

3. Изучение пленочной конденсации насыщенного водяного пара на поверхностях труб методом градиентной теплотметрии / С. З. Сапожников [и др.] // Теплоэнергетика. – 2021. – № 10. – С. 73–81. DOI 10.1134/S0040363621090071
4. Sapozhnikov, S. Z. Heatmetry. The Science and Practice of Heat Flux Measurement / S. Z. Sapozhnikov, V. Yu. Mityakov. – St.-Petersburg : Springer International Publishing, 2020. – 209 p.
5. Duda, P. A new method for identification of thermal boundary conditions in water-wall tubes of boiler furnaces / P. Duda, J. Taler // Int J Heat Mass Transf. – 2009. – Vol. 52. – P. 1517–1524.

УДК 536.24

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА МЕТОДОМ ГРАДИЕНТНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ ПРИ КИПЕНИИ НА ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Н. Е. Кикоть, А. В. Бикмулин

*ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Российская Федерация*

Методика градиентной теплотметрии позволяет измерять местную плотность теплового потока при кипении недогретой воды на перегретой поверхности. Измерение плотности теплового потока при фазовых переходах является одной из важнейших задач, так как термометрия не позволяет рассмотреть процесс детально. Рассмотрено кипение недогретой воды на поверхности шара и цилиндра и измерено значение критической плотности теплового потока.

Ключевые слова: градиентная теплотметрия, гетерогенные градиентные датчики теплового потока, местная плотность теплового потока, пузырьковый режим кипения.

MEASUREMENT OF THE HEAT FLUX DENSITY BY THE METHOD OF GRADIENT THERMOMETRY AT BOILING ON SURFACES OF VARIOUS SHAPES

N. E. Kikot, A. V. Bikmulin

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Russian Federation

The method of gradient heatmetry makes it possible to measure the heat flux per unit area during boiling of subcooled water on an overheated surface. Measurement of the heat flux during phase transitions is one of the most important tasks, since thermometry does not allow us to consider the process in detail. The paper considers the boiling of subcooled water on the surface of a ball and a cylinder and measures the value of the critical heat flux per unit area.

Keywords: gradient heatmetry, heterogeneous gradient heat flux sensors, heat flux per unit area, bubble boiling mode.

Развитие современных технологий требует снижения массогабаритных параметров, что приводит к возрастанию тепловых нагрузок, которые необходимо отводить. Одним из основных способов теплоотвода является теплообмен при кипении теплоносителя. Он обширно применяется в таких областях, как ядерная энергетика, теплогенерация, химическая промышленность, охлаждение высокопроизводительной электроники, кондиционирование, аэрокосмическая отрасль и т. д.

Преобладающие количество экспериментов, связанных с изучением теплообмена при кипении, основаны на термометрии [1] и высокоскоростной визуализации [2], что не позволяет комплексно исследовать кипение и его режимы [3].

Изучение теплообмена при кипении на шарообразной поверхности исключало

внесение возмущений в процесс кипения, что было подтверждено на первом этапе исследования. Создание цилиндрической модели и сравнение влияния формы на характер кипения и значения критической плотности теплового потока (ПТП) стал следующим этапом работы.

Постановка задачи. Цилиндр выполнен из титана VT22 с диаметром основания 34 мм, как и у шарообразной модели и высотой 22,3 мм, выбранной с учетом соответствия масс моделей цилиндрической и шарообразной формы [3]. Гетерогенный градиентный датчик теплового потока (ГГДТП) установлен в середине верхней поверхности цилиндра заподлицо, для этого выфрезерована выборка размерами $5 \times 5 \times 0,6$ мм с двумя отверстиями диаметром $d = 1,6$ мм, в которые запрессованы изолирующие керамические трубки. Размеры выборки соответствуют требованиям по монтажу датчика с размерами $3 \times 3 \times 0,45$ мм (рис. 1). Закрепление ГГДТП в выборке и изоляция токоотводящих проводов от внешней среды осуществлялось с помощью высокотемпературного компаунда, способного выдержать резкие перепады температур и имеющего незначительную усадку при затвердевании.

