

УДК 536.24

**КИПЕНИЕ АЦЕТОНА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
ТРУБАХ С ПРОДОЛЬНОМ ОРЕБРЕНИЕМ
В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ**

**А.В. ОВСЯННИК, Н.А. ВАЛЬЧЕНКО, Д.А. ДРОБЫШЕВСКИЙ,
М.Н. НОВИКОВ, Е.А. КОРШУНОВ**

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

Введение

Оребрение теплоотдающих поверхностей, как способ интенсификации процессов теплообмена, находит широкое применение в энергетических установках. Ряд положительных качеств, присущих данному способу, таких, как технологичность, простота обслуживания, возможность организации процессов кипения загрязненных теплоносителей, делает оребрение в большом числе случаев оптимальным способом интенсификации теплообмена.

Несмотря на большое количество работ [1-5] по теплообмену при кипении, полученных данных не достаточно для теоретического обобщения зависимостей $\alpha = f(q)$ и $q = f(\Delta t)$ в процессах, протекающих при кипении жидкостей. Поэтому экспериментальные исследования процессов кипения жидкостей на оребренных поверхностях представляют как практический, так и научный интерес.

1. Методика проведения исследований и экспериментальная установка

Эксперименты проводились на лабораторной установке для исследования процессов кипения жидкостей на горизонтальных поверхностях с различной геометрией ребра. Методика проведения эксперимента предполагала исследование процессов кипения жидкостей на оребренных поверхностях с различной геометрией ребра при постоянном давлении ($P = 0,1$ МПа). Исследуемая жидкость – ацетон (диметилкетон, 2-пропанон).

Подробно экспериментальная установка и методика проведения эксперимента описана в [6]. Исследованные образцы изготавливались из дюралюминия Д-16, как материала обладающего приемлемыми теплофизическими и химическими свойствами.

Исследованные образцы:

1. Гладкий полированный.
2. Гладкий шероховатый.
3. Продольное прямоугольное оребрение.
4. Продольное треугольное оребрение.
5. Продольное трапециевидное оребрение.

Геометрические параметры образцов сведены в таблицу 1.

Для измерения температурного напора использовались хромель-копелевые термопары с толщиной проводников 0,5 мм. На основной поверхности образцов и на ребрах фрезеровались канавки для установки термопар, которые зачеканивались вкладышами из материала образца. Применялся компенсационный метод измерения термо-ЭДС. За эталон компенсационной ЭДС принималась ЭДС наводимая одной термопарой, помещенной в термостат, где поддерживалась температура 0°C. В ка-

честве измерительного прибора использовалось устройство аналого-цифрового преобразования ADC32-1533, максимальная приведенная погрешность измерения которого составляет $0,1^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Геометрические параметры исследованных образцов

№ образца	d_0 , мм	D_0 , мм	$d_{вн}$, мм	φ_p , град	δ_0 , мм	δ_B , мм	L_0 , мм	N_p , шт	h_p , мм	F_0 , м ²	F_H , м ²	D , мм	
1	25	-	16	-	-	-	302	-	-	0,02372	0,02372	107	
2		-		-	-	-		-					
3		448		36	4	4	310	10	12	0,01310	0,05650		
4											0		0,04578
5											2		0,05102

Здесь d_0 – диаметр образца по основной поверхности; D_0 – наружный диаметр ребра; $d_{вн}$ – внутренний диаметр образца; φ_p – межреберный угол; δ_0 – толщина ребра у его основания; δ_B – толщина у вершины ребра; L_0 – длина образца; N_p – количество ребер; h_p – высота ребра; F_0 – площадь образца по основной поверхности; F_H – полная наружная площадь образца; D – наружный диаметр кольцевого канала.

