УДК 532.61.096

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ НА ПОСЛЕДСТВИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ОДИНОЧНЫХ КАПЕЛЬ

П.П. Ткаченко, С.С. Кропотова, Н.Е. Шлегегль
Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. П.А. Стрижак
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: ppt1@tpu.ru

INFLUENCE OF LIQUID TEMPERATURE ON SINGLE DROPLETS COLLISIONS

P.P. Tkachenko, S.S. Kropotova, N.E. Shlegel
Scientific Supervisor: Prof., Dr. P.A. Strizhak
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: ppt1@tpu.ru

Abstract. *In the present study, we presented the results of experimental studies the water droplets interaction processes leading to their secondary atomization at different initial temperatures. Water heated about 20 °C and 90 °C, respectively. The droplet interactions recorded using a high-speed video camera. Based on the results of the experimental studies, maps of interaction modes are constructed in the form of a dependence of a dimensionless linear parameter on the Weber number, and the integral characteristics of child droplets: size and quantity.*

Введение. Процессы измельчения капель жидкостей на протяжении многих лет привлекают внимание исследователей [1]. Такая актуальность тематики объясняется большим спектром промышленных технологий, в которых используются газопарокапельные потоки [2]: технологии испарения и конденсации в теплообменных установках; сжигание композиционных топлив и др. Изучаемые процессы измельчения капель в таких технологиях нацелены на увеличение площади поверхности жидкости [3]. Как правило, измельчение жидкостного потока разделяют на первичное [4] и вторичное [5]. Первичное достигается путем применения форсуночных устройств, нагнетателей и др. В качестве основных схем вторичного измельчения принято считать соударения капель между собой или с твердой поверхностью.

Экспериментальная часть. При проведении экспериментов для определения влияния температуры воды на режимы соударений и характеристики измельчения использовался стенд, схема которого представлена на рис. 1. Особенностью стенда являлось использование медного капилляра, что позволило нагревать жидкости непосредственно перед генерацией капель. Нагрев осуществлялся при помощи газовой горелки. С помощью нагрева воды горелкой удалось достичь ее температуры до 100 °C. При прохождении капель через сопла их температура снижалась приблизительно на 10 °C. На выходах капилляров устанавливались металлические сопла, что позволяло варьировать радиусы капель (R_{d1}, R_{d2}). Сопла закреплялись на дисковом элементе, который позволял варьировать угол атаки (α_d) от 0° до 90°. Для подачи жидкости применялись погружные насосы. Для регистрации процессов соударения капель воды использовалась высокоскоростная видеокамера. Анализ полученных видеограмм проводился в

программном обеспечении Photron Fastcam Viewer. Измерение скоростей движения капель проводились с помощью встроенной функции Analysis.

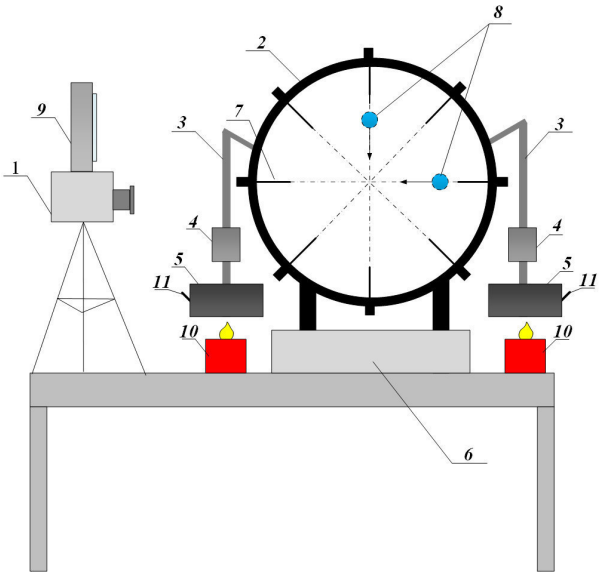

Рис. 1. Схема экспериментального стенда. 1 – высокоскоростная видеокамера; 2 – держатель сопла; 3 – капилляры; 4 – насос; 5 – резервуар с подаваемой жидкостью; 6 – емкость для сбора жидкости; 7 – сопла; 8 – капли; 9 – прожектор; 10 – газовая горелка; 11 – термопара

Расчет результирующей скорости взаимодействия капель проводился по теореме косинусов $U_{rel}=(U_{d1}^2+U_{d2}^2-U_{d1}\cdot U_{d2}\cdot 2\cdot\cos(\alpha_d))^{0,5}$. Рассчитывался безразмерный линейный параметр взаимодействия $B=b/(R_{d1}+R_{d2})$. Далее вычислялось число Вебера ($We=2\cdot\rho\cdot R_{d1}\cdot U_{rel}^2/\sigma$). Свойства воды принимались в соответствии с данными: при температуре 20 °C (ρ=998 кг/м^3; σ=0.07269 Н/м; μ=0.0014 Па·с) и температуре 90 °C (ρ=958 кг/м^3; σ=0.0613 Н/м; μ=0.000237 Па·с).

