

Д.А. Жуйков¹, Н.Н. Старков¹, К.А. Руфанов²

¹Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов ТЭК,

²Лаборатория инновационных технологий "Квинтех"; e-mail: ipktek@ipktek.ru)

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА НОВЫМИ ОГнетушащими СОСТАВАМИ

Представлен краткий обзор проблематики пожаротушения с использованием воды и специальных составов. Определены проблемы адаптации применения нового огнетушащего состава и задачи дальнейших исследований.

Ключевые слова: огнетушащие составы, пожаротушение.

D.A. Zhuykov, N.N. Starkov, K.A. Rufanov

ABOUT INCREASING HEAT TRANSFER EFFICIENCY BY NEW FIRE EXTINGUISHING AGENTS

A brief overview of the problem of fire extinguishing using water and special formulations is presented. The problems of using new fire extinguishing agents and tasks for further research are determined.

Key words: fire extinguishing agents, fire fighting.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 12 декабря 2016 г.

Внедрение новых устройств и технологического оборудования для развития промышленных и энергетических сфер экономики связано с повышением требований к их безопасности, в том числе пожарной [1].

Несмотря на продолжающийся поиск решений в борьбе с пожарами, защите людей, зданий и сооружений, статистика борьбы, например, с лесными пожарами, не показывает резких скачков в снижении потерь от пожаров. Это свидетельствует о наличии системных недостатков в развитии данной области и об отсутствии прогрессивных средств пожаротушения.

В качестве яркого примера уместно охарактеризовать проблему, возникающую при борьбе с лесными пожарами верхового типа, проводимой с использованием специализированных вертолётов и самолётов. Технология тушения пожара предполагает единовременный сброс больших объёмов воды на очаги лесных пожаров с высоты 50-150 м с целью прекращения распространения пожара, либо перевода его в низовую фазу.

Проблема, в данном случае, состоит в том, что снижение воздушных судов до требуемой высоты в 50-80 м значительно увеличивает риск их столкновения с естественными препятствиями (деревья, сопки, горы и проч.), которые могут находиться вне зоны видимости пилотов в связи с образованием зон задымления.

Ниже приведены примеры подобных происшествий.

Самолет Ил-76 МЧС России, который был занят в тушении масштабных природных пожаров в Иркутской области 1 июля 2016 г., не вышел на связь. Наземная группа спасателей, обнаружила этот самолёт, разбившийся южнее населённого пункта Рыбный Уян, на склоне одной из сопок. Найдены останки всех десяти членов экипажа. По предварительным данным, причиной крушения стала ошибка пилота – снижение до опасной высоты при тушении лесного пожара.

Самолет Бе-200 во время ликвидации пожаров в Португалии 16 августа 2016 г. при наборе высоты после сброса воды получил повреждения обоих крыльев (рис. 1). Экипажу Бе-200 заслуженного лётчика РФ Валерия Крузе повезло, но и мастерство, конечно, помогло – обошлось без человеческих жертв.



Рис. 1. Поврежденные крылья самолета Бе-200
(<http://podpolkovnikvvs.livejournal.com/291779.html>)

Исследования практики авиационного тушения лесных пожаров показывают, что огнетушащая способность самолетов-танкеров зависит, в большей степени от высоты при сбросе воды и скорости полета. При сбросе на скоростях, превышающих 250–270 км/ч [2], жидкость трансформируется в аэрозоль под действием сопротивления воздуха, и большая её часть не достигает цели. Описанный процесс характерен для сброса воды с высоты 50 и более метров.

Процесс испарения особенно усиливается при низкой влажности. Испытания показывают, что потери на испарение при сливе с высоты 40 м с самолёта-танкера Ан-32П, летящего на скорости 230 км/ч, составляют 10 % при 80 %-й влажности воздуха, но возрастают до 50 % – при 60 %-й влажности [3].

Основной механизм во всех применяемых технологиях тушения пожаров – охлаждение с использованием "хладагента", за исключением пожаров в замкнутых объёмах, где вытеснение кислорода воздуха негорючими газами является наиболее очевидным подходом. Суть действия "хладагента" связана с ускорением процесса *теплопереноса*, иначе говоря, *отвода тепла от нагретого тела* с использованием огнетушащего вещества и снижения температуры пламени.

