

Проблемы ретрофита холодильного оборудования с турбокомпрессором*

О.В. БЕЛЯЕВА,
А.Ж. ГРЕБЕНЬКОВ,
Б.Д. ТИМОФЕЕВ

Институт проблем энергетики ИАНБ

Results of analysis of problems connected with the retrofit of refrigeration, equipment with turbocompressor are presented. It is shown that the retrofit of machines of such type should be considered as a temporary measure; in this case it is practical to develop refrigeration equipment with turbocompressor on monosubstances that can be produced in Russia.

Холодильные машины с турбокомпрессором 10ХМВ-4000-2 [2] работают на R12, имеющем молекулярную массу 120,9. Замена R12 озонобезопасным хладагентом R134a молекулярной массой 102,03 в холодильных машинах этого типа не обеспечивает необходимой степени повышения давления в холодильном цикле.

Сотрудниками АОЗТ «Астор» была предложена трехкомпонентная смесь R22/R218/R21 (массовые доли компонентов 45/50/5) молекулярной массой 119,8. Испытания этой смеси на модели турбокомпрессора, проведенные в Санкт-Петербургском государственном университете низкотемпературных и пищевых технологий, показали возможность достижения необходимой степени повышения давления. Однако для этой смеси характерна неизотермичность процессов конденсации и кипения. Разность температур фазового перехода в конденсаторе (или испарителе) при постоянном давлении, так называемый глайд, сильно зависит от массовой доли R21 (рис. 1). Исключив этот компонент из смеси, можно получить квазиазеотропную бинарную смесь, например R509a (R22/R218) с массовыми долями компонентов 44/56.

Чтобы обеспечить полноту конденсации трехкомпонентной смеси хладагентов, в схему холодильной машины ХТМФ-248 пришлось ввести регенеративный теплообменник (рис. 2). Датчики температуры и штуцера для отбора проб смеси с целью определения компонентного состава в характерных точках холодильного цикла необходимы для анализа результатов натур-

ных испытаний холодильной машины и принятия решения по переводу других холодильных машин такого типа на альтернативную смесь хладагентов.

Использование бинарной смеси R22/R218 с соотношением массовых компонентов 60/40 (глайд составляет 0,5 °С) позволяет не вводить в контур холодильной машины дополнительный теплообменник (рис. 3), но требует замены минерального масла на синтетическое. Из-за более вы-

соких давления и плотности этой смеси в испарителе холодопроизводительность машины может быть увеличена на 60 %. При этом возрастает и мощность электродвигателя турбокомпрессора.

ВНИИхолодмаш предлагает переводить холодильное оборудование этого типа на R134a с обязательной модернизацией турбокомпрессора и заменой минерального масла на синтетическое. Такой ретрофит связан с необходимостью значительных капитальных затрат.

Анализ, проведенный нами, показал, что при ретрофите холодильного оборудования с турбокомпрессором можно использовать и другие альтернативные смеси

