

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КРИОСФЕРЕ

УДК 624.139

О ВЫБОРЕ ХЛАДАГЕНТА
ДЛЯ СЕЗОННЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТИПА “ГЕТ”

Г.В. Аникин, К.А. Спасенникова

Институт криосферы Земли СО РАН,
625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; anikin@ikz.ru

Рассмотрена работа сезонных охлаждающих устройств типа “ГЕТ” с использованием различных хладагентов. Получен критерий работоспособности системы “ГЕТ” при использовании того или иного хладагента. Показано, что система “ГЕТ” хорошо работает, если в качестве хладагента выбирается диоксид углерода, аммиак или фреон 22, и система не работает, если в качестве хладагента выбирается хлористый метилен, ацетон, фреон 113 и метанол.

Охлаждающие устройства, хладагент, температура, давление

ABOUT CHOICE OF REFRIGERATING FLUID FOR
THE SEASONAL COOLING DEVICES OF “GET” TYPE

G.V. Anikin, K.A. Spasennikova

Earth Cryosphere Institute, SB RAS,
625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia; anikin@ikz.ru

The work of seasonal cooling devices of “GET” type using different kinds of refrigerating fluids has been examined. The criterion of working capacity of the “GET”-system using different kinds of refrigerating fluids has been obtained. It has been demonstrated that the “GET”-system will work well if such refrigerating fluids as carbon dioxide, ammonia or Freon 22 are used. The system will not work if the methylene chloride, acetone, Freon 113 and methanol are chosen.

Cooling devices, refrigerating fluid, temperature, pressure

Сезонные горизонтальные естественно-трубчатые (“ГЕТ”) охлаждающие устройства подробно описаны в работе [Долгих и др., 2008]. Блок-схема установки “ГЕТ” представлена на рисунке, а уравнения, описывающие работу системы горизонтального охлаждения грунтов, приведены в [Аникин, 2009]. Математическое моделирование данных систем с аммиаком в качестве хладагента подробно рассмотрено в [Аникин и др., 2011]. Однако вопрос о том, какие хладагенты могут быть использованы в системах подобного типа, до сих пор не исследован. Этому вопросу и посвящена настоящая статья. Как было показано в [Аникин и др., 2011], максимальная температура в испарителе системы “ГЕТ” задается выражением

$$t_{\max} = t_{\kappa} + \frac{\rho_L g H - \Delta p}{(dp_{\text{нас}}/dt)}, \quad (1)$$

где t_{κ} – температура конденсатора; ρ_L – плотность жидкого хладагента; g – ускорение свободного

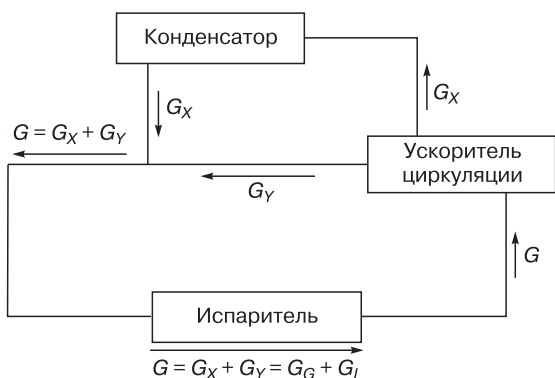
падения; H – высота подъема конденсатора над испарителем; $\frac{dp_{\text{нас}}}{dt}$ – производная от давления насыщенных паров по температуре; Δp – перепад давления, необходимый для преодоления трения на участке от конденсатора до точки испарителя, в которой температура равна t_{\max} [Аникин и др., 2011]. Компьютерное моделирование функционирования системы “ГЕТ” по методике, изложенной в [Аникин и др., 2011], показывает, что всегда выполняется условие

$$\Delta p \ll \rho_L g H, \quad (2)$$

что позволяет записать t_{\max} в следующем виде:

$$t_{\max} = t_{\kappa} + \frac{\rho_L g H}{(dp_{\text{нас}}/dt)}. \quad (3)$$

Очевидно, что для того чтобы тепло передавалось от испарителя в атмосферу, в соответствии с



Блок-схема установки “ГЕТ”.

G_x – массовый поток жидкости, вытекающий из конденсатора; G_y – массовый поток жидкости, вытекающий из ускорителя циркуляции; G_L – массовый поток жидкости; G_G – массовый поток газа.

законом Фурье должны выполняться неравенства

$$t_a < t_k < t_{max} \tag{4}$$

где t_a – температура атмосферы. Из (3) и (4) следует, что

$$t_{max} > t_a + \frac{\rho_L g H}{(dp_{нас}/dt)} \tag{5}$$

Для замораживания грунта до отрицательных температур необходимо, чтобы в любой точке испарителя температура хладагента $t_{и}$ была отрицательной, т. е. должно выполняться неравенство

$$t_{и} < t_{max} \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}. \tag{6}$$

Из соотношений (5) и (6) следует, что для работы системы “ГЕТ” необходимо выполнение условия

$$t_a < -\Delta t H, \Delta t = \frac{\rho_L g}{(dp_{нас}/dt)} \tag{7}$$

Величина $\Delta t H$, входящая в выражение (7), есть максимальная разница между температурами