Теплопроводность различных веществ зависит, в первую очередь, от их агрегатного состояния, а для твердых веществ ещё и от плотности их кристаллической упаковки. Если индекс относительной теплопроводности воды принять за 1 (100 %) [4], то теплопроводность воздуха будет ниже и составит лишь 4,2 % [5], в то время как твердые тела будут более теплопроводными, например, для кварца этот индекс примет значение, равное 12 [6], для железа – 125 [7], а для серебра – 696 [5].

Материалы, содержащие в своем составе две фазы, представляют собой дисперсные системы. Теплопроводность таких систем зависит от теплопроводности дисперсной фазы и дисперсионной среды. Так, например, коэффициент теплопроводности сухого песка, равный 0,33, имеет промежуточное значение между коэффициентами теплопроводности кристаллического кварца и воздуха. Такие рассуждения позволяют объяснить причину того, почему воздушно-механическая пена плохо охлаждает поверхность горючего материала. Пена – это дисперсия воздуха в воде, и воздух может только уменьшить её теплопроводность. В то же время становится ясно, почему высокая теплопроводность огнетушащего вещества на основе дисперсных систем важна в пожаротушении: попадая на горящую поверхность и препятствуя притоку воздуха к зоне горения, такое вещество будет отводить от нее тепло значительно быстрее, чем вода.

Однако, основным продуктом, используемым в качестве "хладагента" для тушения пожаров, остается вода, обладающая наибольшей среди всех веществ удельной теплоемкостью, то есть способностью поглощать тепло на единицу массы. Несмотря на это, на больших участках пожаров её огнетушащая способность нивелируется: она или не попадает в очаг, или неравномерно распределяется, испаряясь вне зоны горения. Это свидетельствует о значительных недостатках воды, как огнетушащего вещества – её слабых адгезивных свойств.

Одним из способов изменения этого параметра для воды и, как следствие, раскрытие в большей мере её потенциала в качестве огнетушащего вещества является применение соответствующих добавок **поверхностно-активных веществ (ПАВ)** [8]. Некоторые ПАВ образуют в воде гидрогель и повышают её адгезивные свойства.

По своей природе гидрогели представляют собой структурированные двухфазные коллоидные свободносвязанные дисперсии, состоящие из высокомолекулярных компонентов ПАВ – **дисперсной фазы**, заполненных и окруженных дисперсионной средой, в данном случае – водой (рис. 2).

Преимущества гидрогелей перед водой: способность сохранять форму, заметная упругость и повышение точности и кучности сброса при авиационном тушении лесных пожаров.

В первую очередь, разница воды и геля заключается в адгезивных свойствах последнего [9], которые позволяют: препятствовать поступлению кислорода воздуха к зоне горения и охлаждать её; изолировать горючую нагрузку, ещё не горящую, как от источника нагрева, так и от доступа кислорода, что снижает вероятность возникновения окислительных процессов, предшествующих горению.