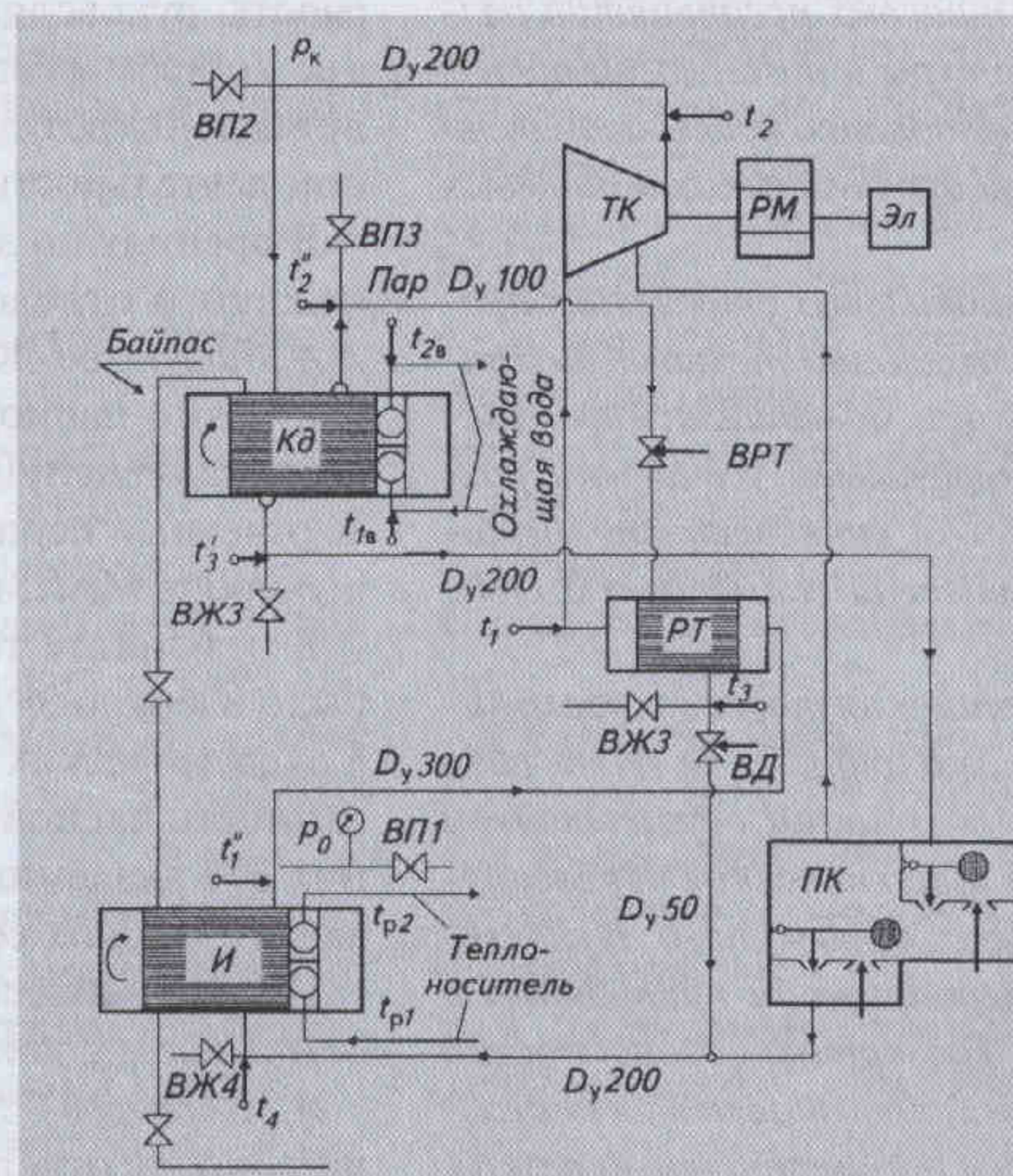


Рис. 2. Схема модернизированной холодильной машины ХТМФ-248: ТК — турбокомпрессор; Эл — электродвигатель; РМ — редуктор-мультипликатор; Кд — конденсатор (в схему ХТМФ-248-4000 входят два конденсатора, на рис. 2 показан один); И — испаритель; ПК — поплавковая камера; РТ — регенеративный теплообменник; ВП1, ВП2, ВП3, ВЖ3, ВЖ4 — вентили отбора проб хладагента; t_{1B} , t_{2B} — датчики для измерения температуры воды на входе и выходе конденсатора; ВРТ — вентиль регенеративного теплообменника; ВД — вентиль дроссельный; P_c , P_0 — давления конденсации и кипения хладагента; t_1 , t_1'' , t_2 , t_2'' , t_3 , t_4 , t_{1B} , t_{2B} — датчики для измерения температуры в основных точках холодильного цикла; t_{p1} , t_{p2} — датчики для измерения температуры технической воды на входе и выходе испарителя

