

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТОЛКНОВЕНИЯ КАПЕЛЬ
РАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ**

Д.В. Антонов, Р.С. Волков, П.А. Стрижак

Научный руководитель: профессор, д.т.н. П.А. Стрижак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dva14@tpu.ru

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE DISPERSED WATER DROPLETS COLLISION IN A HIGH
TEMPERATURE GAS STREAM**

D.V. Antonov, R.S. Volkov, P.A. Strizhak

Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.A. Strizhak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dva14@tpu.ru

***Annotation.** An experimental research of collision processes of dispersed water droplets (with sizes from 0.05 mm to 0.5 mm) in the flame (with temperature of 1100 K) was carried out. The characteristic modes of the water droplets collision at their motion in a high temperature gas area are identified. With using of modern high-speed diagnostic system the characteristics of droplets collisions processes leading to their coagulation, dispersal or fragmentation are obtained.*

В настоящее время в связи со стремительным развитием технического прогресса, противопожарная безопасность является весьма актуальной. При этом основной задачей всевозможных разработок и исследований [1, 2] является повышение эффективности известных средств и методов пожаротушения. На сегодняшний день одним из наиболее распространенных и перспективных является способ тушения возгораний, при котором осуществляется мелкодисперсный распыл воды в зону пожара [1, 2]. При этом, как правило, основное внимание уделяется таким параметрам, как взаимное расположение форсунок, скорости распыла, расход воды, дисперсность капель в потоке и др. Абсолютно не берется во внимание тот факт, что капли при движении во встречно направленной высокотемпературной газовой среде подвержены многочисленным столкновениям, последствием которых может являться изменение структуры капельного потока. Это, в свою очередь, способно по-разному сказываться на эффективности тушения возгораний: как в сторону уменьшения времени их ликвидации, так и наоборот. Цель настоящей работы – экспериментальное исследование и определение вероятности наступления одного из характерных режимов столкновения капель воды при их движении в потоке высокотемпературных газов.

При проведении исследований использовался экспериментальный стенд, обеспечивающий видеорегистрацию процессов столкновения капель воды в потоке высокотемпературных газов, аналогичный используемому в работах [3,4]. Для генерации капель воды использовались специализированные форсунки типа ФМТ-9,0 и баллон с водой, находящейся под давлением. Для повышения контрастности видеogramм с изображениями капель в состав воды, аналогично [3, 4]

вводились специальные включения – «трассеры», представляющие нанопорошок диоксида титана. Начальные размеры (радиусы) r_m капель воды в потоке варьировались в диапазоне 0,05-0,5 мм. Начальные скорости капель u_m изменялись в диапазоне 0,5-12 м/с. Благодаря широкому диапазону скоростей и размеров капель была увеличена область экспериментальных исследований, что позволяло регистрировать столкновения капель с различными характеристиками. Максимальные случайные погрешности определения рассматриваемых параметров составили: r_m – 2,1 %, u_m – 3,4 %.

Для формирования высокотемпературной газовой среды с контролируемыми параметрами применялся вертикальный цилиндрический канал из кварцевого стекла (высота 1 м, диаметр 0,2 м). В основании канала устанавливалась полая подложка, в межстеночное пространство которого заливалось жидкое топливо – керосин, которое зажигалось непосредственно перед проведением опытов. Через интервал времени около 300 секунд вследствие стационарного режима горения керосина в цилиндре формировалась газовая среда с требуемой для экспериментов температурой (1100 К). Производилось распыление воды во внутреннюю область цилиндра с высокотемпературной газовой средой.

В качестве основной аппаратуры использовались высокоскоростные видеокамеры с частотой съемки до 10^5 кадров в секунду; кросс-корреляционная камера с форматом изображения 2048×2048 пикселей, минимальной задержкой между двумя последовательными кадрами не более 5 мкс; двойной импульсный лазер, имеющий длину волны 532 нм, энергию в импульсе 70 мДж, длительность импульса не более 12 нс; синхронизирующий процессор с дискретизацией сигналов не более 10 нс.

