

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ПАРООБРАЗОВАНИИ ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ХЛАДАГЕНТА R134А И ЗЕОТРОПНОГО СМЕСЕВОГО ХЛАДАГЕНТА R407С В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО ОБЪЕМА

Е. Н. Волкова

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Для обоснованного выбора рабочих веществ, используемых в холодильной и теплонасосной технике, необходимы сведения о теплоотдаче при кипении различных хладагентов. Использование имеющихся в литературе уравнений для расчета теплоотдачи кипящих хладагентов без экспериментальной проверки неправомерно из-за специфических условий работы испарителей, а также особенностей теплофизических свойств этих рабочих веществ.

Целью данной работы являлось исследование свойств однокомпонентного хладагента R134а и смесового хладагента R407с; экспериментальное исследование процесса теплообмена при парообразовании данных хладагентов и сравнительный анализ их характеристик.

Имеющиеся в литературе сведения представляют отрывочные и разноречивые данные, не позволяющие определить влияние теплового потока, давления и свойств смесей хладагентов на теплоотдачу, разработать надежные расчетные уравнения для практики. Сложность процесса теплообмена при кипении, его зависимость от многих факторов и отсутствие в настоящее время полной физической модели и математического описания процесса делают эксперимент наиболее надежным средством получения данных.

Основные физические свойства рассматриваемых хладагентов приведены в таблице.

Основные физические свойства хладагентов R134а и R407с в сравнении с заменяемыми хладагентами

Параметр	R12	R134а	R22	R407с
Нормальная температура кипения ($p_0 = 0,1$ МПа), °С	-29,8	-26,5	-40,85	-43,56
Критическая температура, °С	122	101,15	96	86,7
Критическое давление, МПа	4,11	4,06	4,98	4,63
Давление насыщенной жидкости при 25 °С, кПа	770	667	1043	1174
Плотность жидкости при 25 °С, кг/м ³	1180	1160	1194	1216

Окончание

Параметр	R12	R134a	R22	R407c
Потенциал разрушения озона ODP	1	0	0,055	0
Потенциал глобального потепления HGWP	8500	0	1900	1600

В работе приводятся результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении смесового хладагента R407c на гладких поверхностях в условиях свободного объема. Плотность теплового потока в экспериментах изменялась в пределах 2,5–33 кВт/м², давление насыщения – в пределах 0,5–1,15 МПа ($t_n = 16–31$ °C) [4].

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока при кипении фреонов R407c и R134a на гладкой технически шероховатой поверхности при различных давлениях насыщения.

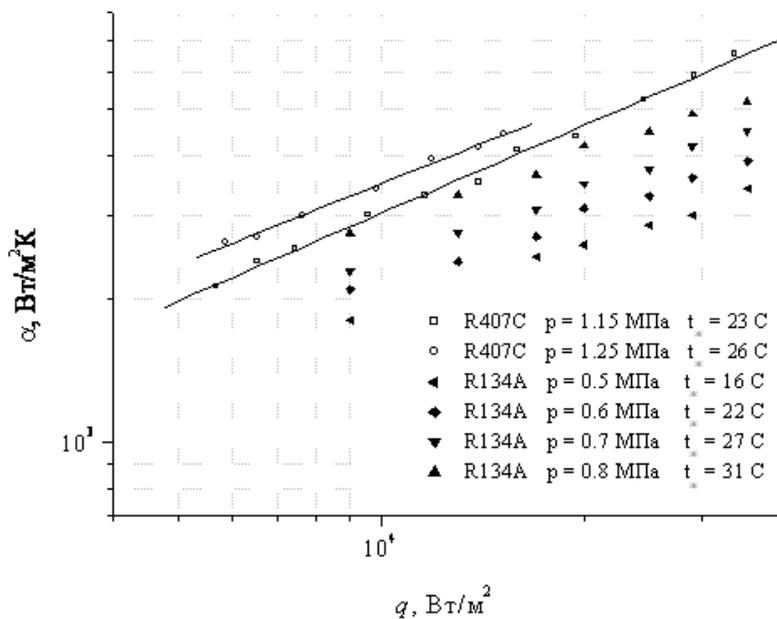


Рис. 1. Сравнение экспериментальных зависимостей $\alpha = f(q)$ для хладагентов R134a и R407c

Установлено, что число действующих центров парообразования, а следовательно, и значение коэффициента теплоотдачи α увеличивается с ростом величины удельного теплового потока q , передаваемого кипящей жидкостью.

