Из рис. 3, б видно, что с ростом размера капель времена полного сгорания топлива также увеличивались. Следует отметить, что влияние материалы держателя на т, уменьшалось при увеличении размера капли органоводоугольного топлива. Сток тепла к держателю составляет малую часть энергии, выделяющейся при реагировании крупной частицы топлива. Таким образом, при исследованиях воспламенения и горения стационарно закрепленной капли органоводоугольного топлива выбор держателя, используемого для размещения капли в потоке имеет значение при достаточно небольших размерах капли (радиусом менее 1.5 мм) и температурах окислителя менее 975 К.

319

В заключении стоит отметить, что при снижении температуры окислителя наблюдалось нелинейное увеличение времен задержки зажигания и времен полного сгорания капель органоводоугольного топлива. Понижение внешней температуры с 970 К до 770 К приводило к увеличению т<sub>d</sub>, в среднем, в 3.5 раза и увеличению т<sub>с</sub> почти в 2 раза. Размер капли также существенно влияет на характеристики зажигания – при увеличении радиуса образца с 0.5 мм до 1.5 мм наблюдался нелинейный рост т<sub>d</sub> (в среднем в 2.2 раза при креплении капли на спае термопары или металлической проволочке и почти в 3 раза при использовании керамического стержня) и т. (в 2.4 раза при подвешивании капли на спай термопары или металлическую проволочку и в 1.6 раз при использовании керамического стержня).

Исследования выполнены за счет средств гранта Российского Научного Фонда (проект № 15–19–10003).

#### Литература

- Горлов Е.Г. Композиционные водосодержащие топлива из углей и нефтепродуктов//Химия твердого топлива. -1. 2004. – № 6. – C. 50–61.
- Лиштван И.И., Фалюшин П.Л., Смолячкова Е.А., Коврик С.И. Топливные суспензии на основе мазута, торфа, 2. древесных отходов и древесного угля//Химия твердого топлива. – 2009. – №1. – С. 3–7.
- Glushkov D.O., Strizhak P.A., Vershinina K.Yu. Minimum temperatures for sustainable ignition of coal water slurry 3.
- containing petrochemicals//Applied Thermal Engineering. 2016. V. 96. P. 534–546. International Energy Outlook with projections to 2040. Washington: Energy Information Administration, 2013. 234 4.
- Kontorovich A.E., Epov M.I., Eder L.V. Long-term and medium-term scenarios and factors in world energy perspectives 5. for the 21st century//Russian Geology and Geophysics. - 2014. - V. 55, No. 5-6. - P. 534-543.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕН СОХРАНЕНИЯ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В СЛЕДЕ КАПЕЛЬНОГО ПОТОКА И.С. Войтков

#### Научный руководитель профессор П.А. Стрижак

# Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Активное развитие различных отраслей промышленности неизбежно сопровождается ростом числа пожаров и возгораний на производствах, которые зачастую приводят к самым катастрофическим последствиям. К таким производствам в первую очередь следует отнести нефтегазодобывающие, нефтегазоперерабатывающие и энергетические комплексы. 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.

Использование распыленной воды при локализации и ликвидации возгораний на сегодняшний день является одним из самых распространенных способов пожаротушения. Разрабатываются, испытываются и вводятся в эксплуатацию системы пожаротушения на базе тонкораспыленной воды [2-4]. Однако до настоящего времени не получено достоверной экспериментальной информации о диапазонах изменения температур продуктов сгорания при воздействии на них капельным потоком, а также значениях характерных времен сохранения пониженных (относительно начальных) температур продуктов сгорания в следе последнего. В связи с этим представляет интерес экспериментальное исследование процесса изменения температуры продуктов сгорания в следе парокапельного потока.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование динамики изменения температуры продуктов сгорания в следе капельного потока при его движении в пламени.

