

ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА КИПЕНИЯ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПАРООБРАЗОВАНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

В. Г. Якимченко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник

Изучение процесса кипения является чрезвычайно сложным в связи с многочисленностью гидродинамических и термодинамических факторов, способных так или иначе на него влиять, и потому, что большинство этих факторов одновременно меняется с изменением давления насыщения. Без определения значений параметров кипящей жидкости нельзя рассчитать коэффициенты теплоотдачи и, следовательно, выбрать необходимые параметры хладагентов и размеры поверхности теплообмена, надежные режимы работы оборудования и решить ряд других технических задач. На развитие процесса может влиять скорость движения жидкости или парожидкостной смеси. Кроме того, сама структура двухфазного потока (характер распределения паровой и жидкой фаз) также имеет важное значение для развития процесса кипения и возникновения кризиса кипения.

В данной работе анализировалось влияние, оказываемое внутренними характеристиками процесса кипения на интенсивность теплообмена при кипении озонобезопасных хладагентов (R134a, R404a и R407c) на гладкой технически шероховатой поверхности в условиях свободного движения в большом объеме.

Для проведения экспериментальных исследований использовался экспериментальный стенд, испарительная камера которого представляет собой цилиндр диаметром 107 мм и длиной 310 мм. В качестве образца теплоотдающей поверхности использовалась горизонтальная гладкая трубка из дюралюминия длиной 305 мм и диаметром 25 мм. Тепловой поток к трубке подводится электрическим нагревателем. Экспериментальные исследования проводились при постепенном повышении тепловой нагрузки до достижения максимально возможной ее величины. После тепловой поток плавно уменьшался.

Плотность теплового потока изменялась в пределах 3,7–48,8 кВт/м², давление насыщения – в пределах 0,4–1,31 МПа. Сопоставление производилось при близких друг к другу температурах насыщения жидкости, так как теплофизические свойства указанных хладагентов, в частности, температура кипения существенно различаются (R134a: $t_n = -26,1$ °C; R404a: $t_n = -46,7$ °C; R407c: $t_n = -43,56$ °C). Теплофизические свойства фреонов определялись по справочным таблицам при соответствующих давлениях и температурах насыщения.

При постановке задачи изначально заданными можно считать плотность теплового потока q , а также физические свойства жидкости (при заданном давлении насыщения).

В этом случае отношение $\frac{q}{r \cdot \rho}$ имеет размерность скорости парообразования ω и строго заданное значение, в отличие от скорости движения жидкости, которая представляет собой довольно сложную функцию этого отношения и других величин. Величина ω является специфическим параметром для теплообмена при кипении, поэтому ее необходимо включать в условия однозначности.

Теплообменные процессы при использовании R404a и R407c проходили при повышенных давлениях по сравнению с R134a. Влияние давления на коэффициент теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении у фреона и R407c более заметно по сравнению с R134a и R404a (рис. 1). С повышением давления облегчаются условия зарождения паровых пузырей на теплоотдающей поверхности и растет турбулизация потока паровой фазы, что приводит к интенсификации теплообмена.