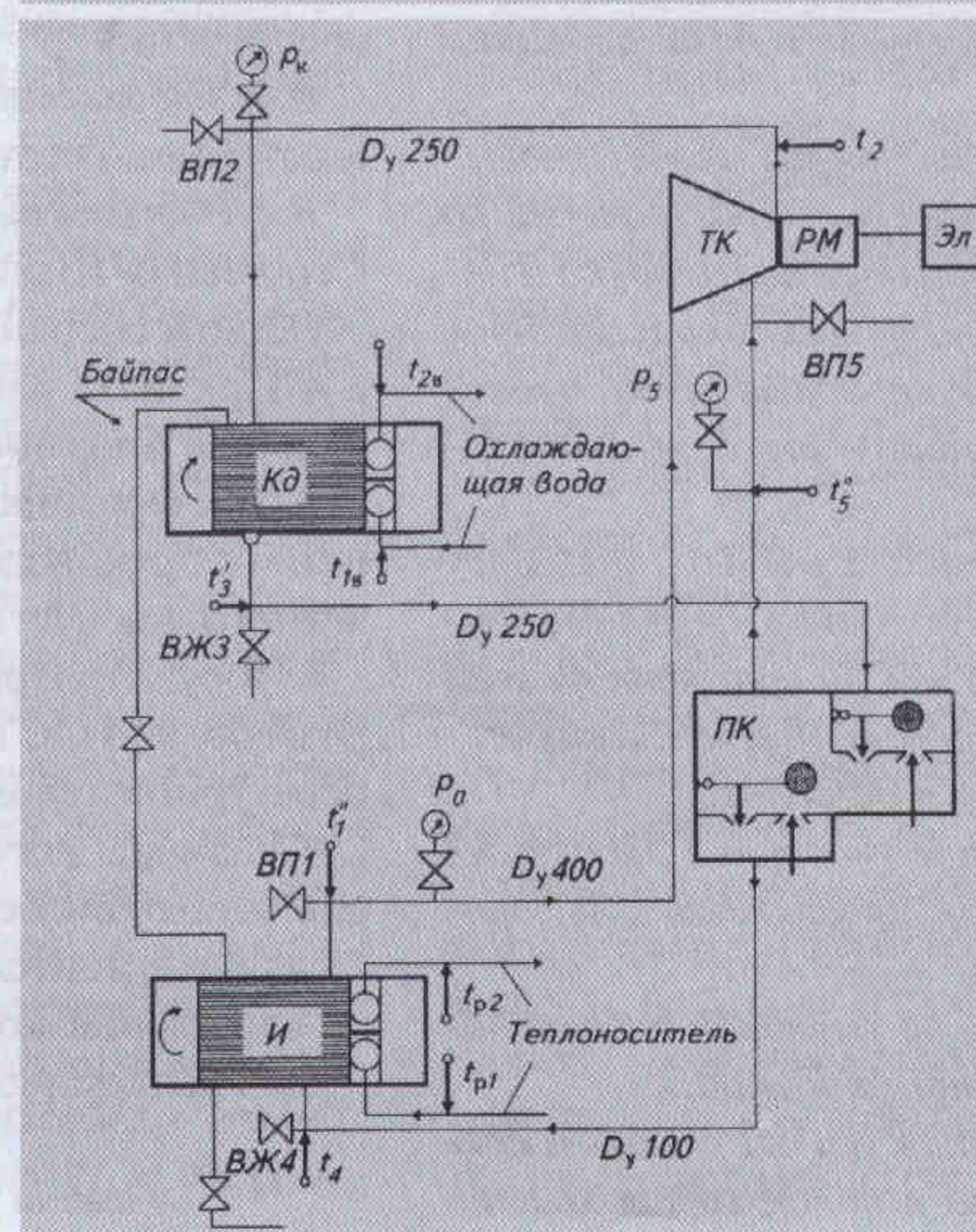


Рис. 3. Схема размещения датчиков температуры и вентилей отбора проб на машине 10ХМВ-4000-2: ТК — турбокомпрессор; Эл — электродвигатель; РМ — редуктор-мультипликатор; Кд — конденсатор; И — испаритель; ПК — поплавковая камера; ВП1, ВП2, ВП5, ВЖ3, ВЖ4 — вентили отбора проб хладагента; P_c , P_0 — давление конденсации и кипения хладагента; P_5 — давление в точке промежуточного отбора; t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 — датчики для измерения температуры в основных точках холодильного цикла; t_{1B} , t_{2B} — датчики для измерения температуры воды на входе и выходе конденсатора; t_{p1} , t_{p2} — датчики для измерения температуры технической воды на входе и выходе испарителя

