

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДНОГЕЛЕВЫХ СОСТАВОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ОГNETУШАЩИМИ КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОБИРЖИ

А.В. Башаричев, кандидат технических наук;

Ш.Г. Гаджиев;

Р.Ю. Есев.

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, проведено моделирование пожара и защитных свойств гидрогелей.

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

THE USE OF AQUEOUS GEL FORMULATIONS WITH CONTROLLED NANOSCALE COMPONENTS FOR THE PURPOSE OF EXTINGUISHING FIRE ON THE EXAMPLE OF LOG STORAGE

A. V. Basharichev; Sh.G. Hajiyev; R. Yu. Esev.

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, simulated fire and protective properties of hydrogels.

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

В настоящее время наножидкости нашли свое применение во многих отраслях человеческой деятельности. Приведем доказательства, что они пригодны для нужд пожаротушения.

Ежегодно в России на объектах, связанных с переработкой и хранением древесины, регистрируется несколько тысяч пожаров, средний ущерб от пожаров на объектах лесной отрасли примерно в три раза превышает средний по стране. Наибольшую угрозу представляют пожары на складах лесоматериалов.

Пожары, происходящие на складах лесоматериалов, распространяются на большие площади (десятки гектаров), уничтожают большие запасы древесины, существенно подрывают сырьевую базу промышленности.

К открытым складам лесопиломатериалов предусмотрены требования, направленные на предотвращение распространения горения и ведение работ по тушению пожара. Открытые склады лесоматериалов предназначены для хранения запасов пиломатериалов, круглого леса, балансовой древесины, осмола, дров, щепы и опилок, они устраиваются на бетонированных, асфальтированных и грунтовых площадках. Крупные склады лесных материалов емкостью 10 тыс. и более м³ занимают площадь 100 га и более. Древесина на складах хранится в виде штабелей и куч. Щепу, опилки, кору и древесные отходы хранят в прямоугольных, круглых и кольцеобразных кучах высотой до 30 м, шириной (диаметром) куч не более 90 м.

Противопожарное водоснабжение. На открытых складах лесоматериалов емкостью более 10 тыс. плотных м³ предусматривается противопожарный водопровод высокого давления с кольцевой водопроводной сетью без тупиков, а на открытых складах лесоматериалов с емкостью до 10 тыс. плотных м³ допускается противопожарный водопровод низкого давления.

Штабели пиломатериалов складываются сушильно-речным способом или в виде плотных транспортных пакетов. Высота штабелей, включая высоту подштабельного места и крышу штабеля, должна быть не более 12 м. Количество древесины в сушильно-речном штабеле размерами 12х12х12 м – 350–450 плотных м³. Горючая нагрузка составляет 1 500–1 700 кг/м². Количество древесины в таком штабеле из транспортных пакетов составляет 1 300–1 500 плотных м³ и горючая нагрузка – 5 000–6 000 кг/м² (табл. 1) [1].

Таблица 1. Расстояния между кварталами групп штабелей в зависимости от высоты штабелей на открытых складах пиломатериалов

Высота штабелей, м	Расстояния между кварталами групп штабелей, м	
	пакетных	рядовых
до 7	35	50
от 7 до 10	40	60
от 10 до 12	50	70

Площадь группы штабелей круглых лесоматериалов не должна превышать 1,5 га, а ширина каждой группы – 70 м.

Группы штабелей в квартале отделяют между собой продольными и поперечными проездами шириной соответственно не менее 20 и 10 м. По указанным проездам должен быть обеспечен доступ пожарных машин.

Площадь квартала групп штабелей не должна превышать 4,5 га.

Расстояния между кварталами групп штабелей принимают не менее величин, приведенных в СНиПе 2.11.06-81 (табл. 2) [1].

Таблица 2. Расстояния между кварталами групп штабелей в зависимости от высоты штабелей на открытых складах круглых лесоматериалов

Высота штабелей, м	Расстояния между кварталами групп штабелей, м, при их суммарной площади, га		
	до 9	от 9 до 18	свыше 18
до 8	30	40	50
от 8 до 10	40	50	60
от 10 до 12	50	60	70

Развитию пожаров на открытых складах лесоматериалов до крупных размеров способствует:

- концентрация пожарной нагрузки в сотни тон на ограниченной площади;
- высокая скорость распространения горения по древесине;
- удаленность большинства открытых складов лесоматериалов от крупных гарнизонов пожарной охраны, слабая их оснащенность средствами обнаружения загорания;
- недостаточная эффективность применяемых огнетушащих веществ (в основном воды);
- невозможность создания в ограниченные сроки (5–7 мин) после возникновения пожара требуемых расходов огнетушащих веществ.