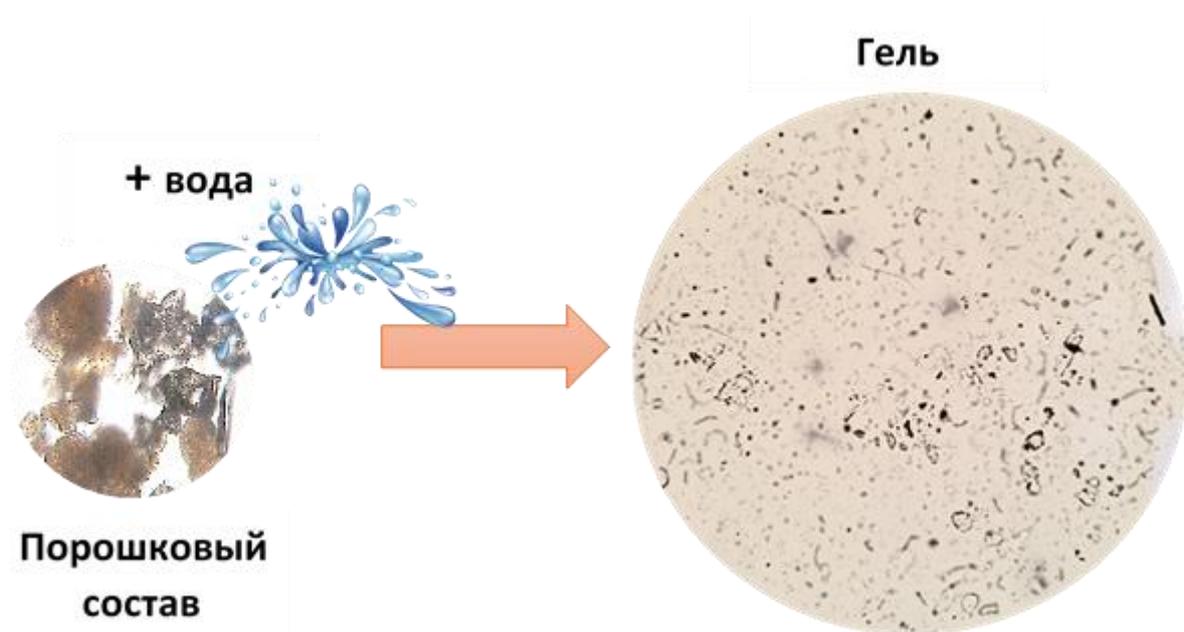


Рис. 2. Схема процесса образования гидрогеля из твёрдых гранул ПАВ при добавлении воды

Вода с наклонной поверхности быстро стекает на горизонтальную поверхность, где сбивается в капли. В любом случае, на обугленной поверхности толщина пленки воды не превышает 0,2 мм. Пена низкой кратности на тех же поверхностях может создать слой в 15-20 мм. При средней толщине пленки воды в пене 0,006 мм и размере пузырьков 0,7 мм формируется около 30 слоёв (рис. 3) жидкой фазы и практически тот же общий слой плёнки воды – 0,2 мм, который необходимо преодолеть тепловому потоку при движении к горючей нагрузке.

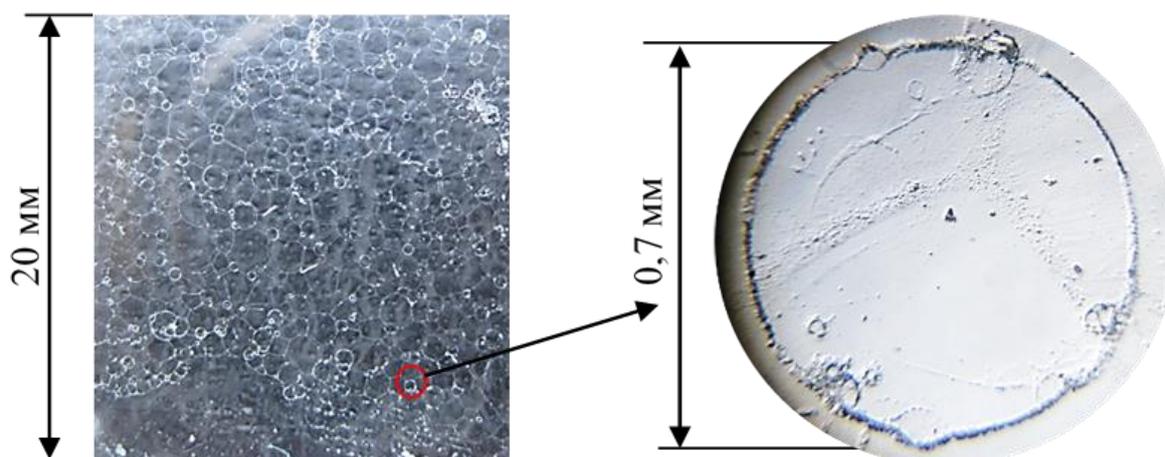


Рис. 3. Структура пены низкой кратности

Более высокие показатели тушения достигаются за счёт наличия воздуха в пузырьках. Гидрогели способны задерживаться на наклонной, в том числе вертикальной, поверхности при толщине нанесения до 3-5 мм и сохранять неизменной толщину слоя до полного потухания пламени.

Другим способом улучшения свойств воды как огнетушащего вещества, является увеличение теплопроводности за счёт диспергирования в ней веществ, обладающих более высокой, чем вода, теплопроводностью. Подобные водно-дисперсные композиции имеют, однако, недостаток – дисперсная фаза довольно быстро седиментирует из-за разницы в плотности или за счёт агрегации частиц при отсутствии соответствующих стабилизаторов.

