

ТЕПЛООБМЕН ПРИ КИПЕНИИ СМЕСЕВЫХ ОЗОНОБЕЗОПАСНЫХ ХЛАДАГЕНТОВ

Е. Н. Волкова

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

Научный руководитель А. В. Овсянник

Широкое внедрение холода в различные отрасли промышленности, сельское хозяйство, транспорт, медицину, торговлю, быт ставит перед холодильной техникой неотложные задачи технического совершенствования холодильных машин.

Вес испарителей составляет 35–40 % от общего веса холодильной машины, а потери энергии из-за термодинамической необратимости процессов теплообмена соизмеримы с энергетическими потерями компрессора. Поэтому задачи интенсификации и обоснованного проектирования испарителей имеют первостепенное практическое значение. Для их

решения прежде всего необходимы надежные данные о теплоотдаче при кипении холодильных агентов и о факторах, определяющих интенсивность этого процесса.

Для обоснованного выбора рабочего тела также необходимы сведения о теплоотдаче при кипении различных хладагентов. Использование имеющихся в литературе обобщенных уравнений для расчета теплоотдачи кипящих хладагентов без экспериментальной проверки неправомерно из-за специфических условий работы таких испарителей, а также особенностей теплофизических свойств этих рабочих тел.

Целью данной работы является анализ литературных данных о физической картине теплообмена при кипении; исследование свойств и особенностей термодинамики смесей хладагентов; сравнительный анализ смесевых и ранее используемых хладагентов.

В работах, посвященных обобщению опытных данных, помимо теории подобия, метода размерностей и теории термодинамического подобия используется теория пограничного слоя и делаются попытки аналитического решения задачи.

Анализ литературных данных показывает, что на теплообмен при кипении существенное влияние оказывают: тепловой поток, свойства вещества, давление и свойства системы «жидкость–поверхность нагрева».

Холодильный агент должен обладать определенными теплофизическими и физико-химическими свойствами, от которых зависят конструкция холодильной машины и расход энергии. Так как среди хлорнесодержащих однокомпонентных альтернатив нет прямых сравнимых заменителей для R12, R502 и R22, то в последнее время становится актуальным использование смесевых хладагентов, в которых отдельные характеристики путем варьирования пропорций смеси могут быть приведены в соответствие требованиям.

Особенности термодинамики смесей хладагентов. В молекулярной теории растворов различают зетропные (неазетропные) и азеотропные смеси.

Термодинамическое поведение смеси азеотропного состава подобно поведению чистого вещества, поскольку состав паровой и жидкой фаз у нее одинаков, а давления в точках росы и кипения совпадают.

Концентрации паровой и жидкой фаз зетропной смеси в условиях термодинамического равновесия различаются, а изотерма под бинодалью в $p-h$ координатах имеет наклон, т. е. кипение при постоянном давлении происходит при увеличении температуры хладагента от точки D до A , а конденсация – при падении температуры от B до C (рис. 1). Это необходимо учитывать при определении степени перегрева пара на входе в компрессор, а также при оценке энергетических характеристик холодильной установки.

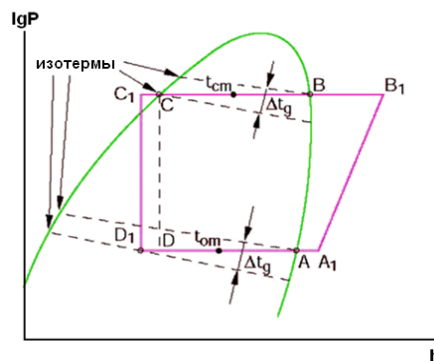


Рис. 1. Поведение зетропных смесей при испарении и конденсации:
 Δt_g – температурное скольжение; t_{cm} – средняя температура конденсации;
 t_{ot} – средняя температура испарения

Таким образом, температуру кипения и температуру конденсации следует находить по-другому. Температуру кипения вычисляют как среднюю температуру $t_{от}$ между температурой точки росы A при постоянном давлении $p_{вс}$ всасывания и температурой, при которой хладагент поступает в испаритель D .

Температуру конденсации определяют как среднюю температуру $t_{с.т}$ между температурой точки росы B (температура начала процесса конденсации при постоянном давлении нагнетания p_n) и температурой C жидкости на выходе из конденсатора. Разность температур фазового перехода при постоянном давлении (при кипении или конденсации) получила название Δt_g или температурный глайд (от англ. *glide* – скольжение). Значение Δt_g зависит от состава рабочего тела и является важным технологическим параметром.

Обзор смесевых хладагентов



Главным компонентом большинства из переходных смесей является гидрохлорфторуглерод (НСFC) R22. Хлорнесодержащие гидрофторуглеродные смеси – это долгосрочные заменители для хладагентов R502, R22, R13B1 и R503. Ниже приведена таблица, в которой сопоставляются основные физические свойства смесевых хладагентов с однокомпонентными ранее применяемыми хладагентами.

Сравнительный анализ смесевых и ранее используемых хладагентов

Параметр	R12	R401a	R502	R404a	R22	R407c
Химическая формула	CF ₂ Cl ₂	R22/R152a/ R124 (53/13/34)	R22/R115 (48,8/51,2)	R125/R143a /R134a (44/52/4)	CHClF ₂	R32/R125 /R134a (23/25/52)
Молекулярная масса, г/моль	120,9	94,4	111,6	97,6	86,5	86,2
Температура кипения при атмосферном давлении, °C	-29,74	-33,1	-45,6	-46,7	-40,85	-43,56
Критическая температура, °C	112	108	82,1	72,7	96	86,7

Окончание

Критическое давление, кПа (абс.)	4119	4604	4070	3735	4980	4630
Потенциал разрушения озона ODP	1	0,03	0,34	0	0,055	0
Потенциал глобального потепления HGWP	8500	1100	4300	3750	1900	1600

Как видно из таблицы, смесевые хладагенты обладают свойствами, которые делают их сопоставимыми альтернативами для ранее применявшихся хладагентов. Изучение смесевых хладагентов, имеющих своеобразные свойства, представляет интерес и с позиций развития представлений о физической картине теплообмена при кипении и оценки методов обобщения и расчетных формул. Имеющиеся в литературе сведения представляют отрывочные и разноречивые данные, не позволяющие выявить влияние теплового потока, давления и свойств смесей хладагентов на теплоотдачу, составить надежные расчетные формулы 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.