

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПАРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ

Мелешкин Д.С.

Научный руководитель: Бульба Е.Е., к.т.н., доцент

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

E-mail: bulba@tpu.ru

Процессы парообразования при нагреве воды до температуры ниже температуры кипения играют важную роль в теплоэнергетике [1], других отраслях промышленности, при тушении различных пожаров [2]. Но выбор технологий подавления возгораний до последнего времени проводится эмпирически в связи с отсутствием постоянных, характеризующих процесс парообразования при умеренных температурах [3] (например, коэффициент аккомодации в математическом выражении закона Герца-Кнудсена). В последнее время выполнены экспериментальные исследования тепломассопереноса в условиях интенсивного испарения капель воды при движении через пламена. Но таких результатов недостаточно для установления эмпирических постоянных испарения.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение закономерностей парообразования при температурах ниже температуры кипения.

Экспериментальные исследования проведены с использованием нагревательной камеры, в которую помещали сосуд с определенной площадью испарения, масса которого измерялась с помощью лабораторных весов. Затем сосуд наполняли дистиллированной водой объемом 150 мл. С помощью электроконтактного термометра контролировали температуру в термокамере. Замеряли атмосферное давление и влажность воздуха, при которых проводилось экспериментальное исследование. Мультиметр включали в положение «измерение температуры», помещали термopару в исследуемую жидкость и включали термокамеру. По достижению температуры жидкости в сосуде равной температуре в нагревательной камере, извлекали сосуд с водой и замеряли изменившуюся массу. После этого сосуд с жидкостью помещали обратно в сушильную камеру и начинали отсчёт времени. По окончании заданного интервала времени извлекали сосуд с водой и фиксировали количество испарившейся жидкости. Эксперимент повторялся не менее 3 раз для постоянных температур в камере с заданным интервалом времени.

Нагрев рабочей камеры обеспечивался проволочными нагревателями, размещенными по контуру нагрева. Такие нагревательные панели имеют хорошую теплопередачу и обеспечивают

равномерный нагрев поверхности рабочей камеры.

Вентиляция термокамеры – естественная, в ее нижней части расположены вентиляционные каналы для подачи холодного воздуха. Интенсивность вентиляции регулируется нижней вентиляционной заслонкой. В верхней части рабочей камеры расположены отверстия для устройства измерения температуры и отверстие для сброса паров влаги.

Основными величинами, характеризующими процесс испарения, являются скорость фазового перехода, площадь поверхности жидкости, с которой происходит испарение, а также температура. Первая характеристика определяется поверхностной плотностью потока пара, поступающего за единицу времени в газовую фазу с единицы поверхности жидкости (в моль/(с·м²) или кг/(с·м²)).

Проведены исследования массовой скорости испарения дистиллированной воды в больших интервалах времени при различных температурах с целью обоснованного заключения о стационарности процесса испарения жидкости в условиях выполненных экспериментов. Выбор объекта исследования обусловлен несколькими причинами. Во-первых, в предварительно проведенных экспериментах было установлено достаточно существенное (от 3 до 7%) отклонение скоростей испарения трех видов обычной воды, полученной из различных источников. Скорее всего, это является следствием влияния содержания минеральных веществ на процессы фазовых превращений на границе «жидкость-пар». Минеральные компоненты (например, соли) изменяют конфигурацию межфазной поверхности и силы поверхностного натяжения. Соответственно изменяется и коэффициент аккомодации, характеризующий число молекул пара, отрывающихся от поверхности испарения. Дистиллированная вода была выбрана как определенный эталон для анализа результатов последующих исследований.

Следует также отметить, что невысокие, на первый взгляд, отклонения скорости испарения (3-7%) при вычислении коэффициента аккомодации могут привести к значительным дополнительным погрешностям в определении этой величины в связи с экспоненциальной зависимостью скорости испарения от температуры.

Результаты приведены в таблице 1.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что массовая скорость испарения дистиллированной воды с течением времени не изменяется во всем исследуемом диапазоне температур (процесс испарения в данном случае является стационарным).

