

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КАПЛИ ЖИДКОСТИ, УДАРЯЮЩЕЙСЯ О ПЕРЕГРЕТУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Опалев А.

Научный руководитель: Феоктистов Д.В., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: OAE@sibmail.com

Для исследований падения капли на перегретую поверхность, разработан экспериментальный стенд. Принципиальная схема этого стенда представлена на рис. 1.

В экспериментальной установке используется улучшенная теневая методика [1]. Данная система предназначена для наблюдения за жидкостью во время процесса падения капли на поверхность. Для проецирования изображения на сенсор камеры используется комбинация конденсирующая линза 5 и объектив камеры 7.

Установка помещена на стол поверх плиты выполненной из стали. Элементы установки прикреплены к стальной плите с помощью болтов, что обеспечивает неподвижность элементов установки.

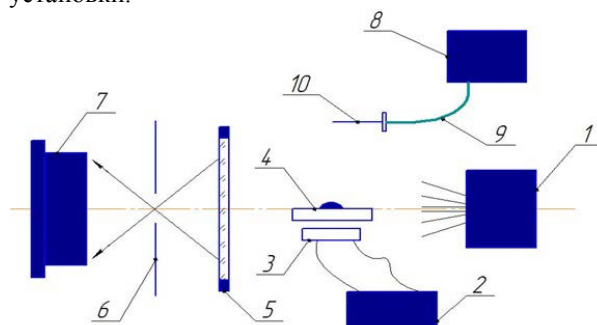


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – источник света; 2 – блок питания электронагревателя; 3 – электронагревательный элемент; 4 – подложка; 5 – конденсирующая линза; 6 – непрозрачный щит с отверстием; 7 – камера с объективом; 8 – насос; 9 – патрубок подачи жидкости; 10 – игла для образования капли.

Основными элементами установки являются: источник света 1, конденсирующая линза 5, рабочий участок 3-4, непрозрачный щит с отверстием 6 и камера с объективом 7. Элементы установки располагаются на определенном расстоянии между собой для наилучшей визуализации процесса падения капли.

Блок питания 2 подключён к нагревательному элементу 3 с помощью проводов. С помощью насоса 8 регулируется расход подачи жидкости через патрубок 9 к игле 10, где образуется капля. Поток света проходит через каплю (во время её полета и на подложке) и поступает на конденсирующую линзу 5, где преломляется, в луч идущий через непрозрачный щит в отверстие 6 и регистрируется высокоскоростной камерой 7.

Рабочий участок состоит из следующих элементов установки: подложка 4 (медная

пластина) и электронагреватель 3.

В разработанной установке источником тепловыделения является электрический ток, подводимый к спирали накаливания выполненного в виде открытого сверху и снизу металлического кожуха. В качестве электронагревателя используется круглая плоская спираль диаметром 50 мм, состоящая из девяти витков нихромовой проволоки диаметром 2 мм. Непосредственно на электронагревательный элемент помещена круглая пластина (подложка) с диаметром 54 мм и толщиной 4 мм, выполненная из меди (ГОСТ 617-90).

Измерение нестационарной температуры подложки производилось с помощью восьмиканального устройства Agilent 34901A. В качестве датчиков температур использовалась термопара “хромель-капель”, изготовленная из проволоки диаметром 0,2 мм медно-никелевого термоэлектродного сплава марки МНМц 43 – 0,5 (следующего химического состава: никель (Ni) – 44%; железо (Fe) – 2%; медь (Cu) – 54%). Термопары были откалиброваны с точностью 0,1 °С. Схема расположения термопары, представлена на рис. 2.

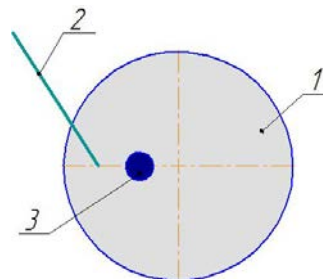


Рисунок 2 – Расположение термопары: 1 – подложка; 2 – термопара; 3 – капля.

Данные видеосъемки обрабатывались с помощью компьютерной программы DropShapeAnalysis, также разработанная исследовательским центром микрогравитации Свободного университета, Брюссель, Бельгия.

Основными факторами воздействия в данном эксперименте являются: количество подводимой теплоты, высота падения капли; выходными параметрами: температура поверхности нагрева, диаметр капли, ударяющейся о перегретую поверхность. Данные по факторам воздействия в эксперименте сведены в таблицу 1.

В качестве объекта исследования рассматривалась дистиллированная вода без

дополнительной отчистки.