При проведении исследований использовался экспериментальный стенд (рис. 1) для диагностики двухфазных газо-, парожидкостных потоков, работающий на базе панорамных оптических методов «Particle Image Velocimetry» (PIV) и «Shadow Photography» (SP). Для регистрации температур газовой среды (T<sub>o</sub>) в следе капельного потока применялся измерительный комплекс «National Instruments» По основным элементам установка аналогична использованной в экспериментах [1].



Рис.1 Схема экспериментального стенда: 1 – персональный компьютер (ПК); 2 – высокоскоростная плата аналогового ввода; 3 – термопары; 4 – синхронизатор сигналов; 5 – силовой блок лазера (генератор излучения); 6 – двойной импульсный Nd: YAG лазер; 7 – кросскорреляционная ССD видеокамера; 8 –емкость с водой; 9 – канал подачи воды; 10 – распылительная форсунка; 11 – капельный поток; 12 – цилиндр из кварцевого стекла; 13 – полый цилиндр с горючей жидкостью; 14 – уловитель капель; 15 – нагнетательная система; 16 – пульт включения/отключения нагнетательной системы

Для создания потока высокотемпературных продуктов сгорания применялись цилиндр 12 (высота – 1 м, диаметр – 0,2 м) из жаропрочного кварцевого стекла и полый цилиндр (горелка) 13 (высота – 0,1 м, внутренний и внешний диаметры – 0,15 м и 0,19 м, соответственно) [1]. В последний заливалось топливо с хорошо изученными и стабильными характеристиками – керосин (марки TC-1).

Для генерации капельного потока распыленной воды применялась система, состоящая из баллона с водой 8 (жидкость находилась под давлением 100–300 кПа), канала подачи воды 9 и распылительной форсунки 10. Использовались три типа распылительных форсунок, генерирующих различные (по дисперсности) капельные потоки: крупный распыл –  $R_d$ =0,08–0,35 мм; средний распыл –  $R_d$ =0,06–0,18 мм; мелкий распыл –  $R_d$ =0,04–0,12 мм.

В качестве технических средств определения характеристик капельного потока (скоростей движения капель –  $U_d$  и их размеров (радиусов) –  $R_d$ ) применялась система диагностики параметров многофазных сред на базе панорамных оптических методов «Particle Image Velocimetry» (PIV), «Shadow Photography» (SP) и др. Параметры капельного потока ( $U_d$  и  $R_d$ ) контролировались в верхней и нижней частях экспериментального стенда (в интервале от форсунки 10 до верхней кромки цилиндра 12 и в интервале от горелки 13 до уловителя 14). Значения  $U_d$  и  $R_d$  выдерживались идентичными в рамках каждой экспериментальной серии.

В ходе проведения каждого эксперимента внутренняя полость цилиндра (горелки) 13 предварительно наполнялась керосином в количестве 250 мл. Инициировалось его зажигание. В трех по высоте цилиндра 12 точках размещались термопары 3 (рис. 1). Осуществлялся распыл воды во внутреннюю полость цилиндра 12. Проводилась непрерывная регистрация температуры продуктов сгорания. Данные сохранялись на персональном компьютере I, где впоследствии выполнялась их обработка и определение характерных значений перепада температур ( $\Delta T_g$ ), а также времен ( $\tau$ ) сохранения пониженных (относительно начальных) температур продуктов сгорания в следе капельного потока. Параметр  $\tau$  представлял временной интервал от начала снижения температуры продуктов сгорания до момента полного восстановления ее первоначального значения. Погрешность определения значений времен  $\tau$  не превышала 1 с.

На (рис.2) приведены полученные по результатам обработки экспериментальных данных времена восстановления ( $\tau$ ) температур в следе капельного облака. Установлено (рис.2), что определяющее влияние на интенсивность снижения температуры в следе капельного потока оказывают начальные размеры капель воды. Так, наибольшие времена восстановления температуры до исходного значения фиксировались для относительно крупного распыла ( $R_d$ =0,08-0,35 мм). Для двух других типов распыла можно отметить небольшие различия времен  $\tau$  (в пределах 8-10 %), что, скорее всего, вызвано близкими диапазонами изменения размеров капель в потоке для данных типов распыла жидкости:  $R_d$ =0,06-0,18 мм – среднего и  $R_d$ =0,04-0,12 мм – мелкого, соответственно.

