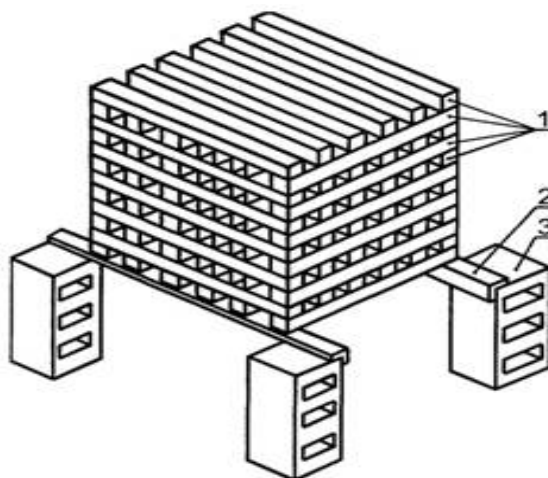


Рис. 6. Устройство деревянного штабеля (модельного очага пожара класса А) для проведения огневых испытаний: 1 – деревянные бруски; 2 – стальной уголок; 3 – бетонный (металлический) блок

Результаты экспериментов свидетельствуют о сокращении интенсивности подачи ОТВ в 2,5 раза и времени тушения на 30–40 % при использовании модифицированных водногелевых составов по сравнению с водой. Наилучший результат был достигнут при использовании модифицированных водногелевых составов с концентрацией карбопола 0,15 % (рис. 7, 8).

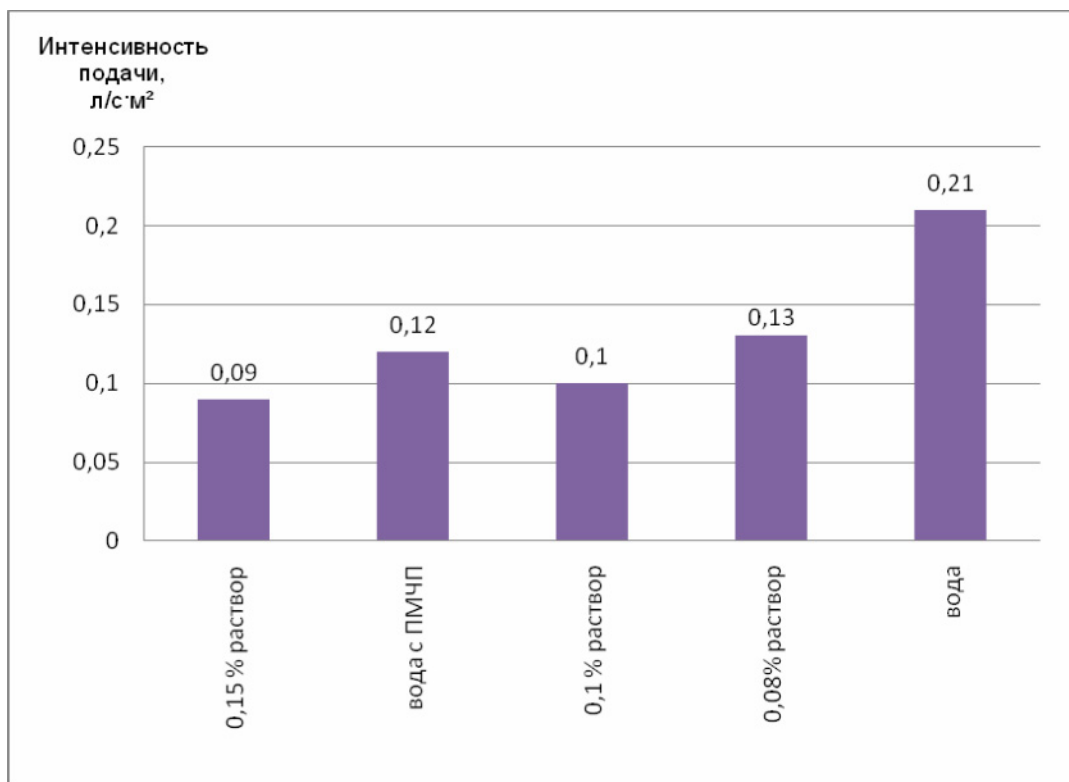


Рис. 7. Интенсивность подачи ОТВ (модифицированных гидрогелей и воды) при тушении модельного очага