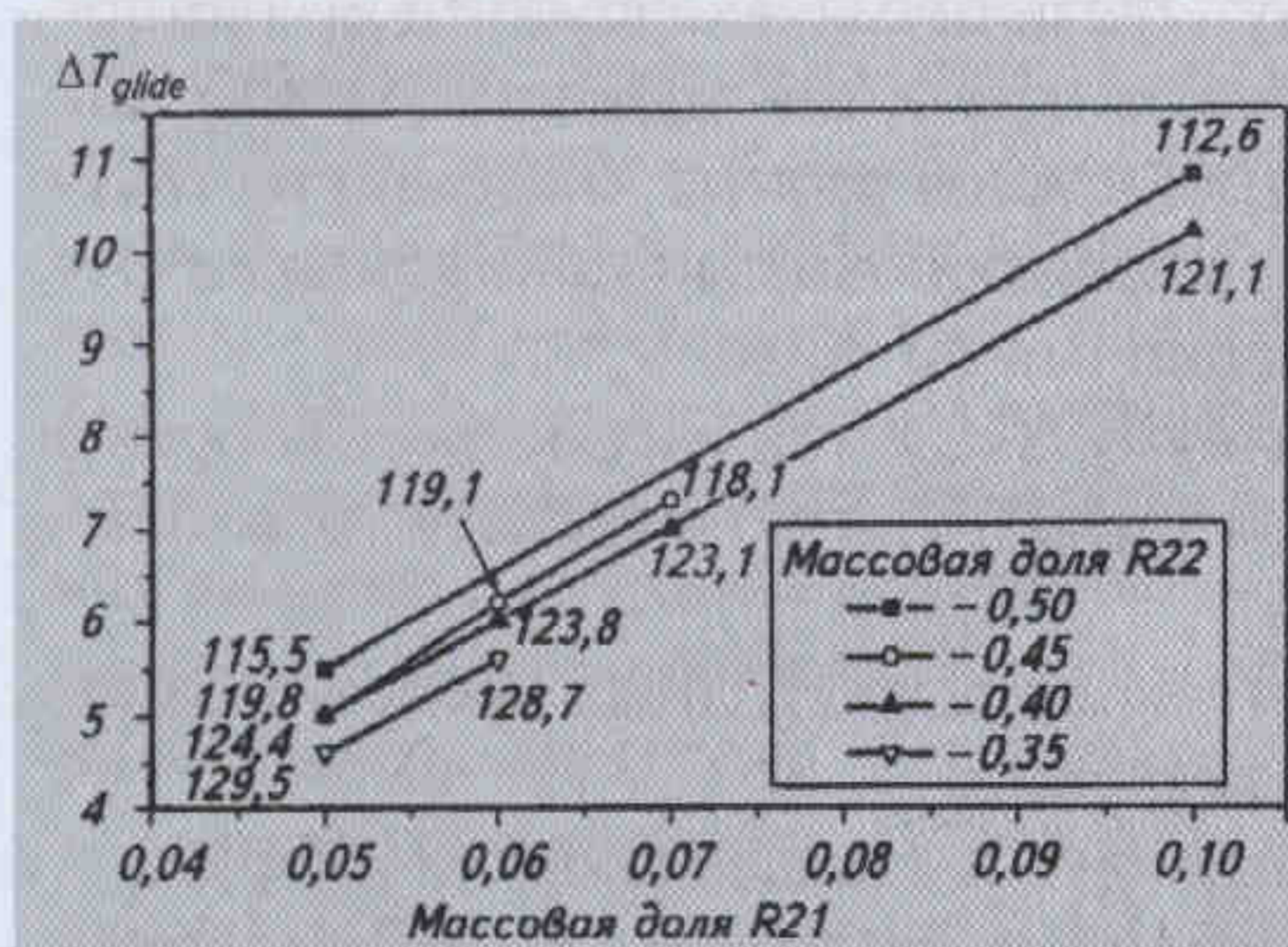


Рис. 1. Влияние компонентного состава смеси R22/R21/R218 на ΔT_{glide} (расчетные данные при температуре конденсации 30 °С). Цифры указывают на молекулярную массу смеси, г/моль

Таблица 1

Наименование затрат	Стоимость ретрофита, тыс. долл. США					
	R134a	R134a/R152a (0,8/0,2)	R125	R22/R218/R21 (0,45/0,55/0,05)	R22/R218 (0,6/0,4)	R142b/RC318 (0,42/0,56)
Затраты на реконструкцию турбокомпрессора	100	100	—	—	—	—
Стоимость хладагента (3000 кг)	27,8	25	45	46	60	36
Стоимость холодильного масла (400 кг)	8,0	8,0	8,0	1,5	8,0	1,5
Затраты на систему контроля температуры по контуру	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Затраты на систему отбора проб на анализ состава хладагента	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Затраты на включение регенеративного теплообменника в схему	—	—	—	50	—	—
Стоимость промывки контура для очистки его от масла	3,0	3,0	3,0	—	3,0	—
Затраты на реконструкцию системы заправки	—	—	—	10	10	—
Итого	140,6	137,8	57,8	109,3	82,8	39,3

Примечание. Приведены технико-экономические показатели для случая перевода холодильной машины 10TXMB-4000-2 с R12 на альтернативные хладагенты.