Пожары на складах лесных материалов имеют ряд характерных особенностей, наиболее существенными из них являются:

- большая скорость распространения фронта пламени по штабелям;
- мощное тепловое излучение от горящих штабелей;

– массовый разброс из конвективной колонки искр и головней и перенос их на большое расстояние;

– большая скорость притока свежего воздуха в зону горения.

Скорость распространения пламени зависит от влажности и вида складирования лесоматериалов, скорости ветра. Значения скорости распространения фронта пламени и времени полного охвата штабеля пламенем даны в зависимости от влажности древесины и скорости ветра (табл. 3) [2].

Таблица 3. Линейная скорость распространения пламени на складах лесоматериалов

Вид складирования	Влажность древесины, %	Скорость ветра, м/с	Линейная скорость распространения пламени, м/мин	Время полного охвата штабеля, мин
Штабель пиломатериалов размерами 6х6х12м	8–12	до 1	до 4,0	2–4
	15–20	1–2	до 1,5	2–4
	15–20	до 1	до 1,0	3–8
		2,5–3,5	до 2,5	–
	21–30	до 5	до 1,2	12–15
	более 30	до 5	до 1,0	20–30
Штабель круглого леса	10–18	до 1	0,35–0,7	–
		2–3	1,0–2,0	–
Куча щепы	20	до 3–4	до 2,7	–
	21–30	до 3–4	до 1,0	–

Расход воды на пожаротушение открытых складов лесоматериалов на один пожар следует принимать не менее величин, указанных в табл. 4.

При расходе воды на пожаротушение от 150 до 180 л/с противопожарный водопровод должен обеспечить одновременную работу трех, а при расходе от 180 л/с и более – четырех лафетных стволов одновременно.

На территории склада предусматривают пожарные резервуары или водоемы вместимостью не менее 500 м³.

При тушении пожара в условиях недостатка воды необходимо: принять меры к использованию других огнетушащих веществ; организовать подачу стволов на решающем направлении, обеспечив локализацию пожара на других участках путем разборки штабелей, куч, конструкций и создание необходимых разрывов.

Таблица 4. Расход воды на пожаротушение открытых складов лесоматериалов на один пожар для различных видов и способов хранения лесоматериалов

Вид и способ хранения лесоматериалов	Расход воды на пожаротушение, л/с, при емкости открытого склада, плотных м ³			
	до 10 000	от 10 000 до 100 000	от 100 000 до 500 000	свыше 500 000
Пиломатериалы в штабелях	По СНиП, но не менее 45 л/с при емкости склада св. 5 000 плотных м ³			
– пакетные		90	120	150
– рядовые		120	150	180
Круглые лесоматериалы в штабелях	то же	90	120	150
Балансовая	то же	150	180	240

древесина, осмол и дрова в кучах				
Щепа и опилки в кучах	то же	90	120	150
Кора и древесные отходы в кучах	то же	60	90	120

Недостаток или отсутствие воды затрудняет проведение работ по тушению пожара, приводит к увеличению времени ликвидации горения, большим физическим нагрузкам на участников тушения, возрастанию материального ущерба от пожара [2].

Одним из путей решения проблемы предлагается использование для пожаротушения и тепловой защиты в качестве огнетушащего вещества (ОТВ) модифицированных водногелевых составов (гидрогелей) с регулируемыми наноструктурами. Гидрогели обладают рядом преимуществ перед традиционно используемой на пожаре водой – малой текучестью, способностью сохранять форму, прочностью и упругостью. 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 высокодисперсных коллоидных систем, 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 [4].

Данные свойства позволяют создавать наножидкости (НЖ) на основе гидрогелей с регулируемой наноструктурой.

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 [5, 6].

