

УДК 621.575

Альтернативные рабочие вещества для комбинированного термотрансформатора

Канд. техн. наук А. А. ДЗИНО, канд. техн. наук А. А. МАЛЫШЕВ,
канд. техн. наук О. С. МАЛИНИНА
holmash_malinina@mail.ru

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Использование комбинированного цикла для выработки холода и теплоты позволяют рационально использовать энергию и решать стоящие перед экономикой задачи. Рассмотрен принцип работы комбинированного термотрансформатора на альтернативных хладагентах для одновременного получения холода, теплоты системы отопления и горячего водоснабжения.

Ключевые слова: энергосбережение, комбинированный термотрансформатор, альтернативные хладагенты.

Alternative working substances for the combined thermotransformer

Ph. D. A. A. DZINO, Ph. D. A. A. MALYSHEV,
Ph. D. O. S. MALININA

holmash_malinina@mail.ru
University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Use of the combined cycle for development of cold and warmth allow to use rationally energy and to solve problems facing economy. The combined thermotransformer on alternative coolants for simultaneous receiving cold, warmth of system of heating and hot water supply.

Keywords: the energy saving, the combined thermotransformer, alternative coolants.

Одной из задач Международной академии холода является поиск направлений энергосбережения в области техники низких температур и низкопотенциальной энергетики [1]. Использование комбинированного цикла для выработки холода и теплоты позволяют рационально использовать энергию и решать стоящие перед экономической задачи.

Как известно, по обратному циклу работают следующие тепловые машины: холодильная машина, тепловой насос и машина, работающая по комбинированному циклу (комбинированный термотрансформатор [2]). Данный термотрансформатор предназначен для одновременного получения холода и теплоты. Поскольку согласование холодопроизводительности и теплопроизводительности здесь не рассматривается, за основу берется холодильная нагрузка, а тепловая компенсируется аппаратами воздушного охлаждения (если тепло вырабатывается с избытком) или установкой дополнительных нагревательных аппаратов (если теплоты недостаточно).

Комбинированный термотрансформатор (КТ) может использоваться для одновременного холодо- и теплоснабжения как малых предприятий, например, предприятий общественного питания с децентрализованной системой теплоснабжения, где требуется холод с температурой $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ для кратковременного хранения охлажденных продуктов, так и для крупнотоннажных производств, где более «жесткие» условия хранения мороженых грузов с температурой до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более высокой температурой теплоснабжения.

В качестве рабочих веществ комбинированного термотрансформатора, рассмотрены следующие хладагенты: R134a, R717, R407C, R410A и R600a, результаты сравнения свойств которых представлены в табл. 1. Как видно из табл. 1, все хладагенты озонобезопасны. Близки к бивалентности R717 и R600a, однако, их основными недостатками являются токсичность и взрывоопасность.

Для малых предприятий выбраны традиционные схема и цикл одноступенчатого комбинированного термотрансформатора с регенеративным теплообменником. В данной схеме после компрессора предусмотрен форконденсатор для организации нагрева воды в системе горячего водоснабжения. Рассчитан следующий режим работы комбинированного термотрансформатора: холодопроизводительность $Q_0 = 100\text{ кВт}$, температурный график нагрева воды для системы отопления (СО) $t_{w_1}/t_{w_2} = 43/47\text{ }^{\circ}\text{C}$, температурный график для системы горячего водоснабжения (СГВ) $t'_{w_1}/t'_{w_2} = 4/60\text{ }^{\circ}\text{C}$; температурный график по хладоносителю для потребителя холода $t_{s_1}/t_{s_2} = -3/-7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В табл. 2 представлены результаты расчетов комбинированного термотрансформатора, особенностью которых было определение процентного соотношения теплового потока перегрева, отводимого в систему горячего водоснабжения к удельному тепловому потоку конденсатора, идущего в систему отопления.