Таблица 2

Показатель	R12	R134a	R125	R22/R218	R142b/RC318
Молекулярная масса, кг/кмоль	120,9	102	120,02	110,3	141,3
Температура нагнетания t_2 , °C	33	33	31	32	42
Давление, кПа: конденсации p_k кипения p_0	740 360	770 350	1570 780	1400 710	798 228
Степень повышения давления π_k	2,07	2,22	2,0	1,97	3,5
Плотность ρ'' , кг/м ³	20,9	16,9	49,3	46,0	15,1
Массовый расход хладагента G_0 , кг/с	31,7	24,5	41,5	41,7	37
Расчетная мощность электродвигателя, кВт	600	671	729	739	654
Холодильный коэффициент ϵ	10,7	9,7	8,8	8,8	9,9
Эксергетический коэффициент η	0,58	0,52	0,48	0,48	0,53
Озоноразрушающий потенциал ODP	0,9	0,000	0,000	0,022	0,040
Тепловой потенциал GWP	8500	1300	3200	19800	4840
Критерий TEWI $\cdot 10^4$	613,7	433,5	524,6	1028,5	529,7
Пожароопасность	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Класс опасности	4	4	4	4	4
ПДК, мг/м ³	3000	3000	3000	3000	3000
Цена хладагента, долл. США/кг	6,7	9,3	15,0	20,0	12,0

Примечание. Показатели приведены для холодильной машины 10TXMB-4000-2 при $t_0 = -5$ °C, $t_k = 30$ °C.

хладагентов. Например, представляет интерес азеотропная смесь «Экохол-2» – R142b/R318 с соотношением компонентов 42/58. Особенность данной смеси состоит в том, что она имеет меньшую плотность и давление кипения, чем R12. Это удобно при эксплуатации холодильного оборудования, но приводит к снижению холодопроизводительности на 40 %.

В табл. 1 приведены технико-экономические показатели ретрофита холодильной машины с турбокомпрессором 10TXMB-4000-2 при переводе ее с R12 на альтернативные хладагенты. Показано, что наибольший вклад в стоимость ретрофита вносят затраты на реконструкцию турбокомпрессора и редуктора-мультипликатора. Существенную долю составляет сто-

имость хладагентов и холодильных масел на синтетической основе. Включение в технологическую схему холодильного оборудования регенеративного теплообменника, как показали наши исследования, значительно усложняет компоновочную схему холодильной машины.

Применение бинарной смеси R22/R218 можно рекомендовать для случая, когда необходимо сохранить первоначальную холодопроизводительность оборудования, которая была при использовании R12.

На смесь R22/R218 с соотношением массовых долей компонентов 60/40 имеются Технические условия ТУРБ14498995-360-99. АОЗТ «Астор» и ООО «Приборлаб» готовы поставить эту смесь в Республику Беларусь как для испытаний, так и для ретрофита холодильных машин такого типа.

Альтернативная смесь R142b/RC318 с соотношением массовых долей компонентов 42/58 («Экохол-2») не требует замены минерального масла и наиболее привлекательна из-за минимальной стоимости ретрофита. Производство такой смеси освоил Кирово-Чепецкий химический комбинат. Технические условия на эту смесь находятся в стадии согласования. С нашей точки зрения, выбор смесей «Экохол-2» и R22/R218 с целью внедрения в значительной степени будет определяться их стоимостью.

В табл. 2 приведены некоторые основные эколого-энергетические показатели R12, R134a, R125 и альтернативных смесей 0,6R22/0,4R218 и 0,42R142b/0,58RC318 для холодильных машин 10TXMB-4000-2. Показано, что при переводе холодильного оборудования с турбокомпрессором с R12 на альтернативные хладагенты уменьшаются холодильный и эксергетический коэффициенты термодинамического цикла. Увеличение давления конденсации R125 до 1570 кПа не позволяет использовать его в холодильной машине 10TXMB-4000-2 из-за превышения допустимого рабочего давления, равного 1500 кПа. По величине критерия TEWI [1] вариант применения смеси R22/R218 проигрывает. При использовании смеси R142b/RC318 («Экохол-2») требуется проведение расчетов в целях оптимизации параметров холодильного термодинамического цикла для конкретного технологического процесса у потребителя холода.

Ретрофит машин такого типа (при переводе с R12 на альтернативные хладагенты) следует рассматривать как временное мероприятие. Считаю целесообразным разработку холодильного оборудования с турбокомпрессором на моновеществах типа ГФУ: R134a, R125, R218, RC318 и др., которые могут быть произведены в России. Заслуживают внимания схемы с турбодетандером и герметичным исполнением холодильного контура, рассчитанные на параметры реального технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железный В.П., Жидков В.В. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике. – Донецк: Изд. «Донбасс». – 1996.

2. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник/Под общей ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1991.