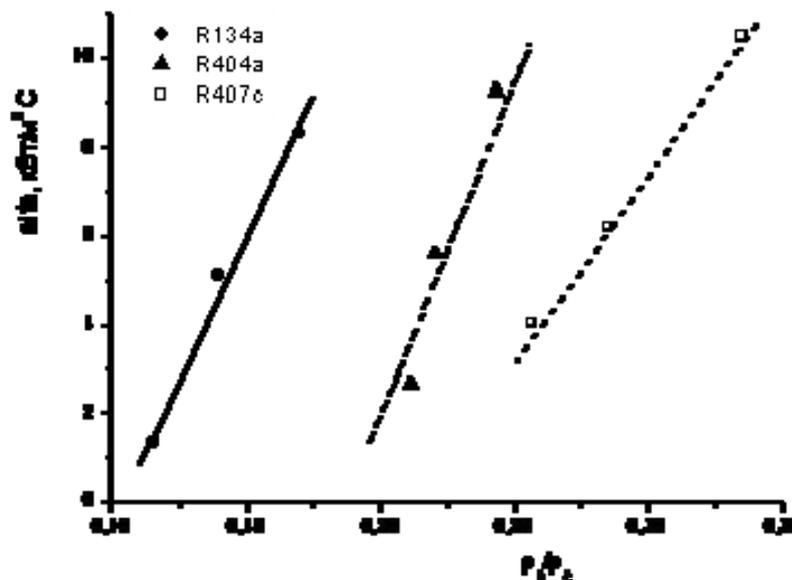


Рис. 1. Экспериментальные зависимости $\alpha = f(p_s / p_c)$ в области развитого пузырькового кипения для фреонов 134а, 404а и 407с

Большое влияние на паросодержание, следовательно, и на скорость смеси оказывает плотность теплового потока, подводимого к греющей поверхности. Зависимость скорости парообразования от плотности теплового потока для всех трех фреонов имеет линейный характер (рис. 2).

Степень влияния давления насыщения при увеличении плотности теплового потока снижается из-за увеличения величины перегрева, необходимого для вскипания жидкости и снижения темпа увеличения числа активных центров парообразования (рис. 3).

Зависимость α от скорости парообразования наблюдается во всем диапазоне давлений, что подтверждается результатами экспериментов. При $q = \text{const}$ с понижением давления уменьшается число действующих на единице греющей площади поверхности центров парообразования, и, следовательно, снижается доля теплового

потока, отводимая от теплоотдающей поверхности в форме теплоты испарения, и усиливается влияние конвективного механизма переноса теплоты.

Увеличение температурного напора (теплого потока) постепенно приводит к значительному возрастанию среднего объемного паросодержания. Интенсивность теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении в основном определяет термическое сопротивление тонкого поверхностного слоя жидкой фазы у самой греющей стенки. Эффективная толщина слоя по мере увеличения тепловой нагрузки снижается, что приводит к увеличению интенсивности теплоотдачи у всех трех изучаемых хладагентов (рис. 4).