Из проведенных расчетов видно, что процентное соотношение потоков является наибольшей у R410A (34,6%), поэтому для системы горячего водоснабжения можно рекомендовать в первую очередь данный

Таблица 1

Сравнение свойств рабочих веществ [3–5]

Параметр	Рабочие вещества				
	R134a	R717	R407C	R410A	R600a
Химическая формула, состав	C ₂ H ₂ F ₄	NH ₃	R32/R125/R134a (23/25/52)	R32/R125 (50/50)	C ₄ H ₁₀
Потенциал разрушения озонового слоя ODP (относительно R11)	0	0	0	0	0
Потенциал глобального потепления GWP (относительно CO ₂)	1300	<1	1600	540 1890 2900	3
Потенциал глобального потепления (относительно R11, R12)	0,34	0	0,29 0,39	0,42	0
Взрывоопасность	невзрывоопасен	взрывоопасен	невзрывоопасен	невзрывоопасен	взрывоопасен
Горючесть	негорючий	горючий	негорючий	негорючий	горючий
Токсичность	нетоксичен	токсичен	нетоксичен	нетоксичен	токсичен

Таблица 2

**Параметры рабочих веществ одноступенчатого комбинированного
термотрансформатора с регенеративным теплообменником**

Параметры	Рабочие вещества				
	R134a	R717	R407C	R410A	R600a
Температура кипения t_0 , °C	-10	-10	-10	-10	-10
Температура конденсации t_k , °C	50	50	50	50	50
Степень повышения давления $\pi = \frac{P_k}{P_0}$	6,65	7,0	5,60	5,21	6,19
Температура пара в конце процесса сжатия t_2 , °C	75	160	89	99	63,5
Температура рабочего вещества на линии насыщения t_3 , °C	50	50	55	51	50
Отопительный коэффициент, μ	4,31	4,42	4,04	3,16	4,35
Удельный объем в рабочего вещества при всасывании в компрессор (точка I) v , м ³ /кг	0,111	0,445	0,0637	0,0505	0,367
Удельная массовая холодопроизводительность q_0 , кДж/кг	138,6	1058,3	143,0	144,2	254,1
Удельная объемная холодопроизводительность q_v , кДж/м ³	1250,4	2378,2	2244,9	2855,4	782,0
Удельный тепловой поток, отводимый в систему СО, q_k , кДж/кг	180,4	1367,9	190,0	210,8	330,0
Массовый расход рабочего вещества G_a , кг/с	0,721	0,0945	0,0699	0,0693	0,0393
Изоэнтروпная работа компрессора l_s , кДж/кг	41,8	309,6	47,0	66,6	75,9
Теплопроизводительность Q_k , кВт	130,0	129,3	132,8	146,1	129,7
Холодильный коэффициент, ε	3,31	3,42	3,04	2,16	3,35
Отопительный коэффициент, μ	4,31	4,42	4,04	3,16	4,35
Удельный тепловой поток, отводимый в систему ГВД q'_k , кДж/кг	27,5	23,4	41,0	72,9	6,19
Отношение удельного теплового потока перегрева, отводимого в систему ГВД к удельному тепловому потоку конденсатора $\Delta q'_k$, %	15,2	23,4	21,6	34,6	7,8

хладагент. Кроме того, этот хладагент обладает самой высокой удельной объемной холодопроизводительностью. Таким образом, исходя из проведенных расчетов и вышеизложенных факторов, для малых предприятий можно рекомендовать хладагент R134a и R410A.

Как было сказано выше, для крупнотоннажных производств рассматриваются более «жесткие» условия по температурам кипения и конденсации. В связи с этим фактором выбран двухступенчатый комбиниро-

ванный термотрансформатор с теплообменниками (фор-конденсатор предусмотрен после компрессора верхней ступени). Данный комбинированный термотрансформатор работает в следующем режиме: холодопроизводительность $Q_0 = 100$ кВт, температурный график нагрева воды для системы отопления $t_{w1}/t_{w2} = 63/67$ °C, температурный график для системы горячего водоснабжения $t'_{w1}/t'_{w2} = 4/70$ °C; температурный график по хладонотелу $t_{s1}/t_{s2} = -18/-22$ °C.