На кафедре организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ и кафедре пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России проводились исследования для оценки эффективности применения модифицированных водногелевых составов (гидрогелей) в качестве охлаждающего агента (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика огнетушащего вещества (ОТВ) на основе гидрогеля

№	Концентрация	Наличие поля	Время тушения, мин	Расход ОТВ, л
1	0 %	–	0,65	0,45
2	0,1 %	–	0,6333	0,38
3	0,1 %	+	0,5833	0,375
4	0,2 %	–	0,5333	0,35
5	0,2 %	+	0,35	0,3
6	0,25 %	–	0,2833	0,21
7	0,25 %	+	0,2167	0,16

В ходе тушения модельного очага пожара класса «А» были исследованы огнетушащие свойства модифицированных гидрогелей в сравнении с водой, традиционно используемой на пожаре в качестве огнетушащего и охлаждающего вещества [7].

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 0,25 % (рис. 1, 2).

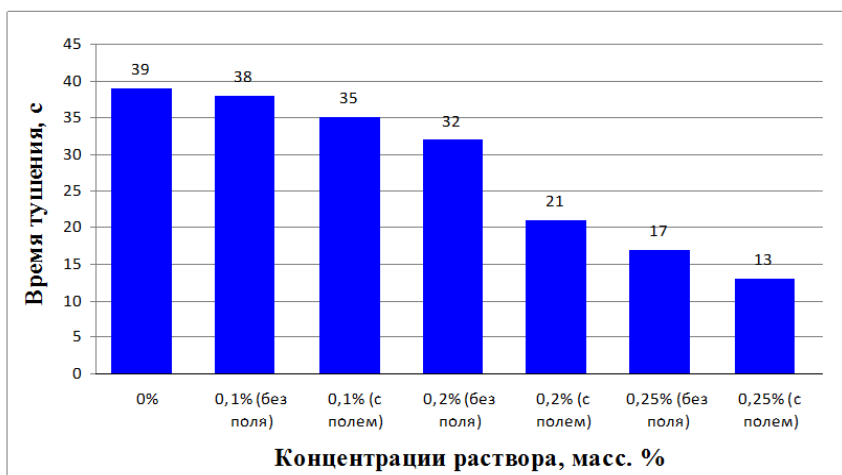


Рис. 1. Время тушения модельного очага огнетушащего вещества (модифицированными гидрогелями и водой)

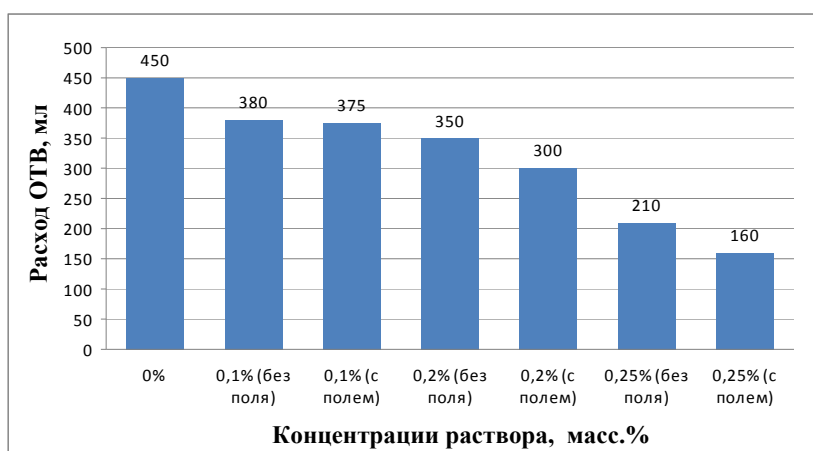


Рис. 2. Расход огнетушащего вещества (модифицированными гидрогелями и водой) на тушение модельного очага

Для оценки теплофизических свойств модифицированных гидрогелей проводились сравнительные исследования теплоемкости воды и гидрогеля (рис. 3), а так же исследовалась скорость прогрева слоев веществ (рис. 4–7).

