

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТОЛКНОВЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ДВИЖУЩИХСЯ КАПЕЛЬ ВОДЫ В ПОТОКЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВ

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Введение. В мире в настоящее время перспективными являются несколько вопросов, связанных с исследованием процессов движения последовательных капель воды в потоке высокотемпературных газов. Эти вопросы актуальны для таких сфер и отраслей промышленности, как термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе [1, 2]. Основным недостатком современных систем термической очистки жидкостей является высокий расход топлива для реализации процессов испарения капель воды, а также необходимость повторного пропускания капель через нагревательные камеры вследствие значительного уноса жидкости газами, осаждения и конденсации ее на стенках камер. Унос капель продуктами сгорания является важной проблемой также для современных систем пожаротушения распыленными потоками [3, 4]. Все это связано с отсутствием до недавнего времени подходов и методов для достоверных экспериментальных исследований комплекса взаимосвязанных протекающих процессов тепломассопереноса, фазовых превращений и химического реагирования для газопарокапельных систем.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование процессов столкновения нескольких последовательно движущихся капель воды в потоке высокотемпературных газов.

Методика экспериментальных исследований. При проведении исследований использовался экспериментальный стенд, представленный на рис. 1. Данный стенд использовался для регистрации движения нескольких последовательных капель воды и изучения процессов их столкновения.

Стенд представлял собой регистрационный комплекс на базе высокоскоростных видеокамер 1 «Phantom V411» и «Phantom Miro M310» (частота съемки – до $6 \cdot 10^5$ кадров в секунду). Для генерации идентичных друг другу последовательных капель воды использовалось специально сконструированное для этих целей устройство последовательной подачи капель 11. Разработанное устройство позволяли получать начальные значения скоростей движения капель около 0,2 м/с. Размеры (радиусы) генерируемых капель варьировались в диапазоне 1-2 мм. Для формирования высокотемпературной газовой среды использовался вертикальный цилиндрический канал 13 из кварцевого стекла и полый цилиндр 14, в межстеночное пространство которого заливалось жидкое топливо – керосин, который в последствие закипал. Температура продуктов сгорания T_g составляла около 1100 К.

Методика экспериментов заключалась в следующем:

- при помощи специализированного электронного дозатора 5 выполнялся забор воды в количестве 100 мкл из емкости 4;
- дозатором 5 задавался объем генерируемых капель, после чего производилось контрольное взвешивание одной капли на лабораторных микровесах 6 и вычислялся ее объем (с целью определения погрешности дозирования);
- при помощи дозатора 5 капли размещались в устройстве последовательной подачи капель 11 на расположенных там вертикально на фиксированном расстоянии друг над другом иглах;
- устройство последовательной подачи капель 11 приводилось посредством механических манипуляций в рабочее положение;

