

УДК 536.24

А. В. ОВСЯННИК, кандидат технических наук; Д. А. ДРОБЫШЕВСКИЙ, аспирант; Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, г. Гомель; В. М. ОВЧИННИКОВ, кандидат технических наук; А. М. МЫСЛИК, научный сотрудник; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ЭТИЛОВОГО СПИРТА НА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

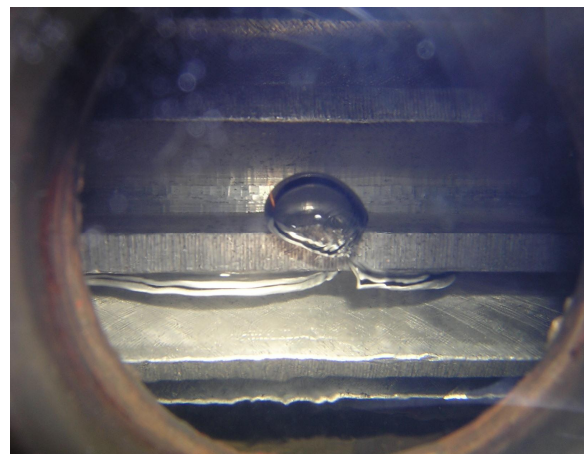
Приводятся результаты экспериментов по исследованию влияния давления насыщения на теплообмен при кипении этилового спирта на продольно-оребрённых поверхностях с различным профилем ребра. Получены графические зависимости $\Delta T = f(p_n)$, $\alpha = f(p_n/p_{кр})$ и определен показатель степени влияния давления (k) на теплообмен при кипении.

В теплообменных аппаратах, применяемых в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, в холодильной и криогенной технике, широко используются фазовые переходы (кипение, испарение). Для расчета теплообменных аппаратов представляет определенный интерес знание закономерностей теплообмена при пузырьковом кипении в широком диапазоне изменения давления насыщения. Однако публикаций по теплообмену при кипении этилового спирта мало. Известные в литературе данные касаются лишь отдельных типов развитых поверхностей, а различие в постановке опытов, частичное отсутствие данных по параметрам исследованных ребрений и различные диапазоны внешних условий проведения экспериментов не дают возможности однозначно утверждать о приоритете того или иного способа интенсификации теплообмена при кипении этилового спирта в большом объеме.

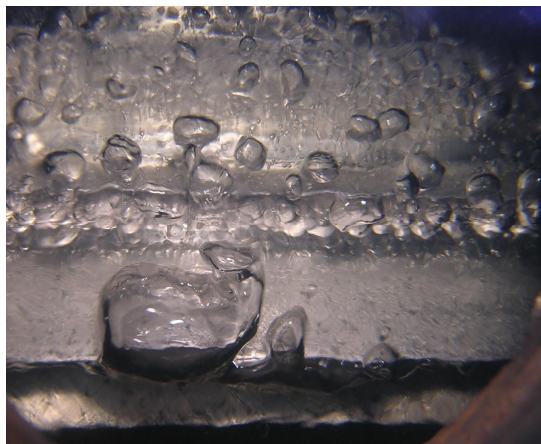
Целью работы является исследование закономерностей влияния давления насыщения на теплообмен при кипении этилового спирта в большом объеме, на оребренных поверхностях с различным профилем ребра для разработки и создания высокоэффективных, энерго- и ресурсосберегающих и экологически безопасных испарительных теплообменных аппаратов.

Для определения рассматриваемых закономерностей проводились опыты в условиях свободного движения этилового спирта на горизонтальных продольно-оребрённых трубчатых поверхностях нагрева из дюралюминия Д16 (диапазон давлений от 1 до 5 бар). При проведении экспериментов была принята методика, разработанная ранее [1, 2]. Контроль давления насыщения осуществлялся с помощью мановакуумметра МВПЗА-УУ2 с точностью $\pm 0,20 \cdot 10^3$ Па. Тепловой поток ($q = 10 \dots 63$ кВт/м²) подводился к образцам электрическим нагревателем, установленным в цилиндрической полости образца. Перепад температуры между поверхностью нагрева и жидкостью измерялся диф-

ференциальными термопарами, один спай которых располагался в образце, а второй – в жидкости. Сбор и обработка информации производились автоматизированным комплексом, созданным на базе аналого-цифрового преобразователя ADC32-1533 фирмы ANALOG DEVICES, программой обработки данных ADC32GD 1.0. Визуальные наблюдения за процессом кипения этилового спирта на горизонтальных трубках показали, что в исследованном диапазоне изменения плотности теплового потока возможны три режима теплообмена: свободная конвекция, неразвитое и развитое кипение:



Неразвитое кипение при $10 < q < 20$ кВт/м²

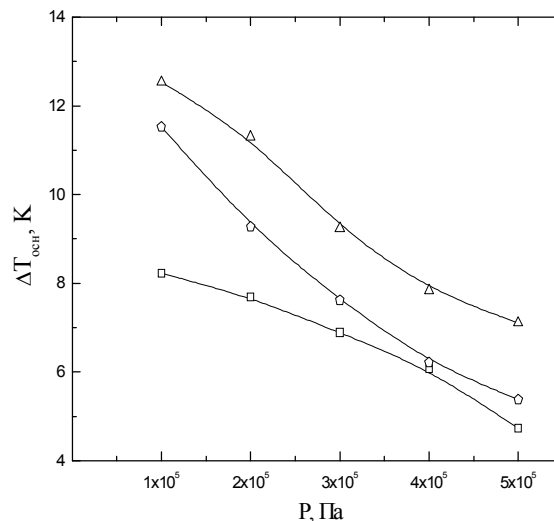


Развитое кипение при $40 < q < 63$ кВт/м²

Протяженность областей существования данных режимов зависит от типа внешней поверхности трубы и от давления насыщения. Известно, что величина коэффициентов теплоотдачи α при кипении жидкостей зависит от давления, причем степень влияния давления по-разному проявляется в зависимости от вида теплоотдающей поверхности и теплофизических свойств жидкости.

Анализ ряда экспериментальных работ свидетельствует о существенном влиянии давления на величину перегрева и интенсивность теплоотдачи. На рисунке 1 представлены экспериментально полученные зависимости перегрева теплоотдающей поверхности ΔT , при развитом пузырьковом кипении этилового спирта, от давления паров насыщения p_n на поверхностях с продольным типом оребрения.

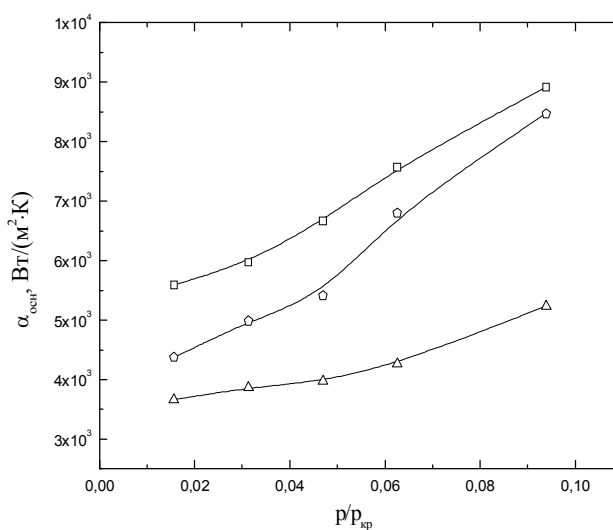
Как видно из рисунка, при кипении этилового спирта в условиях большого объема на оребренных поверхностях перегрев при развитом пузырьковом кипении уменьшается с возрастанием давления, что качественно согласуется с результатами большинства экспериментальных исследований по кипению жидкостей на развитых поверхностях. Поскольку влияние давления на интенсивность теплообмена, как отмечено выше, зависит от области рабочих давлений, более корректным будет представление опытных данных в виде зависимости $\alpha = f(p_n/p_{кр})$.



- △ - продольное треугольное оребрение;
- ◇ - продольное трапециевидное оребрение;
- - продольное прямоугольное оребрение

Рисунок 1 – Зависимость $\Delta T = f(p_n)$ (этиловый спирт)

На рисунке 2 приведены результаты экспериментального исследования зависимости коэффициента теплоотдачи от давления насыщения при кипении этилового спирта на оребренных поверхностях.



- △ - продольное треугольное оребрение;
- ◇ - продольное трапециевидное оребрение;
- - продольное прямоугольное оребрение

Рисунок 2 – Зависимость $\alpha = f(p_n/p_{кр})$ (этиловый спирт)

Данная зависимость показывает, что α непрерывно возрастает с увеличением давления. Такой ход $\alpha = f(p)$ объясняется тем, что с увеличением давления уменьшается величина радиуса элемента, который при данном значении ΔT может явиться центром зарождения паровой фазы. Следовательно, с увеличением давления облегчаются условия зарождения паровых пузырей на теплоотдающей поверхности. При понижении давления, наоборот, поверхность обедняется центрами парообразования, поэтому для зарождения на ней паровых пу-

зырей данного радиуса требуется более высокий перегрев жидкости или более высокое значение удельного теплового потока. На основании проведенных экспериментальных исследований был определен показатель степени в соотношении $\alpha = f(p_H/p_{кр})^k$ и выявлено влияние на него различных факторов, определяющих интенсивность теплоотдачи при кипении.

