

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Р.С. Волков, М.В. Забелин

Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Введение

Активное развитие различных отраслей промышленности неизбежно сопровождается ростом числа пожаров и возгораний на производствах, которые зачастую приводят к самым катастрофическим последствиям: от выхода из строя целых агрегатов и блоков производственной схемы до уноса многочисленных человеческих жизней. Особенно актуально вопрос пожарной безопасности стоит для крупных производств, от бесперебойной работы которых зависит функционирование промышленности и жизнедеятельность целых городов. К таким производствам в первую очередь следует отнести нефтегазодобывающие, нефтегазоперерабатывающие и энергетические комплексы. Добыча, переработка, транспортировка и дальнейшее использование природных ресурсов (в частности, на ТЭС) связаны с такими горючими легковоспламеняющимися веществами, как угольная пыль, нефть, мазут, природный газ и др. Поэтому к вопросам пожарной безопасности на таких предприятиях подходят особо тщательно: ужесточаются правила и требования к персоналу, вводятся в эксплуатацию современные автоматические системы пожаротушения на базе микропроцессорных комплексов, предлагаются разнообразные методы ликвидации возгораний и подачи тушащих составов в зону пожара. Так, большое распространение среди практиков и теоретиков получила идея использования при ликвидации возгораний тонкораспыленной воды [3, 4]. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования (например, [1,2,5]) подтверждают эффективность использования тонкораспыленной воды по сравнению с обычным крупным распылом воды. Главным преимуществом ее использования является высокая скорость испарения мелких капель, за счет чего достигаются значительное снижение температуры в зоне пожара и вытеснение окислителя из области горения. Однако до настоящего времени кроме, собственно, размеров капель и начальной температуры воды в качестве факторов, интенсифицирующих испарение капель тонкораспыленной воды, практически ничего не рассматривается.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование возможности интенсификации процесса испарения капель тонкораспыленной воды, путем введения в их состав твердых углеродистых микрочастиц.

Экспериментальная установка и методы исследований

При проведении исследований использовался экспериментальная установка (рис.1) для диагностики двухфазных газо-, парожидкостных потоков, работающая на базе панорамных оптических методов «Particle Image Velocimetry» (PIV) и «Interferometric Particle Imaging» (IPI). По основным элементам установка аналогична использованной в экспериментах [2,5].

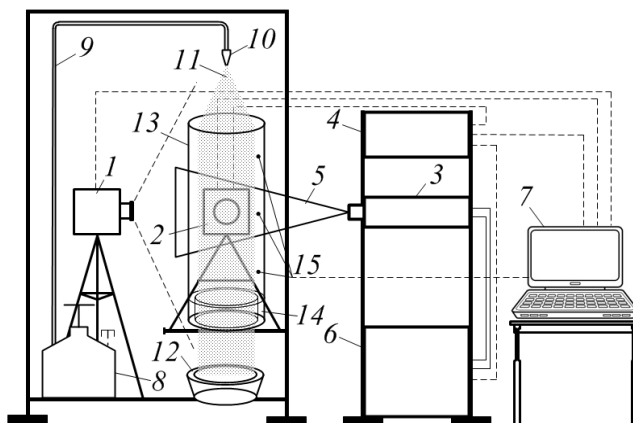


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – высокоскоростная видеокамера; 2 – кросскорреляционная видеокамера; 3 – лазер; 4 – синхронизатор сигналов ПК, лазера и видеокамер; 5 – лазерный «нож»; 6 – генератор лазерного излучения; 7 – ПК; 8 – емкость со смесью жидкости и углеродистых микрочастиц; 9 – канал подачи рабочей смеси; 10 – распыливающее устройство; 11 – капли ТРВ; 12 – уловитель капель; 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – полный цилиндр с горючей жидкостью; 15 – термомпары

Методика исследований заключалась в следующем. Полный цилиндр 14 наполнялся горючей жидкостью – керосином, после чего инициировалось его зажигание. По истечении 200 секунд в канале 13 формировалось пламя с температурой около 1100 К. Смесь воды и углеродистых микрочастиц из емкости 8 по каналу 9 подавалась на вход распыливающего устройства 10. Производился распыл смеси во внутреннюю полость канала 13. Капли тонкораспыленной воды проходили внутреннее пространство канала 13, постепенно испаряясь. Не испарившиеся капли собирались уловителем 12. При помощи кросскорреляционной видеокамеры 2 производилась видеофиксация образов капель, попавших в сечение светового «ножа» 5 лазера 3. В ходе

эксперимента видеокамера 2 вместе с лазером 3 посредством моторизованных координатных устройств перемещались по всей высоте канала 13, фиксируя изображения образов капель в разных областях. Отснятые видеоизображения капель подвергались обработке на ПК 7, где определялись основные характеристики капель. Скорости капель вычислялись с использованием метода PIV, размеры капель – с применением метода IPI [2, 5]. При помощи высокоскоростной видеокамеры 1 осуществлялось слежение за траекторией перемещения капель: в случае, если капли тонкораспыленной воды подвергались развороту и движению в противоположном направлении, видеокдры, полученные камерой 2, исключались из рассмотрения.