С увеличением давления также наблюдается интенсификация теплообмена, облегчаются условия зарождения паровых пузырей на теплоотдающей поверхности и растет турбулизация потока паровой фазы. При понижении давления, наоборот, поверхность обедняется центрами парообразования, поэтому для зарождения на ней паровых пузырей данного радиуса требуется все более и более высокий перегрев жидкости или более высокое значение удельного теплового потока. Кроме того, повышение интенсивности теплообмена с увеличением давления насыщения при кипении вызывается уменьшением отрывного диаметра парового пузыря и увеличением плотности 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.

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

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

Из графика (рис. 1) видно, что при малых плотностях тепловых потоков q коэффициенты теплоотдачи α сходны для двух хладагентов. При увеличении плотности теплового потока наблюдается интенсификация теплообмена при парообразовании фреона R407c в сравнении с R134a. Такое отличие в коэффициентах теплоотдачи связано с разницей температур насыщения и теплофизических свойств хладагентов (в частности, коэффициентов теплопроводности).

Величина температурного напора Δt между теплоотдающей поверхностью и жидкостью также является определяющим параметром (при прочих равных условиях), характеризующим интенсивность теплообмена между данной поверхностью и средой.

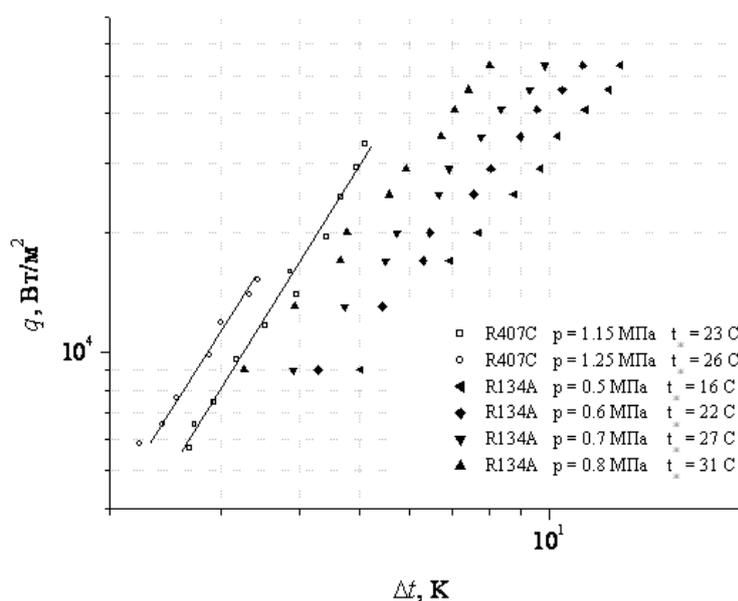


Рис. 2. Сравнение экспериментальных зависимостей $q = f(\Delta t)$ для хладагентов R134a и R407c

Закключение. 1. В ходе исследований однокомпонентного хладагента R134a и смесового хладагента R407c, а также сравнительного анализа изучаемых и ранее используемых хладагентов было отмечено, что предлагаемые озонобезопасные хладагенты практически не уступают заменяемым хладагентам (R12 и R22) по основным показателям эффективности работы холодильной машины: удельной массовой холодопроизводительности и холодильного коэффициента.

2. В результате экспериментальных исследований были сопоставлены зависимости коэффициентов теплоотдачи от плотностей теплового потока, а также плотностей теплового потока от температурного напора для хладагентов R134a и R407c. Установлено, что интенсивность теплообмена при парообразовании смесового хладагента R407c на гладкой поверхности в диапазонах подводимой тепловой нагрузки 2,5–33 кВт/м² при постоянных параметрах насыщения ($t_{\text{н}} = 16\text{--}31\text{ }^{\circ}\text{C}$) в 1,3–1,5 раза по сравнению с процессом теплообмена при парообразовании однокомпонентного хладагента R134a для соответствующих условий. Полученные данные позволят разработать методику расчета испарительных теплообменников с озонобезопасными хладагентами.