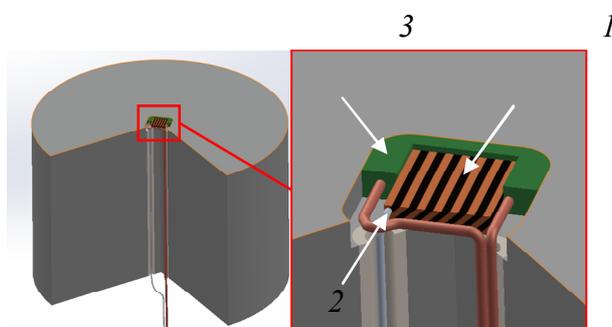


Рис. 1. Модель цилиндра с гетерогенным градиентным датчиком теплового потока: 1 – гетерогенный градиентный датчик теплового потока; 2 – термопарный провод; 3 – высокотемпературный компаунд

Цилиндрическая модель помещается в проходную печь и фиксируются в ней специальной державкой. Показания с ГГДТП и термопары записываются на измерительно-вычислительный комплекс модели NIPXI-1050 с частотой записи 5000 измерений в секунду. При достижении необходимой температуры в 464 °С державка высвобождается и образец погружается в аквариум. Температура воды отслеживалась с помощью мультиметра Fluke 289 с термопарой, а поддержание необходимой температуры осуществлялось омическим нагревателем [3].

Температурный режим, выбранный для данного эксперимента, соответствовал температурному режиму для шаровой модели (температура модели составила $T_w = 464$ °С; температура воды $T_f = 64$ °С).

Результаты. Сравнение результатов эксперимента на двух разных моделях показало, что время остывания цилиндрической модели значительно снизилось. Критическая ПТП, соответствующая максимальному значению для каждого графика, имеет одинаковое численное значение. Результаты для цилиндрической модели и для шаровой представлены на рис. 2, а, б.

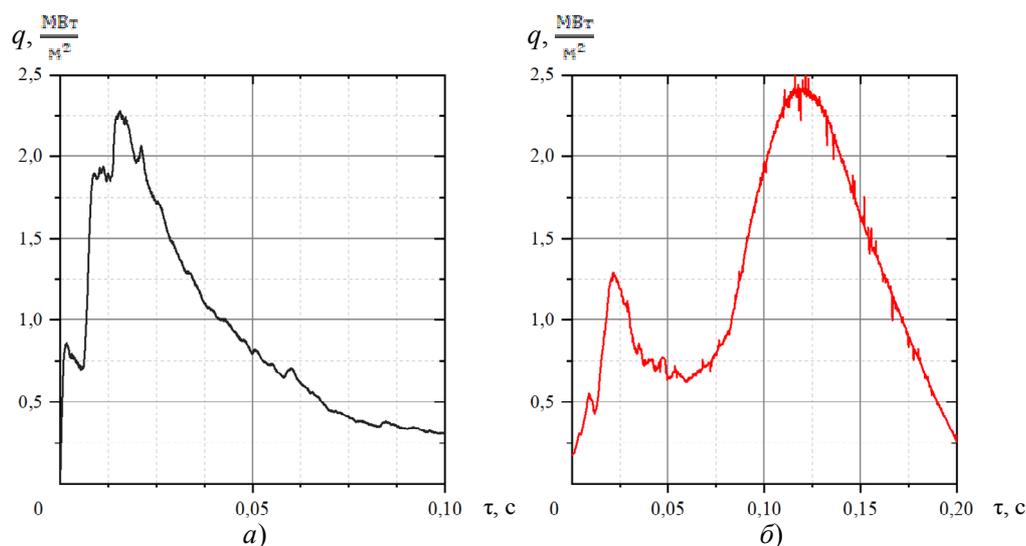


Рис. 2. Графики зависимости теплового потока от времени для цилиндра (а) и шара (б)

Из рис. 2 видно, что при изменении геометрической формы модели изменилась качественная картина кипения. Пузырьковый режим кипения от конфигурации модели не изменился, как и время протекания процесса. При этом пленочный и переходный режимы кипения значительно сократились по времени, что обусловлено геометрической формой модели и нестабильным состоянием пленки.

Проделанные эксперименты позволяют сказать, что при использовании градиентной теплотметрии при исследовании теплообмена при кипении геометрическая форма модели не влияет на значения критической ПТП, а концевые эффекты, вызванные формой, оказывают влияние только на время и характер переходного и пленочного режимов. Полученные результаты говорят о применимости метода градиентной теплотметрии для исследования теплообмена при кипении на поверхностях различной конфигурации. Это дает возможность перейти к исследованию теплообмена при кипении на поверхностях более сложной формы, в том числе применяемых в современном энергетическом оборудовании.

Литература

1. Забиров, А. Р. Исследование процессов теплообмена при охлаждении высокотемпературных тел в недогретых жидкостях. – М., 2016. – 22 с.
2. Ягов, В. В. Нестационарный теплообмен при пленочном кипении недогретой жидкости / В. В. Ягов, А. Р. Забиров, М. А. Лексин // Теплоэнергетика. – 2015. – Т. 2015, № 11. – С. 70–80.
3. Сапожников, С. З. Исследование кипения на поверхности шара методом градиентной теплотметрии / С. З. Сапожников // Тепловые процессы в технике. – 2021. – Т. 13, № 10. – С. 434–441.