Размеры (радиусы) капель воды в экспериментах изменялись в пределах 200 – 300 мкм. В качестве углеродистых микрочастиц использовались твердые включения размерами около 50 мкм. Массовая концентрация частиц γ в смеси варьировалась в диапазоне 0 – 0,01.

Для анализа полноты испарения капель тонкораспыленной жидкости (по аналогии с работами [2, 5]) введен в рассмотрение параметр ΔR , характеризующий изменение размеров капель при движении через высокотемпературную газовую среду относительно их начального условного радиуса R_m ($\Delta R = (R_m - R_m^*)/R_m$, где R_m^* – значение среднего условного радиуса капли на выходе из канала с высокотемпературными газами 13, мкм).

Результаты исследований и их обсуждение

В работах по пожарной тематике традиционно подчеркивается, что тушить возгорания жидких горючих веществ капельными потоками воды можно и нужно, однако жидкость при этом должна быть должным образом измельчена. В разных источниках приводятся различные данные относительно оптимальных размеров капель для ликвидации возгораний жидких легковоспламеняющихся веществ (от 100 до 400 мкм). Причем выбираемые размеры капель зависят от множества факторов: температура вспышки вещества, площадь и высота пожара и др. Но при этом всем в большинстве источников говорится, что для эффективного тушения возгораний капли, проходя сквозь пламя, должны испаряться полностью. Таким образом, поиск способов интенсификации испарения капель воды представляется весьма актуальной задачей.

В таблице приведены значения параметра ΔR при варьировании R_m и γ . Установлено, что изменение относительной массовой концентрации микрочастиц в пределах 0 – 0,01 в составе капель тонкораспыленной воды приводит к росту скорости испарения воды в системе «жидкость – твердые включения» более чем в два раза. Данный эффект значительно усиливается с уменьшением начальных размеров R_m капель (таблица).

Таблица

Значения параметра ΔR при изменении размеров R_m капель и концентрации γ микрочастиц в них

ΔR	$\gamma=0$	$\gamma=0,002$	$\gamma=0,004$	$\gamma=0,006$	$\gamma=0,008$	$\gamma=0,01$
$R_m=200$ мкм	0,25	28	32	0,40	0,66	1
$R_m=250$ мкм	0,31	34	36	0,49	0,75	1
$R_m=300$ мкм	0,39	42	47	0,56	0,91	1

При движении капель эмульсии (воды с микрочастицами углерода) через пламя, прогрев жидкости происходит с реализацией кондуктивного, конвективного и радиационного механизмов теплопереноса. Твердые включения (углеродистые микрочастицы) поглощают существенно больше энергии излучения (продуктов сгорания) по сравнению с водой. Возрастает теплота, аккумулируемая в системе «капля воды – твердые включения». В малой окрестности твердых включений формируются локальные области фазовых превращений. Это, в свою очередь, приводит к перемещению, как твердых включений, так и непосредственно слоев жидкости внутри капель – реализуется конвективный теплоперенос. Таким образом, при введении в состав капель воды углеродистых микрочастиц размерами 50 мкм в массовой концентрации не более 0,01, можно достичь условий полного испарения капель с размерами R_m менее 300 мкм.

Заключение

В ходе исследований экспериментально установлено, что введение в состав капель ТРВ углеродистых микрочастиц с массовой концентрацией в смеси менее 0,01 способно многократно интенсифицировать процесс испарения капель в области пламени. Полученные результаты могут быть использованы при создании новых и модернизации уже существующих систем пожаротушения на основе ТРВ для обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазовой и энергетической промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам (СП-2290.2015.1).

Литература

1. Андрюшкин, А.Ю., Пелех М.Т. Эффективность пожаротушения тонкораспыленной водой // Проблемы управления рисками в техносфере, 2012. – Т. 21. – № 1. – С. 64– 69.
2. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование полноты испарения распыленной воды при ее движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность, 2013. – № 10. – С. 15– 24.
3. Сегаль М.Д. Использование тонкораспыленной воды для повышения противопожарной защиты кабельных сооружений АЭС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2011. – № 4. – С. 61– 64.
4. Соколов В.В., Тугов А.Н., Гришин В.В., Камышев В.Н. Автоматическое водяное пожаротушение с применением тонкораспыленной воды на электростанциях // Энергетик, 2008. – № 6. – С. 37– 38.
5. Volkov R.S., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. The influence of initial sizes and velocities of water droplets on transfer characteristics at high-temperature gas flow // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014. – V. 79. – P. 838-845.