Одним из параметров, оказывающих существенное влияние на значение k , является плотность теплового потока. На рисунке 3 показаны экспериментально полученные зависимости значений показателя степени k от плотности теплового потока q для продольно оребренных образцов с различной геометрией ребра. Из рисунка 3 видно, что с повышением плотности теплового потока степень влияния давления снижается. Это можно объяснить уменьшением при возрастании давления перегрева, необходимого для вскипания жидкости и заполнения паром межреберного пространства.

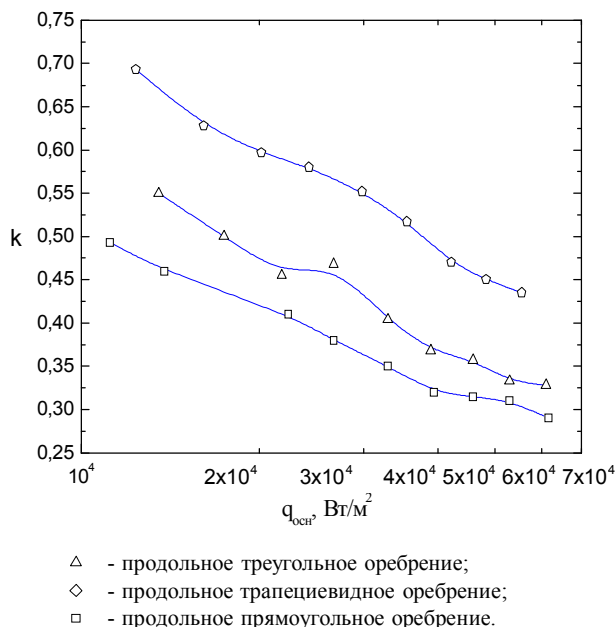


Рисунок 3 – Зависимость показателя степени k в соотношении $\alpha = f(p_H/p_{кр})^k$ от плотности теплового потока q при кипении этилового спирта

По мере возрастания плотности теплового потока (или перегрева теплоотдающей поверхности) кипение начинается вначале на нижней образующей образца, затем на всей поверхности. Однако очевидно, что для каждого давления существует граничный перегрев поверхности ΔT_{zp} , начиная с которого подавляющее количество центров парообразования оребренной поверхности становятся активными. При $\Delta T > \Delta T_{zp}$ активизируются центры очень малых размеров, количество которых относительно невелико. Из-за сравнительно небольшого прироста количества активных центров парообразования увеличение интенсивности теплоотдачи незначительно. Поскольку с увеличением давления значения ΔT_{zp} снижаются, то при малых

тепловых потоках влияние давления возрастает по сравнению с большими значениями q .

При $\Delta T > \Delta T_{zp}$ достигается примерное равенство активных центров парообразования, что приводит к слабому или вообще отсутствию влияния давления на теплообмен.

Приведенные выше рассуждения позволяют обосновать ослабление степени влияния давления на интенсивность теплоотдачи с ростом теплового потока. Как отмечено выше, степень влияния давления связана с темпом активации центров парообразования (оребрение, шероховатость, пористость и т. д.). Для структур, имеющих широкий диапазон активных центров парообразования, это влияние проявляется сильнее, по сравнению с гладкой поверхностью [3, 4], поскольку с изменением давления насыщения изменяется количество центров парообразования.

Интенсивность теплоотдачи при кипении зависит также и от теплофизических свойств жидкости, которые по мере изменения давления (и температуры) насыщения существенно меняются. С увеличением коэффициента теплопроводности жидкости теплоотдача повышается, поскольку основной поток тепла от стенки воспринимается жидкой, а не паровой фазой. С увеличением вязкости теплоотдача, наоборот, уменьшается, так как уменьшается интенсивность перемешивания жидкости, обусловленная парообразованием. Зависимость α от p для различных жидкостей различна. В работе [5, 6] показано, что эта зависимость для ацетона, этилового спирта и фреона больше, чем для воды. Однако в безразмерных координатах она будет одинакова для ряда жидкостей.

Таким образом, были выявлены особенности влияния давления насыщения на интенсивность теплоотдачи при кипении этилового спирта в большом объеме на оребренных поверхностях, дающие возможность выбора оптимальных эксплуатационных режимов работы теплообменного оборудования.

Выводы

1 Коэффициент теплоотдачи непрерывно возрастает с увеличением давления насыщения вследствие облегчения условия зарождения паровых пузырей на теплоотдающей поверхности.

2 При увеличении плотности теплового потока степень влияния давления насыщения снижается из-за роста перегрева, необходимого для вскипания жидкости и снижения степени увеличения активных центров парообразования.

