

ПРИМЕНЕНИЕ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ «НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ» В ИСПАРИТЕЛЯХ ХОЛОДИЛЬНЫХ И ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

О. А. Кныш

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

Научный руководитель Е. Н. Макеева

В настоящее время выбор энергетически эффективных и экологически безопасных хладагентов является важным фактором при проектировании различных видов холодильных машин. В первую очередь это вызвано негативным влиянием некоторых хладагентов на окружающую среду, что отображено в Монреальском и Киотском протоколах. В них обосновывается необходимость применения рабочих веществ с нулевым влиянием на озоновый слой (ODP) и веществ с низким потенциалом глобального потепления (GWP). В 2015 г. Всемирной конференцией ООН по климату было подписано соглашение, целью которого является удержание глобального потепления на планете в пределах 1,5–2 °С, в связи с чем требуются решения по улучшению эффективности энергетических установок.

Целью работы является энергетическое и экологическое обоснование применения озонобезопасных хладагентов «нового поколения»; сравнение циклов холодильных и теплонасосных установок для предлагаемых озонобезопасных хладагентов R1234yf, R513a, R448a и заменяемых хладагентов R134a и R404a.

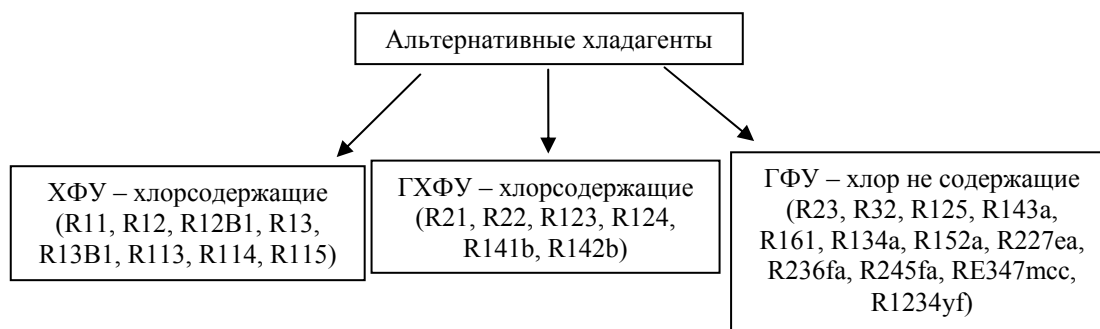


Рис. 1. Классификация альтернативных хладагентов

В качестве исследуемых рабочих веществ были выбраны хладагенты R513a, R448a, R1234yf, R134a, R404a. R513a – азеотропная смесь, предназначенная для замены R134a. Главными преимуществами хладагента является: значительное снижение общей заправки холодильных систем хладагентом одновременно с сохранением необходимого уровня безопасности, характерного для ГФУ; значительное сокращение потенциальных утечек из холодильной системы; уменьшение энергопотребления по сравнению с распространенной в настоящее время системой непосредственного кипения R134a.

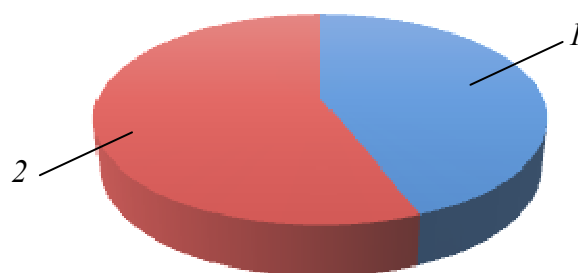


Рис. 2. Состав смешанного хладагента R513а:
1 – R134а (44 %); 2 – R1234yf (56 %)

R448а – азеотропная смесь, предназначенная для замены R404а. Растворим в синтетических маслах. При использовании хладагента в существующих системах следует принимать во внимание температурный глайд от 5 до 6 К, так как это оказывает влияние на производительность испарителя и конденсатора.

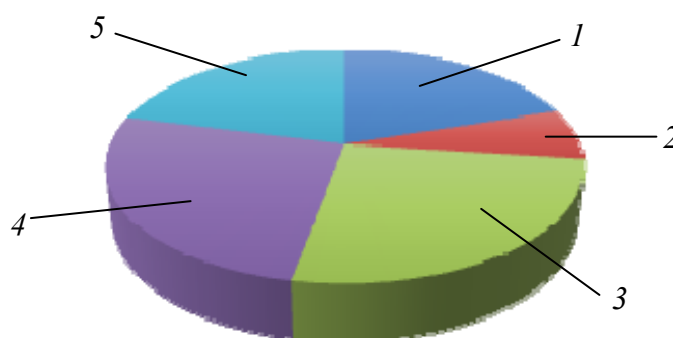


Рис. 3. Состав смешанного хладагента R448а:
1 – R1234yf (20 %); 2 – R1234ez (7 %); 3 – R32 (26 %);
4 – R125 (26 %); 5 – R134а (21 %)

R1234yf – прозрачный, бесцветный, сжиженный по давлением газ, нетоксичен. Классифицируется как слабовоспламеняемый, однако испытания показали, что этот газ не возгорается в обычных условиях. Распадается на безвредные компоненты и исчезает из атмосферы в течение 11 дней, в отличие от хладагента R134а, который остается в окружающей среде около 13 лет.

