

# ТЕПЛОБМЕН ПРИ ПАРООБРАЗОВАНИИ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ НА ГЛАДКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ В БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ

Т. С. Юфанова, В. Г. Якимченко, М. В. Викулов, А. В. Дегтяренко

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Перед проведением исследований процессов теплообмена при парообразовании хладагентов в испарителях парокомпрессионных холодильных машин, в первую очередь, необходимо выбрать тип хладагента. От этого во многом зависит актуальность дальнейших исследований.

Историю и динамику развития хладагентов можно наблюдать на рис. 1.



Рис. 1. Эволюция в области хладагентов

Хладагенты первого поколения, в основном, характеризуются токсичностью и горючестью, что накладывает определенные ограничения на их применение. Второе поколение отличается растущим внедрением галогенсодержащих химических продуктов, мотивируемым их безопасностью и долговечностью. На этом этапе началось промышленное производство хлорфторуглеродов (CFC) и гидрохлорфторуглеродов (HCFC). Связь, обнаруженная между выбросами CFC, в том числе CFC-хладагентов, и разрушением озонового слоя, стала катализатором появления третьего поколения

хладагентов, нацеленного на защиту озона стратосферы. Венская конвенция (1985) и Монреальский протокол (1987) обязывают отказаться от озоноразрушающих веществ (ODS). Химические галогенсодержащие вещества прежде всего стали объектом ограничения с акцентом на применение HCFC в переходный период и HFC (гидрофторуглероды) в более далекой перспективе.

По степени озоноразрушающей активности галоидопроизводные углеводороды разделены на три группы:

– хладагенты с высокой озоноразрушающей активностью – это хлорфторуглероды (CFC) R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502, R503, R12B1, R13B1 и др.;

– хладагенты с низкой озоноразрушающей активностью – это гидрохлорфторуглероды (HCFC) R21, R22, R141b, R142b, R123, R124 (или по международному обозначению HCFC21, HCFC22, HCFC141b и т. д.) и др.;

– полностью озонобезопасные хладагенты, не содержащие атомов хлора – фторуглероды (FC), гидрофторуглероды (HFC), углеводороды (HC) и др. Таковыми являются хладагенты R134, R134a, R152a, R143a, R125, R32, R23, R218, R116, RC318, R290, R600, R600a, R717 и др.

В качестве альтернативы запрещенным к производству хладагентам Монреальским протоколом рассматриваются следующие классы веществ: гидрохлорфторуглероды (ГХФУ); гидрофторуглероды (ГФУ); природные хладагенты – аммиак, диоксид углерода, вода, углеводороды.

Согласно Монреальскому протоколу, применение CFC должно быть прекращено до 2010 г., HCFC – до 2040 г.

Развитие четвертого поколения хладагентов связано с подписанием большинством индустриально развитых стран Киотского протокола, устанавливающего ограничение эмиссии парниковых газов.

Наиболее распространенными хладагентами до настоящего времени были R21, R22, R502. Хладагенты, предлагаемые для их замены (R134a, R404a, R407a), являются озонобезопасными и схожими по своим физическим свойствам с заменяемыми:

Обозначение хладагента	Температура кипения, °С	ODP (потенциал разрушения озонового слоя)
R21	-29,8	0,9
R134a	-26,1	0
R502	-45	0,33
R404a	-47	0
R22	-40,8	0,05
R407c	-44	0

Кипение в большом объеме применяется в промышленных испарителях большой производительности, так как в условиях направленного движения жидкости внутри труб могут возникнуть затруднения с отводом пара при интенсивном парообразовании и, как следствие, снижение теплоотдачи.

Были проведены экспериментальные исследования кипения фреона 134a на гладкой технически шероховатой поверхности в большом объеме. Зависимости коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от плотности теплового потока при различных давлениях приведены на рис. 2.