3 Для оребренных поверхностей степень влияния давления проявляется сильнее, нежели на гладкой поверхности, из-за большего количества активных центров парообразования.

4 Экспериментально определено, что повышение давления насыщения способствует интенсификации

фикации теплообмена при кипении этилового спирта. В области повышенных тепловых нагрузок $q > 25 \text{ кВт/м}^2$ величины коэффициентов теплоотдачи не зависели от давления. В промежуточном диапазоне тепловых потоков влияние давления монотонно снижалось.

Список литературы

1. Овсянник А.В. Некоторые особенности кипения жидкостей в горизонтальных кольцевых каналах // Теплообмен – ММФ–2000: Труды 4-го Минского международного форума по тепло- и массообмену. – Минск: АНК ИТМО НАНБ, 2000. – Т. V. – С. 193–197.

2. Кипение ацетона на горизонтальных трубах с поперечным оребрением в кольцевом канале / А.В. Овсянник,

Получено 17.05.2004

A.V. Ovsianik, D.A. Drobyshevski, V.M. Ovchinnikov, A.M. Myslik. Influence of pressure on the intensity heat exchange at the boiling of ethyl spirit on nonisothermal surfaces in heat exchange apparatus.

The results of experiments investigation the saturation pressure effect on the heat exchange during boiling of acetone and ethyl spirit on the sides ribbed longitudinally with different rib profile are presented here. The plots are obtained here: $\Delta T = f(p_s)$, $\alpha = f(p_s/p_{sp})$ and the indicator of severity of exposure to heat exchange while boiling process by pressure influence is calculated here too.

Н.А. Вальченко, Д.А. Дробышевский и др. // Вестник ГГТУ. – 2002. – № 2. – С. 31–37.

3. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. – Киев: Наукова думка, 1980. – 316 с.

4. Кутенов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.

5. Исаченко В.П., Оситова В.А. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

6. Данилова Г.Н., Тихонов А.В. Экспериментальное исследование теплообмена при кипении холодильных агентов на интенсифицированных поверхностях теплообмена // Кипение, кризисы кипения, закритический теплообмен: Тр. первой российской национальной конференции по теплообмену (Россия, ноябрь 1994). – М.: Изд-во МЭИ, 1994. – Т. 4. – С. 91–95.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2004. № 1(8)

УДК 548.75:678.746.222

Г. Я. МУСАФИРОВА, ассистент; Пинский филиал Белорусского государственного экономического университета, г. Пинск

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИСПАРЕНИЯ СМЕСЕЙ РАСТВОРИТЕЛЕЙ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Исследована кинетика испарения ацетона и гексана со свободной поверхности, а также их смесей в оптимальном соотношении. Определены оптические свойства исследуемых смесей растворителей. Полученные результаты можно использовать для изучения структуры разработанных материалов, а также для определения времени их высыхания, плотности, жизнеспособности и других технологических и физико-механических характеристик.

Подбор смесей растворителей оптимальных составов позволяет значительно расширить диапазон их применения, снизить стоимость разрабатываемых композиционных материалов, что является актуальной задачей современного материаловедения. При разработке композиционных материалов для антикоррозионной защиты подвижного состава, стационарных агрегатов железнодорожного транспорта и машиностроительной техники на основе вторичного полистирола (пенополистирола), модифицированных каучуком и битумом [1–3], были рассчитаны смеси растворителей оптимальных составов ацетона и гексана в следующем процентном соотношении: 30–40 : 60–70 [4], совмещающие взаимодействующие компоненты.

Цель работы – исследование кинетики испарения со свободной поверхности смесей ацетона и гексана в оптимальном соотношении для более полного понимания процессов, протекающих при испарении исследуемых смесей растворителей из различных полимерных композитов при их сушке,

так как этот процесс является опорным для многих расчетов, связанных с испарением жидкости из сложных систем, например, пористых [5]. В связи с этим ставилась задача: выяснить причины повышенной растворимости в смеси растворителей оптимальных составов полистирола (пенополистирола), каучука, битума.

Методика исследований. Для проведения экспериментов применялись стеклянные бюксы диаметром 2,5 и 10,5 см, в которые заливали по 3 см³ растворы как индивидуальных растворителей – ацетона (ГОСТ 2768-84) и гексана (ТУ 2631-00305807999-98), так и их смеси в соотношении 30–40 % ацетона и 60–70 % гексана. Полученные образцы устанавливали на аналитические весы ВЛР 200 и проводили измерения изменения массы бюксов с исследуемыми растворами через равные промежутки времени (5 мин). Численным дифференцированием полученных зависимостей массы образцов от времени испарения рассчитывали скорость испарения как индивидуальных растворителей, так и их смесей.