Таблица 1. Зависимость скорости испарения дистиллированной воды от времени

T, К	313				
t, с	1500	3000	4500	6000	7500
$w \cdot 10^3$, кг/(м ² с)	0.12	0.122	0.121	0.12	0.12
T, К	353				
t, с	1500	3000	4500	6000	7500
$w \cdot 10^3$, кг/(м ² с)	1.18	1.2	1.21	1.2	1.1
T, К	363				
t, с	1500	3000	4500	6000	7500
$w \cdot 10^3$, кг/(м ² с)	2.01	2	2.01	2	2

Здесь T(K) – температура в термокамере, t(с) – продолжительность эксперимента, w(кг/(с·м²)) – массовая скорость испарения жидкости.

На следующем этапе изучалось влияние температуры на скорость испарения. В результате получена зависимость массовой скорости испарения от температуры.

На рисунке 1 представлены результаты экспериментов при нагреве от 313 К до 368 К в виде зависимости скорости фазового перехода от температуры. Приведены доверительные интервалы, характеризующие погрешности результатов измерений.

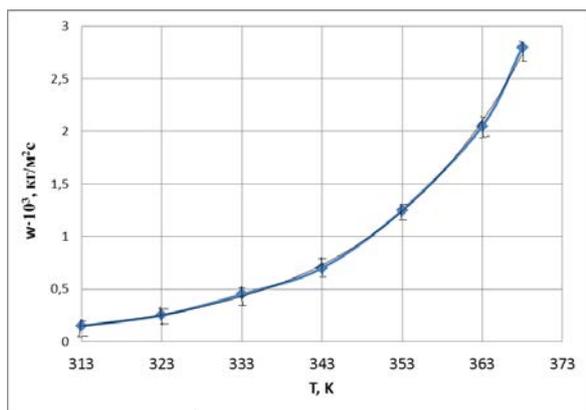


Рис.1. Зависимость массовой скорости испарения дистиллированной воды от температуры

Обработка результатов экспериментов проведена с использованием хорошо апробированных методов [4]. Для каждого значения температуры через заданный интервал времени (t = 20 мин.) проводили от трех до пяти измерений.

Полученные в выполненных экспериментах результаты являются не только эмпирической базой для математического моделирования процессов тепломассопереноса в условиях интенсивного испарения капель воды при движении через высокотемпературные газы [2]. Экспериментальные зависимости массовой скорости испарения исследовавшейся воды от температуры создают объективные предпосылки для определения коэффициента аккомодации в математическом выражении закона Герца-Кнудсена для использовавшегося в экспериментах эталонного вещества. Знание численного значения этой величины позволяет при проведении аналогичных экспериментов с другими видами воды провести анализ влияния различных минеральных добавок на процессы фазовых превращений. В дальнейшем возможно использование рассматриваемых экспериментальных данных для развития математических моделей интенсивного испарения горючих жидкостей в условиях локального нагрева [5,6].

Список литературы

1. Kuznetsov G.V., Al-Ani, Sheremet M.A. Numerical analysis of convective heat transfer in a closed two-phase thermosyphon// Journal of Engineering Thermophysics. - 2011. – P.201-210.
2. Vysokomornaya O.V., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Heat and mass transfer in the process of movement of water drops in a hightemperature gas medium// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. - 2013, - P. 1-7.
3. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. 3D problem of heat and mass transfer at the ignition of a combustible liquid by a heated metal particle//Journal of Engineering thermophysics. - 2009. – Т. 18. № 1. С. 72-79.
4. Архипов В.А., Березиков А.П. Основы теории инженерно-физического эксперимента. – Томск: издательство Томского политехнического университета, 2008 г. –206 с.
5. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. The influence of heat transfer conditions at the hot particle-liquid fuel interface on the ignition characteristics// Journal of Engineering Thermophysics. 2009. Т. 18. № 2. С. 162-167.
6. Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Heat and mass transfer at the ignition of a liquid substance by a single "hot" particle// Journal of Engineering Thermophysics. 2008. Т. 17. № 3. С. 244-252.