При обработке экспериментальных данных за температуру насыщения принималась температура, измеренная двумя термопарами, расположенными в паровом пространстве и жидкой фазе. За температуру основной поверхности принималась средняя температура по результатам измерения термопар, расположенных на верхней и нижней образующей образца. Для оребренных образцов температура основной поверхности определялась термопарами, установленными в основаниях ребер. Для осреднения полученных рядов данных принимались серии, состоящие не менее чем из 100 значений. Значения стандартных ошибок при заданной достоверности 0,95:

- Ошибка прямых измерений составляет не более 0,5 %.
- Полная ошибка конечных значений α составляет не более 15 %.

Подводимый от электронагревателя тепловой поток относился к основной поверхности образца, коэффициенты теплоотдачи рассчитывались по среднему температурному напору по основной поверхности образца.

2. Результаты исследования и их анализ

Для проверки достоверности результатов и дальнейшего анализа было проведено несколько контрольных опытов на гладком полированном и шероховатом образцах, в диапазоне тепловых потоков $10\div 63$ кВт/м² (рис. 1). Полученные эмпирические зависимости сравнивались с аналогичными данными, ранее опубликованными в литературе [1].

Как видно из кривых на рис. 1, полученные значения коэффициентов теплоотдачи несколько больше (\approx на $10\div 30$ %), чем в [1]. Это объясняется тем, что в условиях стеснения происходит дополнительная турбулизация жидкости на теплоотдающей поверхности [5], а также различием технологии изготовления экспериментальных образцов.

Экспериментальное исследование теплообмена при кипении ацетона на продольно оребренных горизонтальных трубах, перечисленных выше типов, проведено в диапазоне плотности тепловых потоков $q = 10\div 63$ кВт/м² при $P = 0,1$ МПа.

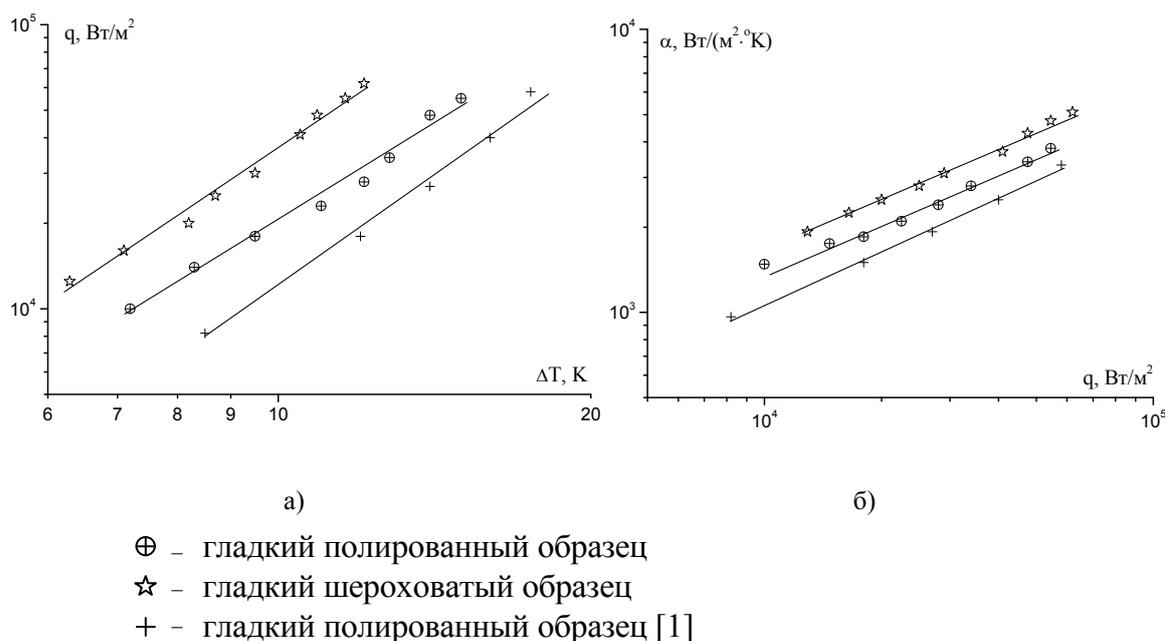


Рис. 1. Сравнение полученных экспериментальных зависимостей: а – $q_{осн} = f(\Delta t_{осн})$; б – $\alpha = f(q_{осн})$, при кипении ацетона на гладких образцах, с литературными данными

На рис. 2 представлены зависимости температурного напора и коэффициента теплоотдачи по основной поверхности от плотности теплового потока на основной поверхности образца $q_{осн} = f(\Delta t_{осн})$ и $\alpha = f(q_{осн})$, для всех типов исследованных поверхностей. Такое сравнение представляется более корректным, поскольку позволяет судить о влиянии развития поверхности на температурный напор и коэффициент теплоотдачи.