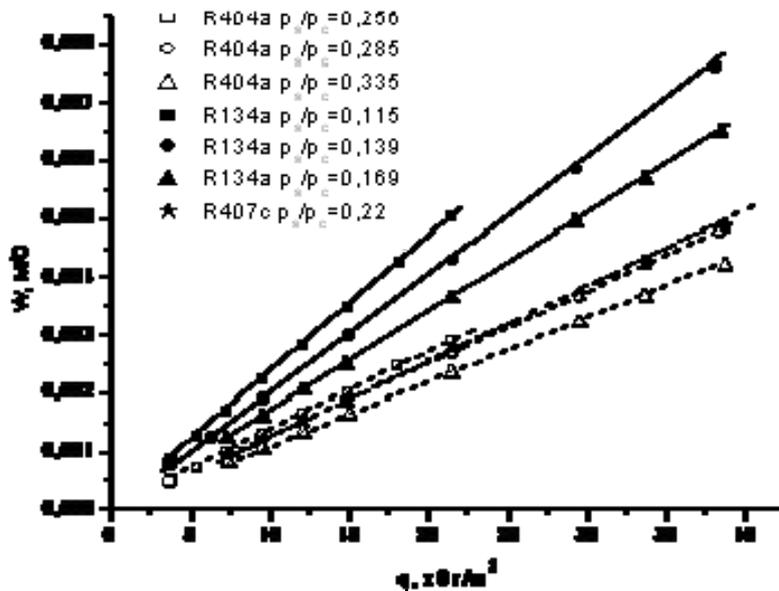


Рис. 2. Зависимость скорости парообразования от плотности теплового потока

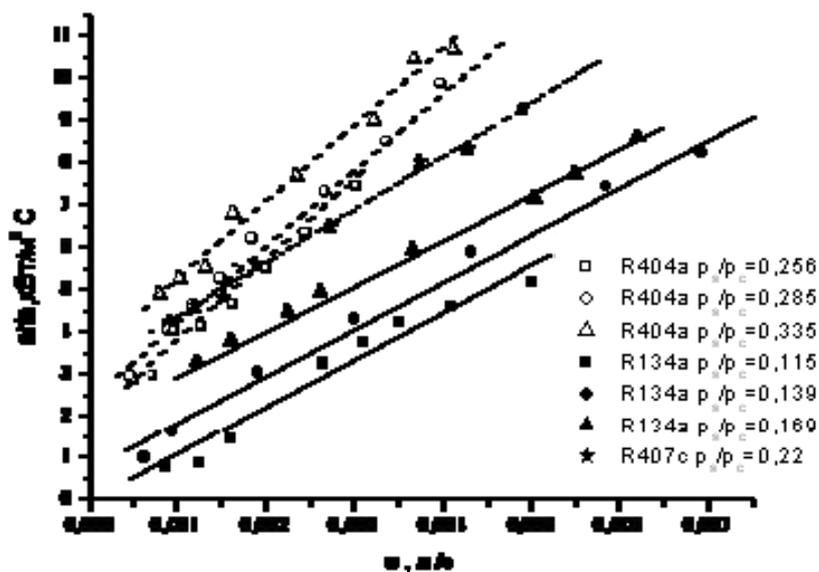


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости парообразования

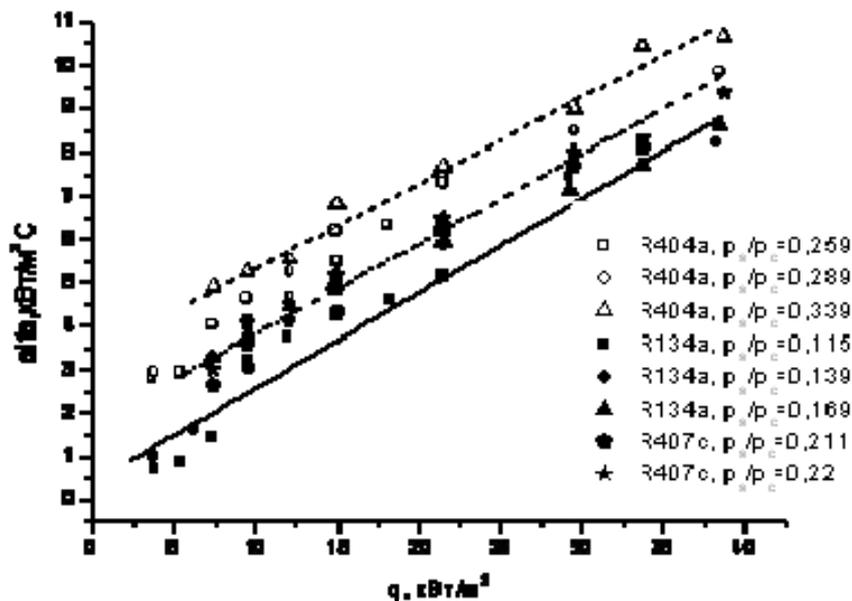


Рис. 4. Экспериментальные зависимости $\alpha = f(q)$ в области пузырькового кипения для фреонов 134а, 404а и 407с

Выводы

1. Существенную роль на процессы кипения оказывает изменение давления – с понижением давления возрастает скорость парообразования вследствие повышения удельного объема пара. При этом наибольшее влияние указанных факторов на интенсивность теплообмена, по сравнению с хладагентами R404а и R407с проявляется у фреона R134а.

2. С увеличением плотности теплового потока, подводимого к греющей поверхности, существенно возрастает скорость парообразования.

3. Наибольшая зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости парообразования проявляется у фреона R404а.

4. В режиме локального и развитого пузырькового кипения коэффициент теплоотдачи при кипении фреона R404а существенно выше, чем у фреонов R134а и R407с.