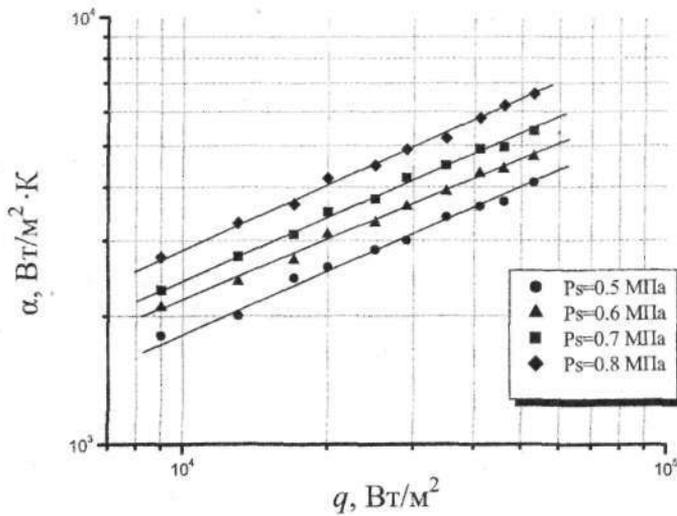


Рис. 2. Экспериментальные зависимости  $\alpha = f(q)$  при кипении фреона 134а на гладкой поверхности

Опыт показывает, что число действующих центров парообразования, а следовательно, и значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  увеличиваются с ростом величины удельного теплового потока  $q$ , передаваемого кипящей жидкостью.

С увеличением давления также наблюдается интенсификация теплообмена. С повышением давления 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 (рис. 2).

На рис. 3 приведено обобщение экспериментальных данных при кипении хладагентов R134a, R12, R290 (пропан). Сравнение производилось при одном давлении насыщения ( $p_s = 0,5$  МПа). Этому давлению соответствуют температуры насыщения:  $t_s = 20$  °C (R134a),  $t_s = 15$  °C (R12),  $t_s = 2$  °C (R290).

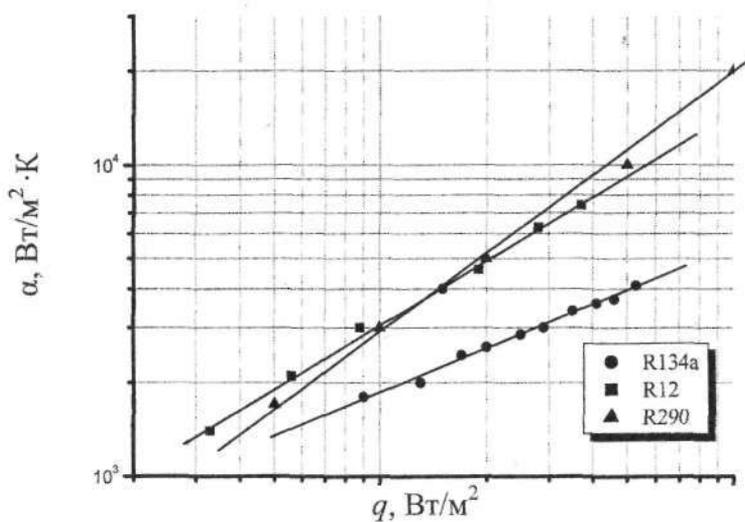


Рис. 3. Сравнение экспериментальных зависимостей  $\alpha = f(q)$  для различных хладагентов при давлении насыщения  $p_s = 0,5$  МПа

Из графика (рис. 3) видно, что при малых плотностях тепловых потоков  $q$  коэффициенты теплоотдачи  $\alpha$  сходны для трех хладагентов, при увеличении плотности теплового потока наблюдается более интенсивный процесс теплоотдачи при использовании R12 и R290 в сравнении с R134a. Такое отличие в коэффициентах теплоотдачи связано с разницей температур насыщения и теплофизических свойств хладагентов (в частности, коэффициентов теплопроводности). Несмотря на различие коэффициентов теплоотдачи фреонов R12 и R134a, R134a остается до настоящего времени наиболее эффективной заменой R12. Интенсифицировать процесс теплообмена и уменьшить габариты установки можно путем развития поверхности теплообмена. Пропан обладает хорошими термодинамическими свойствами, значительно дешевле фреонов, однако применение его в холодильной технике ограничено по причине высокой взрывопожароопасности (содержание 1-2 % по объему в воздухе достаточно для взрыва).

Фреоны R404a и R407c в настоящее время широко внедряются в системах снабжения холодом и в системах кондиционирования воздуха, однако исследований с определением зависимостей интенсивности теплоотдачи от различных факторов к настоящему времени не проводилось.