Визуальные наблюдения процессов кипения при проведении экспериментов показали, что процесс парообразования на основной поверхности оребренных образцов наступает при значительно более низких температурных напорах, чем на поверхности гладких образцов (для оребренных образцов $\Delta t_{осн} = 3,5 \div 4^\circ \text{K}$, для шероховатого и полированного образцов, соответственно $\Delta t_{осн} = 6,3 \div 7,5^\circ \text{K}$, $\Delta t_{осн} = 7,5 \div 8,3^\circ \text{K}$). Из всех типов исследованных поверхностей наиболее низкий температурный напор $\Delta t_{осн} = 3,5^\circ \text{K}$ имеет продольное оребрение прямоугольного профиля. При дальнейшем увеличении плотности теплового потока эта закономерность сохраняется (рис. 2а), что свидетельствует о наиболее интенсивном теплообмене, происходящем на поверхности с данным типом оребрения.

Полученные результаты показывают достаточно высокую эффективность оребренных поверхностей. Средние коэффициенты теплоотдачи на оребренных поверхностях в 1,3–2 раза выше, чем на гладких поверхностях (рис. 2б). Это явление можно связать с особенностями геометрии профиля ребер и гидродинамики, создающих благоприятные условия для более интенсивного отвода паровой фазы от поверхности теплообмена.

Из всех трех типов оребрения наиболее высокие коэффициенты теплоотдачи имеет оребрение прямоугольного профиля (рис. 2б). Интенсификация теплообмена обусловлена улучшением условий для прогрева жидкости в межреберных каналах, большей турбулизацией объема жидкости поднимающимися пузырями.

При увеличении плотности теплового потока $q_{осн} > 20 \text{ кВт/м}^2$ интенсивность теплоотдачи для всех исследованных типов оребренных поверхностей несколько уменьшается, т. к. запаривание межреберного пространства в нижней части образцов приводит к снижению эффективности использования площади теплоотдающей поверхности. Следовательно, возрастает температура поверхности, что и приводит к снижению коэффициентов теплоотдачи. Такой неблагоприятный гидродинамический режим появляется с началом поверхностного кипения и развивается с повышением тепловой нагрузки.