Кроме того при анализе полученных данных можно сделать заключение, что снижение температуры в следе капельного потока определяется двумя механизмами: сбиванием пламени горючей жидкости и снижением концентрации продуктов сгорания в следе капельного потока; расходованием энергии пламени и продуктов сгорания на испарение капель воды. Так, на рис. 2 хорошо видно, что для всех рассмотренных типов распыла значения  $\tau$  при температуре газовой среды 400–550 К практически сопоставимы и различаются не более чем на 1,5–2 с. Очевидно, что при таких температурах продуктов сгорания реализуется первый механизм снижения температуры пламени. При температурах же выше 550 К наблюдается существенная разница во временах  $\tau$ , которая становится особенно заметной при достижении  $T_g$  значений 850 К (рис. 2). Такой результат обусловлен тем, что капли размерами  $R_d$ <0,16 мм способны полностью испариться при прохождении расстояния 1 м в высокотемпературных продуктах сгорания [1]. Таким образом, наблюдается снижение температуры продуктов сгорания за счет затрат энергии пламени на фазовые превращения (парообразование).



Рис.2 Зависимости времен восстановления (τ) температур в следе капельного облака до начальных значений (до впрыска воды) от начальных температур продуктов сгорания

В результате проведенных экспериментов определены диапазоны изменения температур, а также значения времен сохранения пониженных температур продуктов сгорания в следе капельного потока. Установленные значения времен  $\tau$  для разных температур  $T_g$ , а также размеров капель  $R_d$  могут быть использованы при выборе параметров работы распылителей в системах пожаротушении на основе тонкораспыленной воды [2–4]. С использованием полученных результатов можно прогнозировать условия, обеспечивающие эффективное снижение температуры продуктов сгорания.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-39-00003).

#### Литература

- 1. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование эффективности распыления жидкости при тушении возгораний в помещениях // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 7. С. 38 – 42.
- 2. Корольченко Д.А., Громовой В.Ю., Ворогушин О.О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 9. – С. 54 – 57.
- 3. Саламов А.А. Современная система пожаротушения «водяной туман» высокого давления // Энергетик. 2012. № 3. С. 16 18.
- Соковиков 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.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАВОДНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ НА ПРИОБСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ П.В. Волков

### Научный руководитель доцент С.Ф. Санду Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из важнейших параметров разработки нефтяного месторождения является проектный коэффициент извлечения нефти (КИН). Для месторождений северных территорий его значение составляет порядка 30 – 40 %. Важной проблемой на сегодняшний день является необходимость повысить значение коэффициента извлечения нефти и не допустить его снижение ниже проектного значения. Также, в связи с высоким темпом разбуривания новых кустов скважин и освоения территорий на отдаленных участках, необходимо строить кустовые насосные станции (КНС) для системы поддержания пластового давления (ППД). Для строительства таких необходимы большие экономические затраты, также при возведении данных сооружений наноситься непоправимый вред окружающей среде [2].

Для вовлечения в разработку запасов нефти сосредоточенных в слабофильтруемых и застойных зонах месторождения, а, следовательно, повышения КИНа и исключения строительства КНС рассмотрим систему воздействия на продуктивный пласт на примере Приобского месторождения. Сложность эксплуатации данного месторождения заключается в том, что на его территории ведется одновременно разработка трех продуктивных пластов: AC<sub>10</sub>, AC<sub>11</sub> и AC<sub>12</sub> (рисунок 1), которые имеют аномально низкую проницаемость 4,2 мД, 12,8 мД и 2,5 мД соответственно [1, 4].



Рис. 6 Продуктивные пласты Приобского месторождения [1]