Таблица 3

**Параметры рабочих веществ двухступенчатого
комбинированного термотрансформатора**

Параметры	Рабочие вещества				
	R134a	R717	R407C	R410A	R600a
P_k , МПа	1,805	3,31	3,467	4,742	1,133
P_0 , МПа	0,107	0,15	0,232	0,33	0,0575
$\pi = \frac{P_k}{P_0}$	16,9	22,1	14,9	14,7	19,7
$P_m = \sqrt{P_k \cdot P_0}$	0,439	0,705	0,897	1,251	0,255
$\pi_1 = \frac{P_k}{P_m}$	4,11	4,69	3,86	3,79	4,44
$\pi_2 = \frac{P_m}{P_0}$	4,10	4,70	3,87	3,79	4,43

В табл. 3 представлены результаты сравнения свойств рассматриваемых хладагентов, из которой очевидно, что по степени повышения давления и максимально допустимому давлению конденсации в общепромышленных поршневых холодильных машинах сравнительный анализ можно проводить для R134a и R600a.

Из проведенного авторами расчета, результаты которого представлены в табл. 4, видно, что наиболее перспективным рабочим веществом для крупнотоннажных производств является R134a, несмотря на то, он не отвечает требованиям бивалентности по парниковому эффекту. Альтернативой R134a может быть R600a на тех производствах, где данное вещество является сырьем или продуктом. Однако, при работе на данном хладагенте, необходимо предусмотреть соблюдение всех правил пожарной безопасности.

Таблица 4

**Параметры рабочих веществ двухступенчатого комбинированного
термотрансформатора с теплообменниками**

Параметры	Рабочие вещества	
	R134a	R600a
Температура кипения t_0 , °C	-25	-25
Температура конденсации t_k , °C	70	70
Степень повышения давления $\pi = \frac{P_k}{P_0}$	16,9	19,7
Промежуточное давление P_m , МПа	0,439	0,255
Температура пара в конце процесса сжатия рабочего вещества в компрессоре II ступени t_4 , °C	123	105
Удельный объем рабочего вещества при всасывании в компрессор второй ступени (точка I) v , м ³ /кг	0,235	0,750
Удельная массовая холодопроизводительность q_0 , кДж/кг	159,3	311
Удельная объемная холодопроизводительность q_v , кДж/м ³	677,9	414,7
Удельный тепловой поток, отводимый в систему СО, q_k , кДж/кг	195	350
Массовый расход рабочего вещества первой ступени G_a^I , кг/с	0,628	0,321
Массовый расход рабочего вещества второй ступени G_a^{II} , кг/с	0,801	0,434
Теплопроизводительность Q_k , кВт	156,2	151,9
Изоэнтروпная мощность компрессора I ступени, кВт	22	21,6
Изоэнтропная мощность компрессора II ступени, кВт	34,1	30,47
Отопительный коэффициент, μ	2,78	2,92
Холодильный коэффициент, ε	1,78	1,92
Удельный тепловой поток, отводимый в систему СГВ q'_k , кДж/кг	68,6	77,6
Отношение удельного теплового потока перегрева, отводимого в систему ГВД к удельному тепловому потоку конденсатора $\Delta q'_k$, %	35,2	22,2

Список литературы

1. Цветков О. Б., Лаптев Ю. А. Холодильные агенты — без границ. // Вестник Международной академии холода. 2010. № 1.

2. Соколов В. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: Учеб. Пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергоиздат, 1981.

3. Бабакин Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем: Монография. — Рязань: Узорочье, — 2003.

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

5. Цветков О. Б. Холодильные агенты: Монография. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2002.