

# **ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНА R134A НА РАЗВИТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ**

**В. Г. Якимченко, Т. С. Юфанова, М. В. Викулов, А. С. Сысоев**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник

В связи с принятием Монреальской конвенции (1987), запрещающей использование озоноразрушающих хладагентов R12, R502, R22 основными мировыми производителями химической продукции были разработаны и выпускаются озонобезопасные хладагенты R134a, R402a, R407c и др. Однако ни один из известных или недавно синтезированных индивидуальных хладагентов не обладают к настоящему времени в полной мере комплексом свойств, которые присущи запрещенным хладагентам, а также неблагоприятные, с позиции теплообмена при кипении, режимные параметры и как отмечено выше свойства холодильных агентов, вызывают необходимость отыскания путей интенсификации процесса теплообмена при кипении.

По теплофизическим свойствам фреоны имеют углеводородные аналоги - пропан, бутан, пропилен, пропан-бутановые смеси, которые также широко используются в экспериментальных исследованиях в качестве рабочих жидкостей.

Основным и самым эффективным методом интенсификации теплообмена является создание благоприятных поверхностных условий для возникновения и роста паровых пузырей - развитие теплоотдающей поверхности: повышение шероховатости поверхности, применение оребрения с определенными геометрическими параметрами, нанесение на поверхность различного рода покрытий. В связи с этим возникает необходимость в выборе способа развития теплоотдающей поверхности применительно к конкретным условиям работы теплообменного аппарата.

Основные поверхности развиваются посредством выступов, ребер или нанесением на них различного рода покрытий.

Различают прямые и кольцевые ребра, а также оребрение в виде отдельных шипов; ребра могут иметь разнообразные профили (прямоугольный, треугольный, трапециевидный и т. д.).

Для исследования теплообмена при кипении жидкостей на неизотермической оребренной или структурированной поверхности используется экспериментальный стенд, представленный на рис. 1.

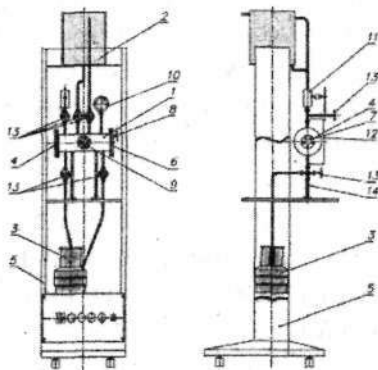


Рис. 1. Экспериментальный стенд: 1 – рабочая камера; 2 – конденсатор; 3 – баллон с рабочей жидкостью; 4, 9 – иллюминатор; 5 – стойка; 6, 7 – фланцы; 8 – вывод термопар; 10 – манометр; 11 – клапан предохранительный; 12 – защитный экран; 13 – вентиль; 14 – стойка рабочей камеры

Рабочая испарительная камера 1 представляет собой цилиндр, закрытый фланцами б и 4. Фланец 4 имеет стеклянный иллюминатор для подсветки фонарем. На фланце 6 смонтирован разъем 8 для подвода термопар. Посреди камеры предусмотрен смотровой иллюминатор 9 для визуального наблюдения процесса кипения на поверхности образца. Водяной теплообменник-конденсатор 2 выполнен в виде емкости, в которой установлены два змеевика и служит для поддержания стационарных условий проведения эксперимента. Для хранения рабочей жидкости служит баллон 3. На рабочей камере установлен манометр 10, предохранительный клапан 11, вентиль 13 - для подачи в камеру воздуха при проверке на герметичность, при замене образца и вывода паров рабочей жидкости.

Вначале в качестве исследуемой жидкости использовался фреон R114.

Данные по фреону R114 показывают улучшение теплоотдачи у ребристых поверхностей по отношению к гладким трубам, при этом  $\alpha$  увеличивается в 3-5 раз при низких плотностях теплового потока  $q$  для модифицированных трубок (рис. 2).

Исследования с пропаном, пропиленом и несколькими хладагентами, кипящими на ребристых трубках в широком диапазоне давлений (достигающих 50 % от величины критического давления  $P_k$ ), показывают незначительное отклонение от увеличения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  в зависимости от плотности теплового потока  $q$  для ребристых и структурированных трубок при атмосферном давлении.

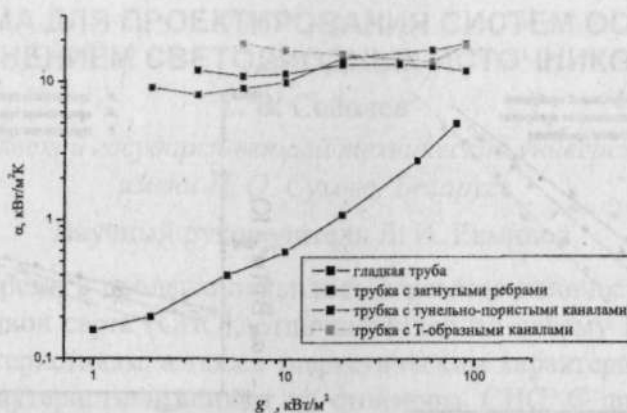


Рис. 2. Двойная логарифмическая зависимость коэффициентов  $\alpha$  как функции плотности теплового потока  $q$  для фреона R114, кипящего на ребристых поверхностях