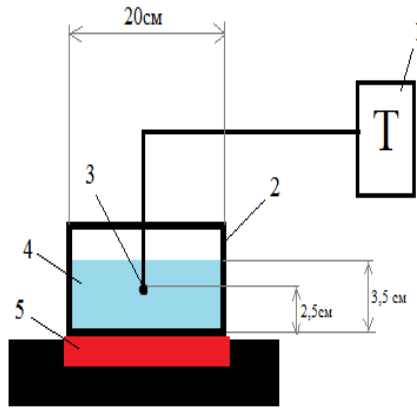


Рис. 3. Установка для определения теплоемкости:
 1 – регистратор температуры; 2 – емкость для вещества; 3 – термопара;
 4 – гидрогель, вода (1 кг); 5 – тен

В ходе эксперимента фиксировались значения температуры гидрогеля и воды при воздействии источника тепла мощностью 1 кВт.

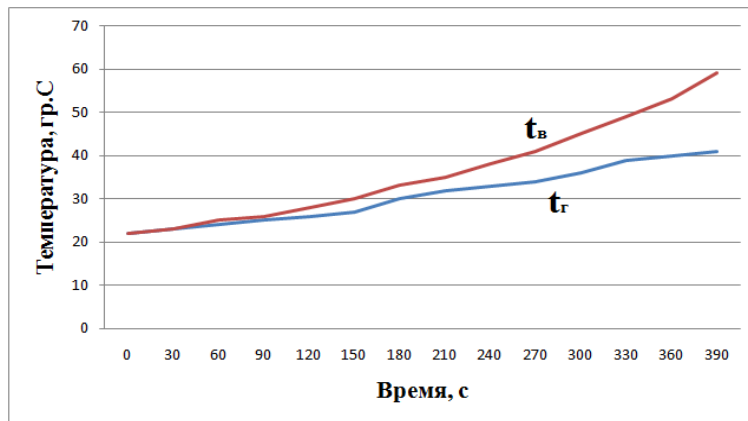


Рис. 4. Температура огнетушащего вещества при нагревании:
 $t_{в}$ – температура воды; $t_{г}$ – температура гидрогеля

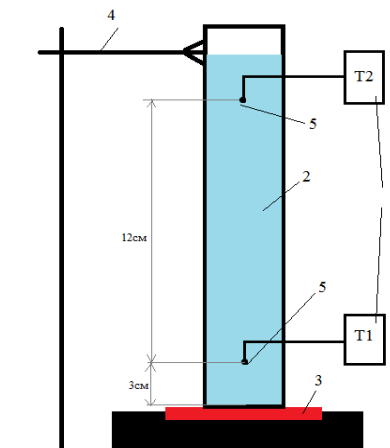


Рис. 5. Установка для определения температуры в разных слоях огнетушащего вещества:
 1 – регистратор температуры; 2 – гидрогель, вода; 3 – тен; 4 – штатив; 5 – термопары

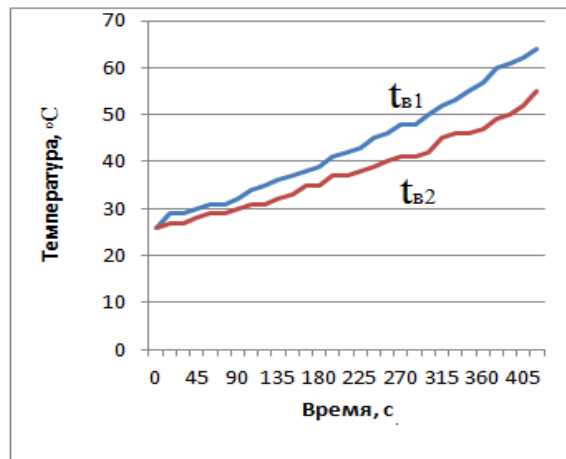


Рис. 6. Температура в разных слоях воды:
 $t_{в1}$ – температура воды в нижней точке; $t_{в2}$ – температура воды в верхней точке