Результаты. При анализе видеограмм в проведенных опытах выделялись четыре режима взаимодействия капель: отскок (BO), коагуляция (CO), разлет (SE), дробление (DI). Выполненные экспериментальные исследования показали, что нагрев одной из капель оказывает существенное влияние на зарегистрированные режимы соударения и интегральные характеристики вторичные капли. На рис. 2 приведены карты режимов соударения капель, которые построены с учетом зависимости безразмерного линейного параметра взаимодействия от числа Вебера. Так как с увеличением температуры воды снижается поверхностное натяжение, то критические значения числа Вебера для перехода между режимами меняются. Карта режимов построена относительно капель с температурами 20 °C и 90 °C. Анализируя полученные зависимости (рис. 2), можно отметить, что критические значения We для режима отскока возрастают, т.е. более широкий диапазон We соответствует условиям отскока.

Критические значения чисел Вебера для режима дробления снижаются на 20–30% для капель с температурой 90 °C относительно капель при температуре 20 °C. Такой эффект связан с уменьшением поверхностного натяжения при росте температуры жидкости и высокой относительной скоростью движения капель. За счет уменьшения критического значения числа Вебера для режима дробления и его увеличения для отскока диапазоны по We для границ режима коагуляции уменьшаются на 30–50%. Но при снижении линейного параметра взаимодействия относительно значения 0,5 реализуется режим

разлета. Диапазон по We для капли с меньшей температурой больше на 5-20% относительно границы капель при 90 °C. Тем самым граница перехода к коагуляции расширяется на 5-15% по значению We.

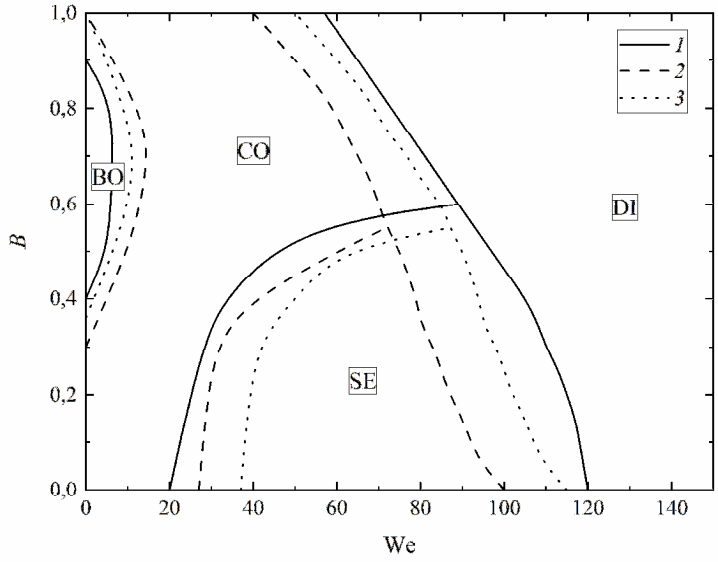

Рис. 2. Карты режимов взаимодействия с использованием безразмерного линейного параметра взаимодействия капель воды: 1 – 20 °C; 2 – 90 °C; 3 – результаты из опытов с 90 °C, но при расчёте числа Вебера использованы свойства воды при 20 °C

Заключение. Проведенные эксперименты показали, что нагрев даже одной из капель приводит к существенному изменению карты режимов их взаимодействия относительно условий без нагрева. Для режима дробления критическое число Вебера уменьшилось с 80 до 60, разлета с 30 до 28, а отскока, наоборот, возросло с 5 до 17 в случае соударения капель с температурой 20 °C и 90 °C относительно условий соударения капель с температурой около 20 °C.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 18–71–10002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tarlet D., Josset C., Bellettre J. Comparison between unique and coalesced water drops in micro-explosions scanned by differential calorimetry // Int. J. Heat Mass Transf. – 2016. –P. 689–692.
2. Strizhak P.A., Volkov R.S. The integral characteristics of the deceleration and entrainment of water droplets by the counter flow of high-temperature combustion products // Exp. Therm. Fluid Sci. – 2016. – P. 54–65.
3. Vysokomornaya O. V., Piskunov M. V, Strizhak P.A. Breakup of heterogeneous water drop immersed in high-temperature air // Appl. Therm. Eng. – 2017. – P. 1340–1345.
4. Wang X., Han Z., Su W. Numerical study of the impact on high-pressure and evaporating spray behavior of nozzle cavitation at typical diesel engine conditions // Int. Commun. Heat Mass Transf. – 2017. – P. 175–182.
5. Tanimoto D., Shinjo J. Numerical simulation of secondary atomization of an emulsion fuel droplet due to puffing: Dynamics of wall interaction of a sessile droplet and comparison with a free droplet // Fuel. – 2019. – Vol. 252. – P. 475-487.