Таблица 1

Теплофизические и экологические показатели исследуемых хладагентов

Показатели	R513а	R134а	R404а	R1234yf	R448а
Молекулярная масса, г/моль	108,4	102	97,6	114,04	86,3
Температура кипения при 0,1013 МПа, °С	–28	–26,1	–46,3	–29,49	–46,12
Критическая температура, °С	96,5	101	72	94,7	82,68
Критическое давление, МПа	3,766	4,07	3,78	3,382	4,595
Критическая плотность, кг/м ²	490,89	512	484,5	476	477

Окончание табл. 1

Показатели	R513a	R134a	R404a	R1234yf	R448a
Скрытая теплота парообразования при температуре кипения, кДж/кг	192,2	215,9–217,1	175,28	195,4	241,48
Удельная теплоемкость при 25 °С, кДж/(кг · К): жидкости/пара при давлении 0,1013 МПа	1,406	1,46	1,502	1,383	1,555
	0,822	0,858	0,871	0,905	0,85
Плотность насыщенного пара при температуре 25 °С, кг/м ³	35,4	5,28	5,3	5,98	4,703
Плотность насыщенной жидкости при температуре 25 °С, кг/м ³	1140	1206	1010	1092	1097
Коэффициент теплопроводности при 25 °С, 10 ⁻³ Па · с: жидкости/пара при давлении 0,1013 МПа	0,0702	0,082	0,0746	0,064	0,081
	0,0136	0,0145	0,012	0,014	0,014
Класс безопасности (стандарт ASHRAE* 34)	A1	A1	A1	A2L	A1
ODP	0	0	0	0	0
GWP AR4	600	1430	3922	4	1273
COP, %	108	108	100	107	108

Исходные данные

Для построения циклов процессов, характеризующих работу холодильных установок, были приняты следующие температуры: температура кипения –15 °С, температура конденсации 30 °С.

Для построения циклов процессов, характеризующих работу теплонасосных установок: температура кипения 5 °С, температура конденсации 40 °С.

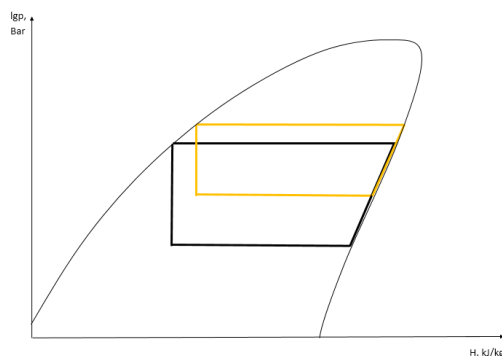


Рис. 4. Цикл холодильной и теплонасосной установки на примере хладагента R1234yf

Было осуществлено сравнение циклов холодильных и теплонасосных установок для предлагаемых озонобезопасных хладагентов R1234yf, R513a, R448a и заменяемых хладагентов R134a, R404a.

Таблица 2

Результаты сравнения циклов холодильных и теплонасосных установок

Хладагент	Показатель						
	Удельная массовая холодопроизводительность, q_0 кДж/кг		Удельная работа сжатия, l_k кДж/кг		Холодильный коэффициент, $\varepsilon = \frac{q_0}{l_k}$		COP = $\varepsilon + 1$
	ХМ	ТНУ	ХМ	ТНУ	ХМ	ТНУ	
R134a	145	142	25	19	5,8	7,47	8,47
R404a	115	107	22	21	5,3	5,1	6,1
R1234yf	114	112	28	21	4,1	5,33	6,33
R513a	129	126	26	20	4,96	5,6	6,6
R448a	153	148	22	14	6,96	10,57	11,57

Как следует из табл. 2, предлагаемые озонобезопасные хладагенты практически не уступают заменяемым хладагентам по основным показателям эффективности работы холодильной машины: удельной массовой холодопроизводительности и холодильного коэффициента. При использовании предлагаемых хладагентов массовый расход уменьшится в 1,8 раза, потребляемая мощность теплонасосных и холодильных систем уменьшится в 1,4 раза, однако стоимость данных хладагентов в 10 раз больше уже используемых хладагентов.