

## КОЭФФИЦИЕНТ АККОМОДАЦИИ ЖИДКОСТИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ НИЖЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КИПЕНИЯ

Бульба Е.Е.

Томский политехнический университет, 634050 Томск

E-mail: [bulba@tpu.ru](mailto: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. Сосуд наполнялся дистиллированной водой объемом 150 мл. Электроконтактным термометром контролировали температуру в термокамере. Замерялось атмосферное давление и влажность воздуха, при которых проводились экспериментальные исследования. Мультиметр устанавливался 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 измерялась масса. После этого сосуд с жидкостью помещался в сушильную камеру и проводился эксперимент. По окончании заданного интервала времени сосуд взвешивался и определялось количество испарившейся жидкости. Эксперимент повторялся не менее 3 раз для постоянных температур в камере с заданным интервалом времени.

Нагрев обеспечивался проволочными нагревателями, размещенными по контуру нагрева. Такие нагревательные панели имеют хорошую

теплопередачу и обеспечивают равномерный нагрев поверхности рабочей камеры. Сравнивалась естественная вентиляция термокамеры.

В ее нижней части расположены вентиляционные каналы для подачи холодного воздуха. Интенсивность вентиляции регулировалась нижней вентиляционной заслонкой. В верхней части рабочей камеры располагались отверстия для устройства измерения температуры и для сброса паров влаги. Основными величинами, характеризующими процесс испарения, были скорость фазового перехода, площадь поверхности жидкости, с которой происходит испарение, а также температура. Первая характеристика определялась поверхностной плотностью потока пара, поступающего за единицу времени в газовую фазу с единицы поверхности жидкости. 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.

Анализируя полученные результаты (табл. 1), 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).

Здесь  $T$  – температура в термокамере,  $t$  – продолжительность эксперимента,  $w$  (кг/(с·м<sup>2</sup>)) – массовая скорость испарения жидкости.

На следующем этапе экспериментов получена зависимость массовой скорости испарения от температуры.

На рисунке 1 представлены результаты экспериментов при нагреве в диапазоне от 313 К до 363 К в виде зависимости скорости фазового перехода от температуры. Приведены доверительные интервалы, характеризующие погрешности результатов измерений.

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 <sup>2</sup> с)	0.11	0.112	0.11	0.11	0.11
T, К	353				
t, с	1500	3000	4500	6000	7500
$w \cdot 10^3$ , кг/(м <sup>2</sup> с)	1.29	1.29	1.291	1.29	1.291
T, К	363				
t, с	1500	3000	4500	6000	7500
$w \cdot 10^3$ , кг/(м <sup>2</sup> с)	2.01	2.1	2.1	2.0	2.2

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. По экспериментальной зависимости  $W(T)$  рассчитан коэффициент аккомодации, который зависит от природы и состояния поверхности, а также от свойств пара и температуры.

Из известной формулы для нахождения массовой скорости испарения получено выражение для расчета коэффициента аккомодации (закон Герца-Кнудсена):

$$W = \frac{A \cdot (P^H - P^*)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}} \quad A = \frac{W \cdot \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}{(P^H - P^*)},$$

где  $W$  – массовая скорость испарения, кг/м<sup>2</sup>•с;  $P^H$  – давление насыщенного пара, Па;  $P^*$  – парциальное давление испаряющихся компонент, рассчитанное при относительной влажности  $\phi = 0,87$ , Па;  $R = 8,31$  – универсальная газовая постоянная, Дж/моль•К;  $M$  – молекулярный вес;  $T$  – температура вещества, К;  $A$  – коэффициент аккомодации.

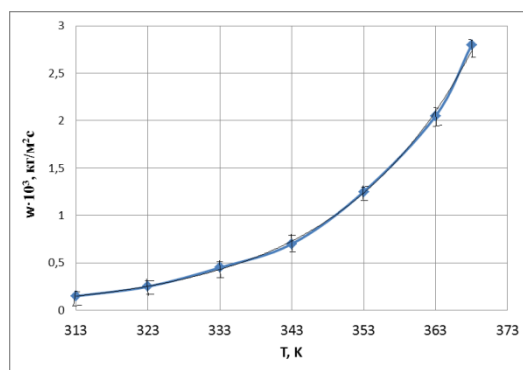


Рис.1. Зависимость массовой скорости испарения дистиллированной воды от температуры

В таблице 2 приведены расчетные значения коэффициента аккомодации в диапазоне температур от 313 К до 363 К для дистиллированной воды.

Таблица 2. – Коэффициент аккомодации дистиллированной воды

$T, \text{ К}$	$W_{\text{исп}} \cdot 10^3, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	$P^{\text{н}}, \text{ Па}$	$P^*, \text{ Па}$	Коэффициент аккомодации, $A \cdot 10^3$
313	0.11	7375	6416	0.13
323	0.2	12330	10727	0.15
333	0.43	19920	17330	0.17
343	0.7	311160	27109.2	0.21
353	1.29	47360	41203.2	0.214
363	2.1	70110	60995.7	0.236

Анализируя результаты таблицы 2, можно отметить, что с ростом температуры жидкости растет и коэффициент аккомодации.

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 являются объективными предпосылками для определения коэффициента аккомодации в математическом выражении закона Герца-Кнудсена. 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].

*Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).*

#### 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.

УДК 628.87

## **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ КОМФОРТНОСТИ ПОМЕЩЕНИЙ НЕПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОМУ КРИТЕРИЮ КАЧЕСТВА МИКРОКЛИМАТА**

Бухмиров В.В., д.т.н., Пророкова М.В., аспирант  
Ивановский государственный энергетический университет, г. Иваново  
E-mail: buhmirov@tot.ispu.ru

Проводившаяся в XX в. политика «дешевых энергоресурсов», а также недостаток нормативных требований к характеристикам ограждающих конструкций зданий привели к тому, что энергоснабжение жилых, общественных и административных зданий в России одно из самых энергоемких в мире [1]. В настоящее время одним из приоритетных направлений развития науки, техники и технологий является энергосбережение и энергоэффективность [2]. Как показывает анализ результатов энергетических обследований здания, построенные до 2000 г., обладают значительным потенциалом по экономии энергетических ресурсов. Исследования показывают, что более 30% потенциала экономии сосредоточено в коммунальных инженерных системах и до 70% – в конструкции зданий и сооружений [3]. По этой причине в зданиях непроизводственного назначения наиболее часто реализуют энергосберегающие мероприятия, направленные на изменение конструктивных особенностей наружных ограждений, такие как замена оконных блоков на ПВХ-стеклопакеты, наложение тепловой изоляции, замена входных дверей и ворот с целью сокращения поступления холодного воздуха и т.п. Как показывает практика внедрения, указанные мероприятия действительно способны обеспечить сокращение потребления энергии на отопление здания. Однако существенным недостатком перечисленных выше энергосберегающих мероприятий является тот факт, что экономия энергоресурсов достигается за счет сокращения тепловых потерь из-за герметизации здания. Для объектов с естественной вентиляцией снижение поступления свежего воздуха за счет инфильтрации может привести к ухудшению качества воздуха в помещении, что в свою очередь влечет снижение работоспособности находящихся в по-