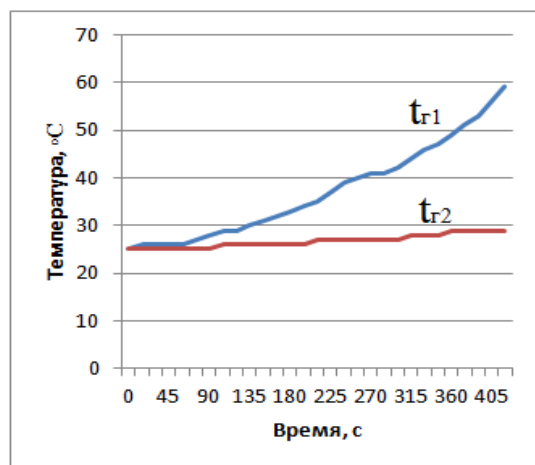


Рис. 7. Температура в разных слоях гидрогеля:
 $t_{г1}$ – температура геля в нижней точке; $t_{г2}$ – температура геля в верхней точке

Для оценки пожарной опасности горения штабеля древесины производилась оценка изменения температуры на поверхности соседнего штабеля, для этого создавалась 3D-модель и проводилось моделирование с помощью программы PyroSim. PyroSim предоставляет пользовательский графический интерфейс для моделирования динамики развития опасных факторов пожара полемым методом на основе Fire Dynamics Simulator (FDS) [8].

В ходе исследования создали 3D-модель штабеля древесины и вводился очаг пожара с размерами, определяемыми габаритами штабеля с учетом времени развития пожара.

Проводилось моделирование развития пожара с учетом нанесения гидрогеля на поверхность соседнего штабеля древесины (рис. 8, 9).

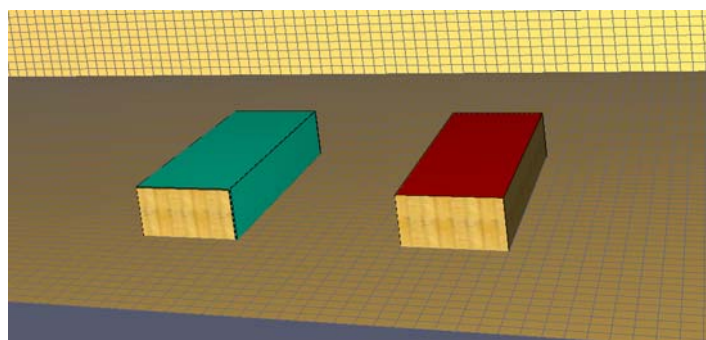


Рис. 8. Модели штабеля древесины под слоем гидрогеля (слева) и модель очага пожара (справа)

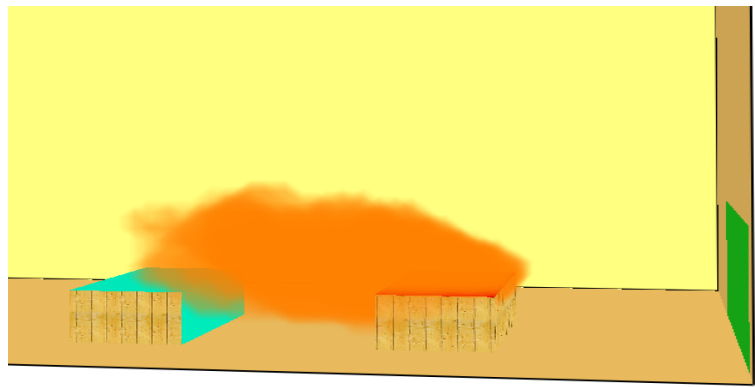


Рис. 9. Моделированный пожар штабеля древесины

Замерена температура на поверхности штабеля древесины (рис. 10).