По результатам исследования можно выделить две особенности:

- значения коэффициента  $\alpha$  оказались значительно выше, чем ожидалось и почти не увеличиваются с увеличением плотности теплового потока  $q$  при достаточно низких отношениях давлений  $P_n / P_k$  и малых плотностях тепловых потоков.
- при низких соотношениях  $P_n / P_k$  и высоких плотностях тепловых потоков, коэффициент  $\alpha$  становится независимым от давления и плотности тепловых потоков.

Обе особенности могут быть объяснены, используя фотографии формирования пузырьков - в начале устойчивые паро-жидкостные фазы заполняют область между соседними «вершинами» ребер горизонтальной трубы и пар скапливается в туннелях между ребрами, затем теплоотдача происходит вследствие выпуска большого количества пара, образующегося в туннелях (промежутках между ребрами), при повышении плотности теплового потока, подобно теплоотдаче при вынужденной конвекции, которая не зависит от  $q$  и  $p$ .

На основании приведенных выше экспериментальных данных можно отметить, что интенсивность теплообмена увеличивается при уменьшении расстояния между ребрами.

Обе вышеприведенные особенности также аналогично протекают и для пропилена и фреона R134a, кипящих на ребристых и модифицированных трубках.

Эффект (б) меньше проявился при проведении экспериментов с теми же образцами, в связи с тем, что зазоры между ребрами были несколько шире и ребра имели другую форму.

Экспериментальные исследования по теплоотдаче при кипении фреона-134a проводились также на горизонтальных продольно-ребренных трубчатых поверхностях нагрева, изготовленных из дюралюминия, при давлении насыщения  $p_n = 0,5$  МПа ( $t_n = 14,3$  °C).

Как показано на (рис. 3, 4) во всем исследованном диапазоне давлений и плотностей теплового потока ребренная поверхность существенно интенсифицировала теплообмен.

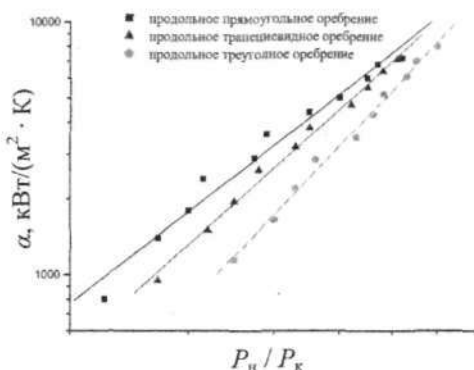


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от давления  $p^* = P_n / P_k$  при давлении  $P_n = 0,5$  МПа

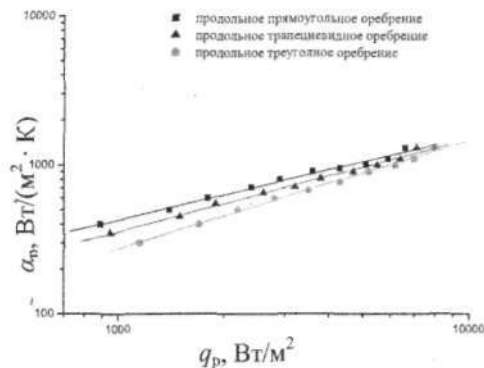


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от плотности теплового потока  $q$  при давлении  $P_n = 0,5$  МПа

Из анализа полученных зависимостей (рис. 3, 4) можно сделать вывод, что средние коэффициенты теплоотдачи по ребру слабо зависят от профиля ребра при свободном отводе паровой фазы.

При возрастании тепловой нагрузки и давления насыщения происходит увеличение интенсивности теплоотдачи.

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.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Влияние термофизических свойств жидкостей на передачу теплоты в объеме кипящей жидкости может быть исследовано достаточно эффективно увеличением давления насыщения до значения  $p^* = P_n / P_k$ , когда свойства жидкостей сильно отличаются в зависимости от значения текущего давления парообразования.

2. Схожее влияние свойств на коэффициент теплоотдачи а одинаково для различных жидкостей выражается в сравнительно общей форме зависимости давления на коэффициент а, в случае применения принципа «изолированности» в самом простом виде.

3. Интенсивность теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении фреона-134а на горизонтальной продольно-оребренной теплоотдающей поверхности практически не зависит от профиля ребра.

4. Помимо зависимости а от термофизических свойств также оказывает влияние микроструктура теплоотдающей поверхности.

5. Повышению интенсивности теплообмена способствует активация потенциальных центров парообразования на наружных поверхностях ребер. Такое развитие процесса на оребренной поверхности теплообмена вполне логично: наилучшие условия для действия центров парообразования имеют место в межреберном пространстве (более высокие перегревы жидкости у основания ребер).