Ряд производителей предлагают продукты, назначение которых направлено на улучшения огнетушащих свойств воды за счёт введения различных компонентов ПАВ, образующих структурированные коллоидные системы. Ниже рассмотрены некоторые из них.

Гель "Баррикада": представляет собой жидкий концентрат, который при смешивании с водой предлагается использовать для противопожарной защиты любых поверхностей (дерево, стекло, винил, металл и т.д.) в условиях прямого воздействия огня. Заявлено, что защитное покрытие работает до 24 часов, в зависимости от погодных условий (температуры, ветра и относительной влажности).

Недостатки состава: отсутствуют сведения о показателе по отводу тепла от горящих поверхностей, позволяющих быстро прекращать процесс горения и обеспечивать долгосрочную защиту от повторного возгорания; жидкая консистенция состава предполагает узкие температурные рамки хранения: не ниже 0 °С и не выше 50 °С; срок хранения не превышает 3 года; затраты на обработку открытой местности площадью 1 Га для предотвращения распространения пожара составят 950 тыс. рублей.

"Гидростатин" HSI-20: жидкий концентрат, огнетушащее вещество, служащее для ликвидации тлеющих пожаров на торфяниках, а также для локализации и ликвидации лесных пожаров.

Недостатки состава: долгосрочная защита достигается только при глубокой пропитке материалов; затраты на тушение торфяного пожара площадью 1 Га и глубиной до 1 м составят 1,6 млн рублей при норме расхода 100 литров водного раствора огнетушащего вещества на 1 м².

"FireIce®": порошок огнетушащий состав, формирующий в воде гидрогель, используемый для тушения пожаров твердых горючих материалов, включая подземные пожары.

Недостатки состава: высокий показатель вязкости, что препятствует использованию существующих средств подачи в очаг пожара, отсутствуют сведения о возобновляемости среды, затраты на обработку открытой местности площадью 1 Га для предотвращения распространения пожара составят 1,3 млн рублей [10].

Несложный анализ выявил общие проблемы, характеризующие рассматриваемые продукты, повышающие теплофизические свойства водных систем, направленных на локализацию и тушение пожаров:

- высокий показатель вязкости составов, исключающий возможность использования принятой на вооружение в России штатной пожарной техники;
- отсутствие возможности увеличения теплопроводности огнетушащих составов;
- нестабильность системы после частичного испарения воды и отсутствие гарантированного возобновления всех своих свойств после её добавления, что крайне важно в ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- отсутствие возможности формирования достаточного количества огнетушащего вещества непосредственно при тушении пожара попутным смешиванием воды из доступных источников водоснабжения и предлагаемых продуктов;
- ограничения по условиям хранения продуктов;
- высокая стоимость продуктов, связанная с тем, что производство находится вне России.

Совместной группой специалистов кафедры "Пожарная безопасность" ФГАУ ДПО "ИПК ТЭК" и ООО "Лаборатория Инновационных Технологий "Квинтех" на базе инновационного центра "Сколково" проводится работа по повышению эффективности огнетушащих составов.

На текущем этапе, в результате исследований, найден подход к стабилизации водно-дисперсных композиций и разработан оригинальный состав с регулируемой теплопроводностью на основе доступных материалов, который способен работать при значительно более высоких удельных тепловых потоках. Кроме того, установлены практические критерии, позволяющие управлять свойствами полученных композиций.

Инновационность полученных композиций заключается в выгодной комбинации макрофизических свойств дисперсной фазы, стабилизаторов, препятствующих седиментации образовавшихся дисперсий и формирующих с водой, как с дисперсионной фазой, структурированную трёхфазную свободносвязанную коллоидную дисперсию с высокими адгезивными свойствами. Принципы, использованные для создания такой композиции, позволяют получить целое семейство стабильных дисперсных систем с контролируемыми и воспроизводимыми свойствами, что весьма важно при использовании в чрезвычайных ситуациях для предотвращения распространения пожаров как в лесных массивах, так и в населённых пунктах и на объектах инфраструктуры.

Ключевой особенностью таких стабилизированных композиций является, с одной стороны, их способность препятствовать доступу кислорода воздуха к зоне горения, за счет высокой адгезии к горящим поверхностям, а с другой – более быстрая, чем у воды, способность обеспечивать отвод тепла.