Скорости и размеры капель воды определялись с использованием панорамных оптических методов диагностики «Particle Image Velocimetry» и «Interferometric Particle Imaging». Для получения видеокадров столкновений двух капель воды использовались методы высокоскоростной видеосъемки. Производилась видеофиксация процесса столкновения капель в разных регистрационных областях в цилиндре из кварцевого стекла. С использованием специального программного обеспечения «Тема Automotive» проделывалась процедура обработки снятых видеокадров, по результатам которой определялись режимы столкновений двух капель воды, а также оценивалось влияние их скоростей (u_{m1} , u_{m2}) и размеров (r_{m1} , r_{m2}) на вероятность возникновения того или иного результата столкновения.

В ходе данного исследования были выявлены характерные режимы столкновения капель: коагуляция (слияние капель), разлет (образование двух капель с характерными размерами, близкими начальным) и дробление (образование более трех капель существенно меньших относительно начальных размеров). Анализ более 1000 кадров видеogramм проведенных экспериментов позволил определить вероятности реализации каждого из трех последствий столкновений. При численной обработке результатов экспериментов использованы параметры:

$P_1 = N_1 / (N_1 + N_2 + N_3)$, $P_2 = N_2 / (N_1 + N_2 + N_3)$, $P_3 = N_3 / (N_1 + N_2 + N_3)$, где N_1 , N_2 , N_3 – число столкновений, в результате которых реализуется, соответственно, первый, второй и третий варианты последствий столкновений.

На рис. 1 представлены типичные значения критериев P_1 (коагуляция), P_2 (разлет) и P_3 (дробление) при изменении скоростей движения сталкивающихся капель. Хорошо видно (рис. 1), что вероятность наступления процесса коагуляция высока при малых скоростях и уменьшается по мере увеличения скорости одной из капель воды. Это обусловлено превышением сил вязкости над силами инерции. При

росте скоростей движения капель воды вероятность наступления процессов разлета (P_2) и дробления (P_3) увеличивается, и в один из моментов вероятность наступления каждого процесса равноправна (равновозможна). Этому моменту соответствует скорость капель воды $u_{m1}=9-11$ м/с.

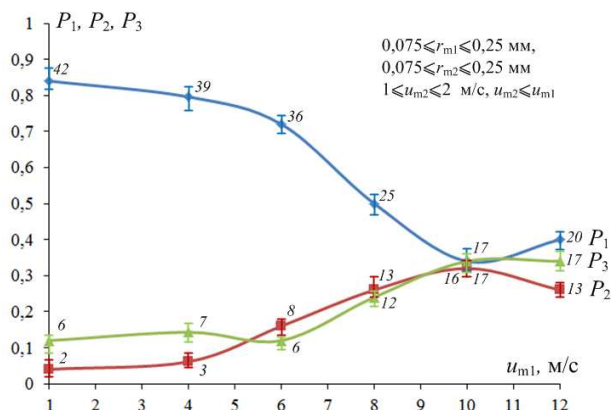


Рис. 1. Статистика возникновения каждого из трех последствий столкновения двух капель при изменении скорости перемещения одной из них: P_1 – коагуляция, P_2 – разлет, P_3 – дробление

Установлено, что при сопоставимых размерах капель рост разности скоростей их движения приводит к увеличению вероятности разлета и снижению числа столкновений с коагуляцией до $P_1=0,15$. При этом вероятности дробления минимальны ($P_3=0,11$). Этот результат, скорее всего, обусловлено тем, что при сопоставимых размерах и малых скоростях движения капель их импульсы практически идентичны. Поэтому силы инерции при столкновении минимальны. Силы поверхностного натяжения и вязкости существенны. Это приводит к доминированию процесса коагуляции.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований установлено, что характеристики распыла воды (скорости капель и их размеры) влияют на режимы столкновения капель. На основе выявленных закономерностей можно выбирать параметры подачи воды в зону пожара и расположения распылителей (относительно друг друга), при которых будет обеспечиваться требуемое измельчение капель потока или их укрупнение. Это, в свою очередь, позволит формировать полидисперсные капельные потоки для минимизации расхода массы тушащей жидкости при сохранении ее огнетушащей способности.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко Д.А., Громовой В.Ю., Ворогушин О.О. Применение тонкораспыленной воды для тушения пожаров в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. - 2011. - № 11. - С. 54–57.
2. Саламов А.А. Современная система пожаротушения «водяной туман» высокого давления // Энергетик. - 2012. - № 3. - С. 16–18
3. 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.
4. 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.