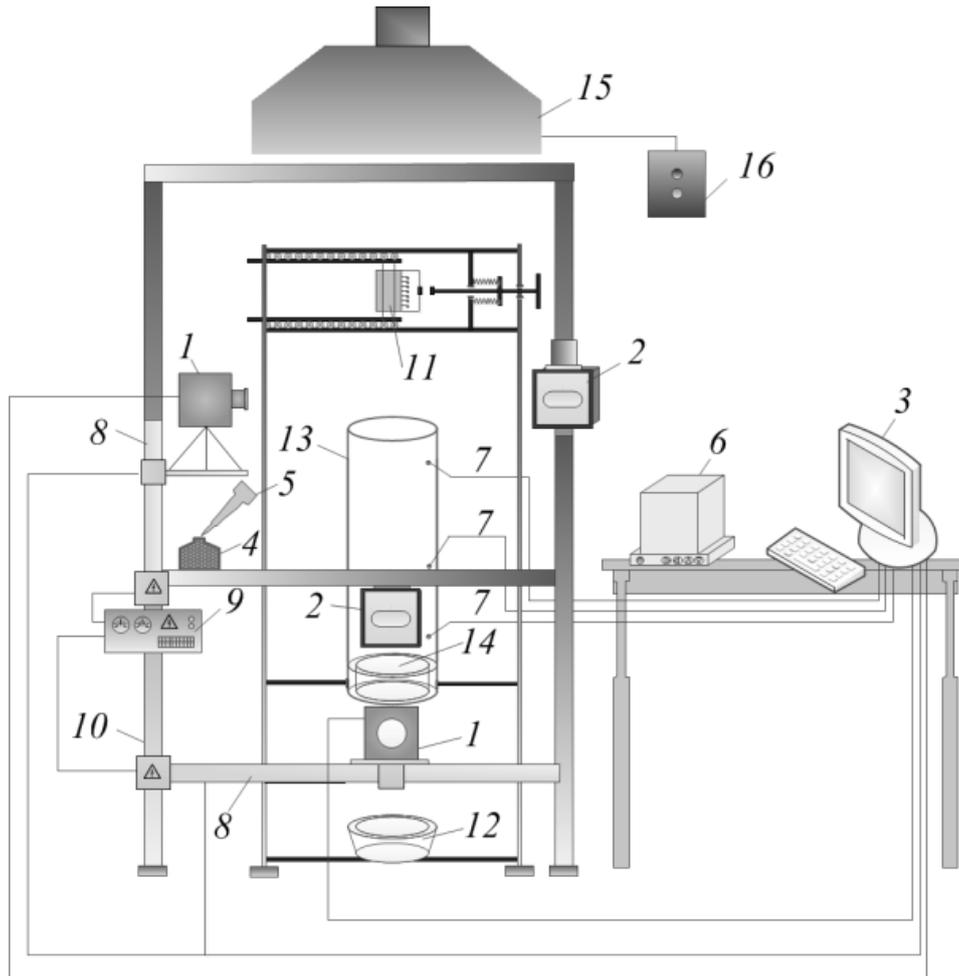


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 – высокоскоростные видеокамеры; 2 – осветительные прожекторы; 3 – персональный компьютер (ПК); 4 – емкость с водой; 5 – дозирующее устройство; 6 – микровесы; 7 – термопары; 8 – моторизированные координатные устройства (МКУ); 9 – блок питания МКУ; 10 – алюминиевая стойка; 11 – устройство последовательной подачи капель; 12 – уловитель капель; 13 – цилиндр из кварцевого стекла; 14 – полый цилиндр с горючей жидкостью; 15 – нагнетательная система; 16 – пульт включения/отключения нагнетательной системы

- осуществлялся сброс капель во внутреннюю область цилиндра 13;
- выполнялась процедура видеорегистрации движущихся капель воды высокоскоростными видеокамерами 1, для наилучшего отображения капель на видеogramмах регистрационных областей траектория их перемещения подсвечивалась осветительными прожекторами 2;
- снятые видеозаписи процесса перемещения капель передавались на рабочую станцию 3, где выполнялась процедура их обработки и последующего постэкспериментального анализа результатов при помощи специальных программных комплексов.

Результаты. В ходе данного исследования были установлены особенности процессов столкновения последовательных капель воды через высокотемпературные газы. Проведена серия опытов по регистрации процесса движения нескольких капель воды в пламени горючей жидкости. Получены зависимости расстояния между тремя последовательно перемещающимися каплями после прохождения зоны с высокотемпературными газами при различных начальных значениях l_0 (рис. 2).

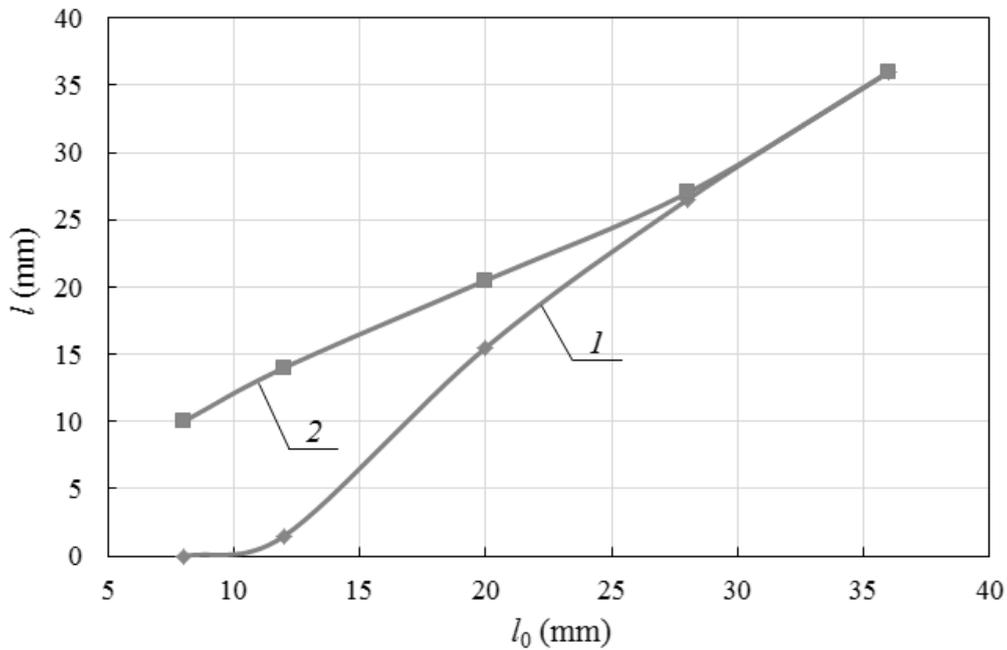


Рис. 2. Расстояния между тремя последовательно перемещающимися каплями после прохождения зоны с высокотемпературными газами при различных начальных значениях l_0 (1 – расстояние между первой и второй каплями, 2 – расстояние между второй и третьей каплями)

На рис. 2 представлены характерные расстояния между каплями при различных начальных значениях этого параметра для системы с тремя последовательно перемещающимися каплями. Полученные зависимости хорошо иллюстрируют выделенные выше эффекты ускорения, замедления и коагуляции капель в зависимости от расположения. Очевидно, что эти эффекты можно использовать в большой группе современных газопарокапельных тепловых технологиях (в частности, обработка газопарокапельными смесями зашлакованных теплонагруженных поверхностей энергетического оборудования; теплоносители на базе дымовых газов, капель воды или эмульсий, а также паров воды; термическая или огневая очистка воды, эмульсий и суспензий на ее основе). Особенно перспективным представляется применение выделенных эффектов при разработке систем полидисперсного пожаротушения специализированными смесями и аэрозолями.