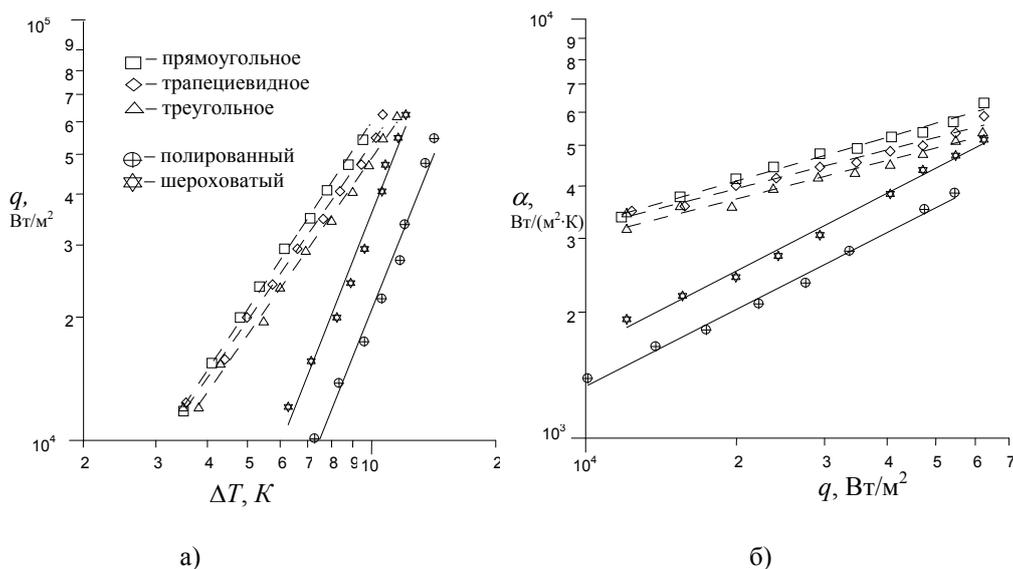


Рис. 2. Экспериментальные зависимости при кипении ацетона на гладких и продольно оребренных поверхностях: а – $q_{осн} = f(\Delta t_{осн})$; б – $\alpha = f(q_{осн})$

Анализ результатов обобщения опытных данных свидетельствует о том, что при кипении ацетона на оребренной поверхности, расположение зоны наиболее интенсивного парообразования в значительной мере определяется плотностью теплового потока, условиями зарождения и отвода паровой фазы, геометрическими параметрами поверхности нагрева (шаг, высота и профиль ребер).

3. Выводы

1. Проведены экспериментальные исследования процесса кипения ацетона, при атмосферном давлении, на образцах с продольным оребрением. Получены зависимости температурного напора и коэффициентов теплоотдачи от плотности теплового потока.
2. Экспериментально подтверждено положительное влияние условий «стеснения» на интенсивность теплоотдачи при кипении ацетона на горизонтальных трубках в кольцевом канале.
3. Полученные значения коэффициентов теплоотдачи, для продольно оребренных поверхностей, в 1,3÷2 раза превышают аналогичные величины для гладкой поверхности, что говорит о достаточно высокой эффективности исследованного метода интенсификации теплоотдачи.
4. С увеличением плотности теплового потока, отводимого образцами с продольным оребрением, $q_{осн} > 20 \text{ кВт/м}^2$ наблюдается некоторое снижение коэффициентов теплоотдачи, что объясняется запариванием межреберного пространства в

нижней части образца, которое приводит к уменьшению эффективности использования теплоотдающей поверхности.

5. Проведен сравнительный анализ влияния параметров оребрения на интенсивность процесса парообразования на теплоотдающей поверхности. Определено, что из трёх исследованных типов оребрения, наиболее эффективным является продольное прямоугольное оребрение.

Литература

1. Вершинин С.В., Майданик Ю.Ф. Исследование теплообмена при кипении ацетона на мелкопористой капиллярной структуре. – Свердловск, 1987. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ, № 666–В87.
2. Ройзен Л.И., Рубин Г.Р. Теплообмен при кипении жидкости на оребренных поверхностях //ИФЖ. – 1972. – Т. 22. – № 1. – С. 13-18.
3. Данилова Г.Н., Тихонов А.В. Интенсификация теплоотдачи при кипении R113 на поверхностях различного типа //Холодильная техника. – 1984. – № 1. – С. 33-37.
4. Гогонин И.И., Силкачёв А.Е. Теплообмен и критические тепловые потоки при кипении на оребренных поверхностях //ТВТ. – 1991. – Т. 29. – № 6. – С. 1127-1133.
5. Овсянник А.В. Некоторые особенности кипения жидкостей в горизонтальных кольцевых каналах //Тепломассообмен – ММФ–2000: Труды 4-го Минского международного форума по тепло- и массообмену. – Минск: АНК ИТМО НАНБ, 2000. – Т. V. – С. 193-197.
6. Овсянник А.В., Вальченко Н.А., Дробышевский Д.А., Новиков М.Н., Коршунов Е.А. Кипение ацетона на горизонтальных трубах с поперечным оребрением в кольцевом канале //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. – 2002. – № 2. – С. 31-36.

Получено 11.10.2002 г.