Перспективный огнетушащий состав на основе таких композиций получил название "Фаерлок"® и запатентован в качестве отечественного продукта в 2016 г.

В настоящее время все проводимые исследования отражают эмпирический подход, поскольку теоретический подход к описанию физико-химических свойств таких сложных стабилизированных многофазных полидисперсных систем попросту отсутствует.

Разработанный огнетушащий состав "Фаерлок"® представляет собой диспергируемый в воде порошок, состоящий из материала твердой дисперсной фазы и стабилизатора, чьи свойства при этом обеспечивают:

- дезагрегацию дисперсной фазы, препятствующей её седиментации;
- тиксотропное изменение вязкости водно-дисперсной композиции;
- регулируемое изменение теплопроводности в зависимости от материала твердой дисперсной фазы и его содержания в используемой композиции;
- длительную стабильность дисперсной системы, в том числе после частичного испарения воды, что обеспечивает ей возобновляемость свойств при повторном добавлении воды;
- возможность быстрого формирования огнетушащего вещества в чрезвычайных ситуациях.

Перечисленные свойства разработанного состава "Фаерлок"® позволяют в процессе тушения пожара генерировать водно-дисперсную композицию из необходимого количества сухого порошка, добавляемого непосредственно в водяной поток.

При тушении лесных пожаров применение "Фаерлок"® позволит также минимизировать процесс пульверизации жидкости за счёт преобразования её в водную пыль (аэрозоль) и обеспечить, таким образом, повышенную кучность огнетушащей массы при её сбросе. Это позволит существенно "поднять" минимальную высоту работы авиатехники до 250 м над поверхностью земли и увеличить её безопасность.

Работы в данном направлении продолжаются. В настоящее время требуется инструментально адаптировать существующие средства подачи огнетушащих средств к месту пожара с использованием "Фаерлок"®.

Для получения показателей, характеризующих "Фаерлок"® как средство пожаротушения и защиты от повышенных тепловых потоков, необходимо проведение натурных испытаний с участием заинтересованных представителей Минобороны, МЧС, Минприроды и Минэнерго России.

Для широкого внедрения гелей в качестве огнетушащих составов необходимо разработать нормативно-техническую базу, отвечающую требованиям нормативно-правовых актов в области пожарной безопасности.

Литература

1. *Глазьев С. Ю., Деменьтьев В.Е., Елкин С.В. и др.* Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике. М.: Тривант, 2009. 304 с.
2. *Григорьевская А.О., Иванов Н.В., Вишнев А.В.* Анализ использования авиации для тушения лесных пожаров // Сб. междунар. конф. "Решетневские чтения". 2014. Т. 1, № 18. С. 351-352.
3. *Кориунов А.Н.* Авиационное тушение лесных пожаров: эффективность репортажей и эффективность технологий // Авиапанорама. 2011. № 4 (88). С. 10-13.
4. *Kutasov I., Eppelbaum L., Pilchin A.* Applied Geothermics. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. 751 p.
5. *Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А.* Тепломассообмен: учебник для вузов. 2-е изд. М.: МЭИ, 2011. 562 с.
6. *Bass M., Van Stryland E.W., Williams D.R., Wolfe W.L.* Devices, measurement, and properties: handbook of optics. 2nd ed. New York: McGRAW-HILL, INC, 1995. 1496 p.
7. *Peet M.J., Hasan H.S., Bhadesh H.K.D.H.* Prediction of thermal conductivity of steel // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011. № 54. P. 2602-2608.
8. *Триполицын А.А., Потапенко В.В., Старков Н.Н. и др.* Увеличение эффективности тушения твёрдых горючих материалов путем использования в качестве добавки амидофосфатов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. № 1 (6), С. 198-199.
9. *Петров Н.А., Давыдова И.Н., Акодис М.М.* Исследование комплексных реагентов СНПХ "ПКД" 515 и СНПХ "ПКД" 515Н в качестве модифицирующих добавок в технологические жидкости нефтяной промышленности // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 2. С. 34-42.
10. *Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Корчунова И.Ю.* Результаты сравнительных испытаний новых огнетушащих составов на модельных лесных пожарах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2013. № 4. С. 40-52.