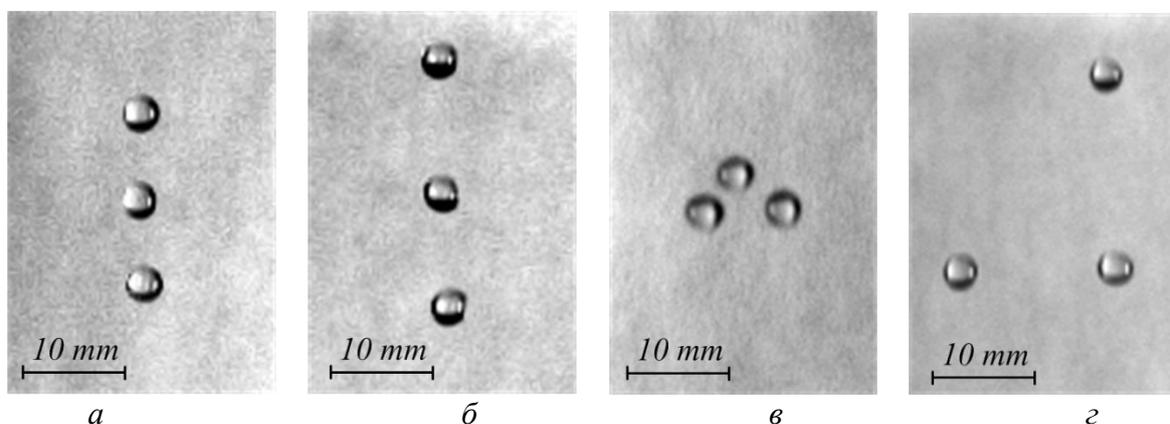


Рис. 3. Видеogramмы с изображениями трех капель, движущихся последовательно (а – $l_0 = 8$ мм, б – $l_0 = 12$ мм) и последовательно-параллельно (в, г)

На рис. 3 представлены характерные видеокадры с последовательно-параллельным движением капель через рассматриваемые высокотемпературные газы. При расстояниях между характерными траекториями параллельно движущихся капель больше $3R_d$ влияние впереди идущих капель на условия движения последующих для представленных на рис. 3 схем минимально (последующие капли перемещаются с характеристиками, соответствующими впереди идущим). При уменьшении расстояний между последовательно и параллельно перемещающимися каплями выделенные эффекты торможения, ускорения и коагуляции зарегистрированы во всех опытах.

Заключение. Выделенные закономерности перемещения нескольких последовательных капель воды позволили сделать вывод о том, что при высоких температурах газов очень высока вероятность последовательного слияния большой группы капель движущихся друг за другом. Этот эффект очень важен для протяженных каналов в теплоэнергетических приложениях, а также больших площадях горения в системах пожаротушения. При этом масштаб отличий определяется начальным расстоянием между каплями. Разработанная методика и установленные эффекты могут быть использованы для решения большой группы фундаментальных газопарокапельных задач, а также при прогностической оценке полноты испарения и масштабов уноса капель в системах термической очистки воды и полидисперсного пожаротушения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-33-5008515).

ЛИТЕРАТУРА

1. Терехов В.И., Терехов В.В., Шишкин Н.Е., Би К.Ч. Экспериментальное и численное исследование нестационарного испарения капель жидкости // Инженерно-физический журнал. –2010. –Т. 83. –№ 5. –С. 829–836.
2. Терехов В.И., Пахомов М.А. Тепломассоперенос и гидродинамика в газопарокапельных потоках. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2009. –284 с.
3. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Экспериментальное исследование влияния начальной температуры распыленной воды на интенсивность ее испарения при движении через пламя // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. N 3. – С. 12–21.
4. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Влияние начальных параметров распыленной воды на характеристики ее движения через встречный поток высокотемпературных газов // ЖТФ. –2014. – Т. 84. –№ 7. –С. 15–23.

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КАМПУСА ДВФУ И О. РУССКИЙ

Горте О. И.*, Хмелик М. С.***, Маркин В. А.***

*Новосибирский Государственный технический университет, Новосибирск

** Сколковский институт науки и технологий,

Центр по энергетическим системам, Москва

***Дальневосточный федеральный университет, Владивосток

Введение

Развитие российской энергетики неизбежно должно пойти в направлении применения новых технологических решений: распределенных устройств хранения энергии, твердотельных трансформаторов, средств кибернетической безопасности,