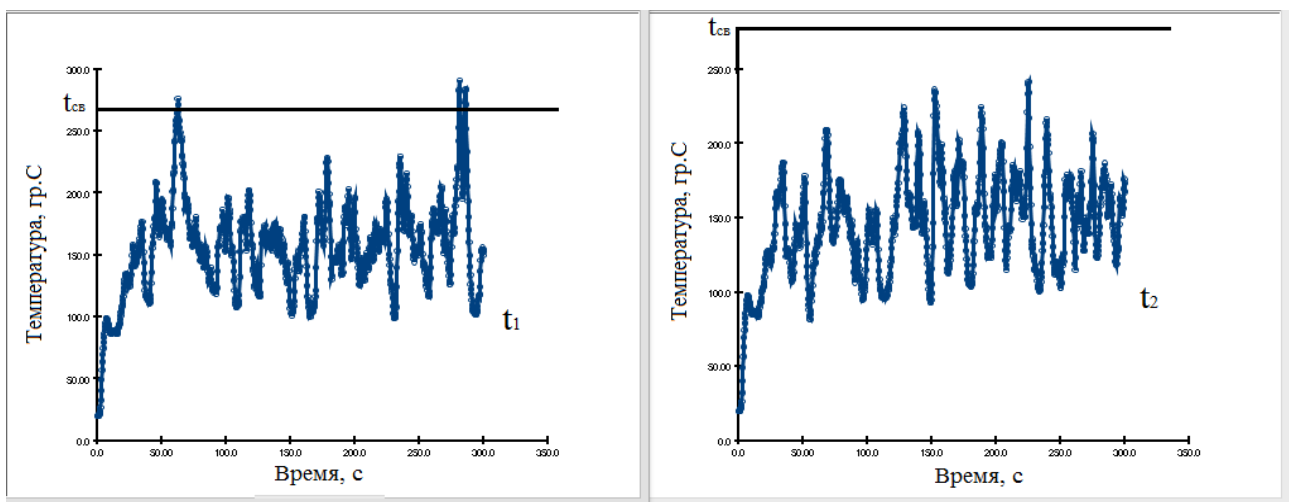


Рис. 10. Температура на поверхности соседнего штабеля древесины и температура под слоем гидрогеля:

t_1 – температура на поверхности штабеля без защитного слоя;
 t_2 – температура на поверхности штабеля под слоем гидрогеля

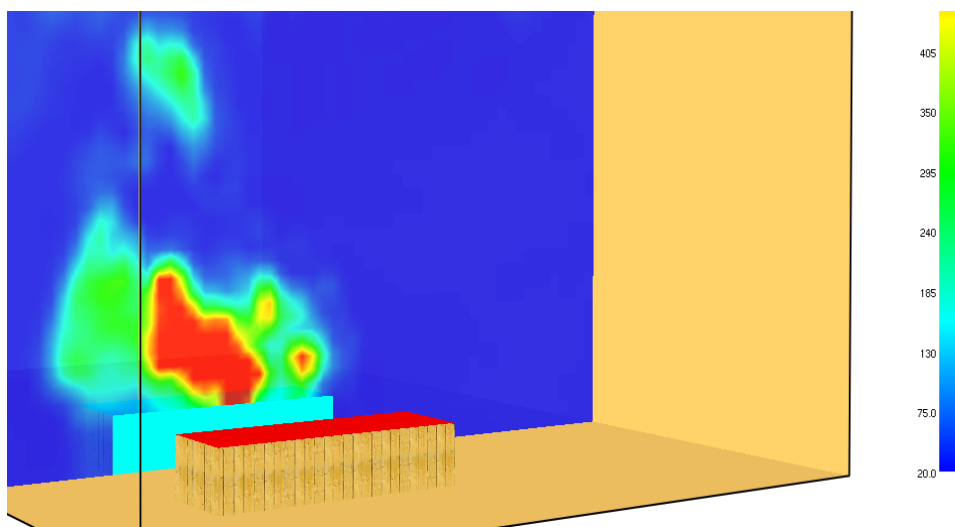


Рис. 11. Распространение температуры в пространстве

Данные, полученные экспериментально и с помощью моделирования, 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. Так же использование гидрогеля позволяет снизить расход, по сравнению с традиционными ОТВ, в три раза и время тушения на 30–40 %.

Литература

1. СНИП 2.11.06-81 Склады лесных материалов. Противопожарные нормы проектирования // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 28.12.2014).
2. Решетов А.П., Башаричев А.В., Ключ В.В. Пожарная тактика: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011.
3. Курс общей химии: учеб. 2-е изд., перераб. и доп. / Э.И. Мингулина [и др.] / под ред. Г.Н. Коровина. М.: Высш. шк., 1990. 446 с.
4. Русанов А.И. Удивительный мир наноструктур // Журнал общей химии. 2002. Т. 72. Вып. 4.
5. Способ и устройство управления физико-химическими процессами в веществе и на границе раздела фаз: пат. 2479005 Рос. Федерация.
6. 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). С. 53–56.
7. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная, огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
8. PyroSim User Manual a model construction tool for Fire Dynamics Simulator (FDS). 2010.