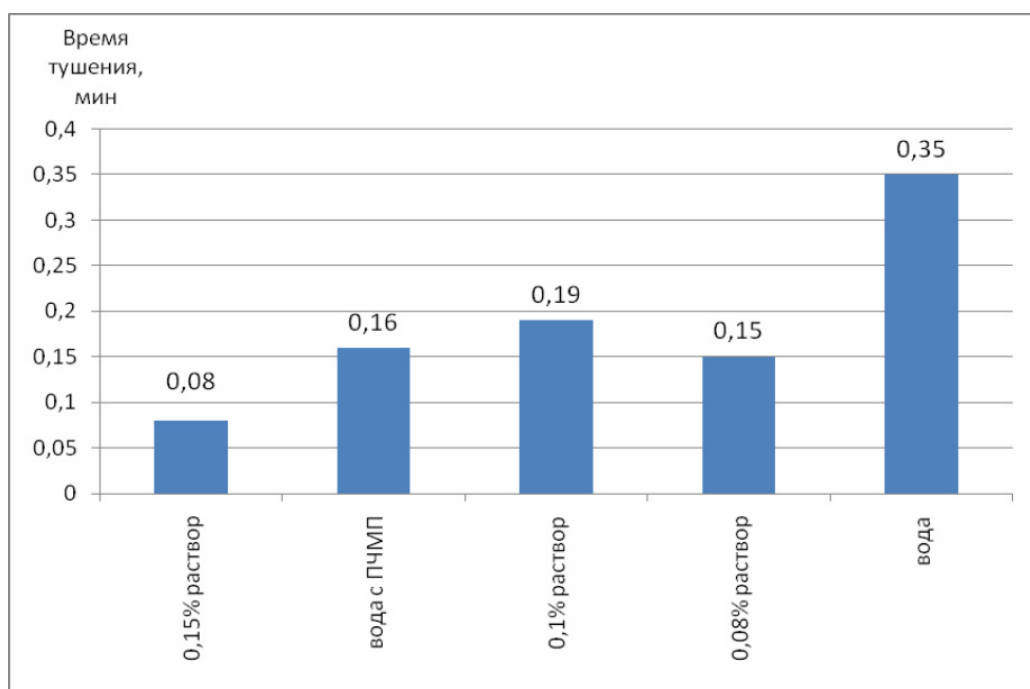


Рис. 8. Время тушения модельного очага ОТВ (модифицированными гидрогелями и водой)

Таким образом, полученные данные позволяют говорить о том, что водногелевые составы на основе модифицированных НЖ в сравнении с традиционными ОТВ обладают большей термической устойчивостью и значительной теплоизолирующей способностью, что позволяет эффективно использовать их при тушении пожаров и защиты конструкций от теплового воздействия.

Литература

1. Проблема сбора информации о пожарах и авариях на производственных объектах: пути их решения / В.В. Кокорин [и др.] // Вестник Воронежского ин-та ГПС МЧС России. 2014. № 1 (10). С. 21–25.
2. Повзик Я.С. Пожарная тактика. М.: ЗАО «Спецтехника», 2004.
3. Курс общей химии / Э.И. Мингулина [и др.]; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990.
4. Русанов А.И. Удивительный мир наноструктур // Журнал общей химии. 2002. Т. 72. Вып. 4.
5. Глухова О.Е., Колесникова А.С. Углеродные нанотрубки в однородном электрическом поле // Нелинейный мир. 2009. № 6.
6. Влияние магнитного и электрического полей на структурирование гелей оксигидрата иттрия / Ю.И. Сухарев [и др.] // Изв. Челябинского науч. центра. 2003. Вып. 3 (20).
7. Сухарев Ю.И., Юдина Е.П., Крупнова Т.Г. Кинетика структурирования в гелях оксигидрата иттрия // Изв. Челябинского науч. центра. 2004. № 3.
8. Wei Lu, Dan Wang, Liwei Chen. Near-Static Dielectric Polarization of Individual Carbon Nanotubes, Department of Chemistry and Biochemistry, Ohio UniVersity, Athens, Ohio 45701, Received May 22, 2007.
9. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: Патент РФ № 2479005.
10. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Емельянова А.Н. Исследование влияния углеродных нанотрубок на температуру вспышки керосина в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27).
11. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1975.
12. Saritk. Das, Stephenu. S. Choi, WenhuaYu, T. Pradeep. Nanofluids. Science and Technology. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 2007.
13. ГОСТ 10227–86. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. URL: <http://www.Standart.GOST.ru> (дата обращения: 11.04.2014).
14. РЭ 2313-001-85523142–2008. Руководство по применению и эксплуатации готового покрытия. Краска огнезащитная по металлу. URL: <http://www.manual-svper.ru/search/index.php> (дата обращения: 11.04.2014).
15. ГОСТ Р 51057–2001. Техника пожарная, огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://www.Standart.GOST.ru> (дата обращения: 11.04.2014).