Таблица 1 – Основные факторы.

Объект исследования	Объем капли, мл	Температура подложки, °С	Высота падения капли, мм
Дистиллированная вода	0,014	от 20 до 220	130, 180

При планировании и организации исследований решались следующие задачи:

- адекватность описания условий, в которых проходил эксперимент при анализе результатов;
- обеспечение минимальных значений систематических ошибок определения основных параметров и исключение грубых ошибок;
- создание условий для усреднения данных измерений.

По результатам предварительных экспериментов принята следующая область изменения факторов, для всех объектов исследования:

$$20 \leq X_1 \leq 220^\circ\text{C},$$

$$130 \leq X_2 \leq 180\text{мм},$$

где X_1 и X_2 – температура подложки при подведённом тепловом потоке и высота падения капли соответственно.

Интервалы варьирования относительно нулевых уровней для всех объектов исследования:

$$\Delta X_1 = 2^\circ\text{C},$$

$$\Delta X_2 = 50\text{мм}.$$

При проведении исследований обеспечивалась неизменность внешних условий с целью минимизации случайных ошибок. Так, например, поддерживалась постоянной температура жидкости при образовании капли. Все эксперименты проводились в закрытых отапливаемых помещениях при температуре воздуха 293...298 К (20...25°С).

С использованием описанной выше методики исследована физика поведения капли, ударяющейся о перегретую поверхность с различной скоростью в условиях свободного падения. На рис. 3 приведена зависимость диаметра растекания капли дистиллированной воды, ударяющейся о перегретую поверхность от температуры подложки при высоте падения капли 130 и 180мм.

По результатам анализа рис. 3 установлено, что при увеличении температуры подложки максимальный диаметр растекания капли увеличивается до температуры подложки 80 °С. При дальнейшем росте температуры поверхности диаметр растекания уменьшается. Данный эффект наблюдается до температуры подложки 120 °С. При дальнейшем нагреве происходит рост диаметра растекания кали.

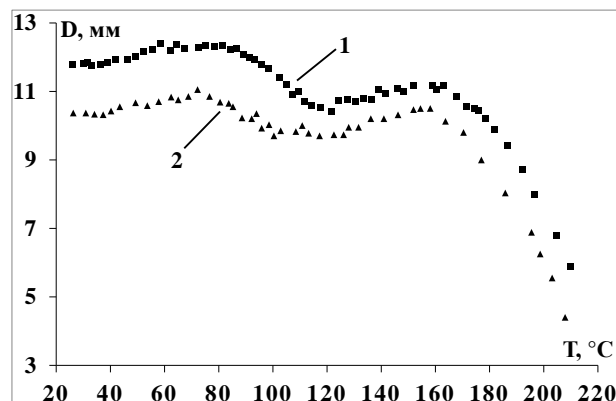


Рисунок 3 – Зависимость диаметра растекания капли от температуры подложки при высоте падения капли 130мм (линия 2) и 180мм (линия 1).

Стоит отметить, что характер экстремумов в диапазоне температур 80 и 120 °С остается идентичным и не зависит от высоты.

Возможно, что данный эффект связан с тем, что на участке температур подложки от 70 до 90 °С происходит пузырьковое кипение капли, что соответствует самым большим скоростям испарения жидкости [2]. В этом режиме жидкость не находится в сферoidalном состоянии, а растекается по поверхности нагрева и достигает максимального диаметра, смачивая её. В диапазоне температур подложки 120-140 °С наблюдается переходное кипение жидкости [3]. В этом случае жидкость периодически контактирует с греющей стенкой, скорость испарения понижается с ростом температуры. При температуре выше 140 °С наблюдается пленочное кипение жидкости, что соответствует сферoidalному состоянию капли, когда тепловыделяющая поверхность полностью отделена от поверхности нагрева пленкой пара и импактная струя не смачивает поверхность нагрева, так как поверхность находится выше температуры предельного перегрева жидкости. В этом режиме кипения скорость парообразования самая маленькая.

Список литературы

1. Кабов О.А., Зайцев Д.В. Влияние гистерезиса смачивания на растекание капли под действием гравитации. // ДАН. 2013, том 451, №1, с. 37-40.
2. Авакимян Н.Н., Васильев Н.И., Трофимов А.С. Экспериментальное исследование теплового взаимодействия осаждающихся капель с нагретой поверхностью. Дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, КубГТУ, 1991.
3. Анохина, Е.В. Исследование процессов испарения и кипения жидкостей / Е. В. Анохина // ЖТФ. – 2010. – Т. 80. – Вып. 8. – С. 32–37.