Таблица 1. Значения Δt для разных хладагентов

Хладагент	$p_{нас1}, 10^5 \text{ Па}$	$p_{нас2}, 10^5 \text{ Па}$	$\rho_{L1}, \text{ кг/м}^3$	$\rho_{L2}, \text{ кг/м}^3$	$\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$
Диоксид углерода	19,7	34,9	1030	924,8	0,13
Аммиак	1,90	4,3	665,1	638,6	0,53
Фреон 22	2,46	4,98	1351	1285	1,02
Фреон 12	1,53	3,13	1457	1395	1,75
Фреон 142	0,65	1,47	1218	1170	2,85
Фреон 21	0,29	0,71	1470	1380	6,59
Фреон 11	0,16	0,40	1580	1534	12,47
Хлористый метилен	0,06	0,18	1359	1328	22,45
Ацетон	0,03	0,10	845	812	23,22
Фреон 113	0,05	0,15	1664	1626	32,93
Метанол	0,01	0,04	828,5	810,4	53,06

конденсатора и испарителя, а Δt – аналогичная величина при $H = 1 \text{ м}$. Из (7) видно, что Δt зависит только от характеристик хладагента. Для оценки влияния хладагента на работу системы “ГЕТ” заменим производную в выражении (7) на разность, получим

$$\Delta t = \frac{0,5(\rho_{L1} + \rho_{L2})g(t_2 - t_1)}{(p_{нас2} - p_{нас1})} \tag{8}$$

Здесь ρ_{L1}, ρ_{L2} – плотности жидкого хладагента при t_1 и t_2 соответственно; $p_{нас1}, p_{нас2}$ – давления насыщенных паров при температурах t_1 и t_2 . Рассчитанные по формуле (8) значения Δt при $t_1 = -20 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $t_2 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ приведены в табл. 1.

Для того чтобы проанализировать работу систем “ГЕТ” с разными хладагентами, рассмотрим температурные условия Ванкорского нефтегазового месторождения. Данные температуры воздуха по метеостанции Игарка, которые выдавались метеостанцией через каждые два часа, усреднялись ежемесячно на временном интервале от начала июня 2008 г. до конца марта 2012 г. Среднемесячные температуры воздуха в этом интервале приведены в табл. 2.

Таблица 2. Среднемесячные температуры атмосферы по метеостанции Игарка

Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$	Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$	Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$	Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$	Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$	Дата	$t_a, \text{ } ^\circ\text{C}$
06.2008	10,19	07.2008	15,51	08.2008	12,13	09.2008	7,82	10.2008	-4,19	11.2008	-18,27
12.2008	-23,80	01.2009	-23,61	02.2009	-30,48	03.2009	-20,97	04.2009	-6,82	05.2009	-3,15
06.2009	9,11	07.2009	17,41	08.2009	13,19	09.2009	7,19	10.2009	-4,65	11.2009	-22,02
12.2009	-34,55	01.2010	-29,03	02.2010	-33,88	03.2010	-16,21	04.2010	-6,97	05.2010	-1,54
06.2010	8,04	07.2010	12,97	08.2010	10,00	09.2010	2,97	10.2010	-2,93	11.2010	-20,91
12.2010	-31,66	01.2011	-24,78	02.2011	-26,59	03.2011	-11,85	04.2011	-3,37	05.2011	4,46
06.2011	13,93	07.2011	12,07	08.2011	10,98	09.2011	8,10	10.2011	-2,01	11.2011	-17,75
12.2011	-16,28	01.2012	-27,17	02.2012	-18,17	03.2012	-15,36	-	-	-	-

Таблица 3. Параметры n , m и их отношение при разных значениях H

Хладагент	$H = 2 \text{ м}$						$H = 3 \text{ м}$						$H = 1 \text{ м}$							
	n		m		n/m		n		m		n/m		n		m		n/m			
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$-2\Delta t, ^\circ\text{C}$	n	m	n/m	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$-3\Delta t, ^\circ\text{C}$	n	m	n/m	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$-\Delta t, ^\circ\text{C}$	n	m	n/m	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$-\Delta t, ^\circ\text{C}$	n	m	n/m
Диоксид углерода	0,13	-0,25	29	29	1	0,13	-0,38	29	29	1	0,13	-0,13	29	29	1	0,13	-0,13	29	29	1
Аммиак	0,53	-1,06	29	29	1	0,53	-1,60	28	29	0,97	0,53	-0,53	29	29	1	0,53	-0,53	29	29	1
Фреон 22	1,02	-2,05	27	29	0,93	1,02	-3,07	26	29	0,89	1,02	-1,02	29	29	1	1,02	-1,02	29	29	1
Фреон 12	1,75	-3,50	23	29	0,79	1,75	-5,25	22	29	0,76	1,75	-1,75	29	29	0,97	1,75	-1,75	28	29	0,97
Фреон 142	2,85	-5,70	22	29	0,76	2,85	-8,54	20	29	0,69	2,85	-2,85	29	29	0,93	2,85	-2,85	27	29	0,93
Фреон 21	6,60	-13,20	19	29	0,66	6,60	-19,80	13	29	0,45	6,60	-6,60	29	29	0,76	6,60	-6,60	22	29	0,76
Фреон 11	12,46	-24,92	7	29	0,24	12,46	-37,38	0	29	0	12,46	-12,46	29	29	0,66	12,46	-12,46	19	29	0,66
Хлористый метилен	22,44	-44,88	0	29	0	22,44	-67,32	0	29	0	22,44	-22,44	29	29	0,38	22,44	-22,44	11	29	0,38
Ацетон	23,22	-46,44	0	29	0	23,22	-69,66	0	29	0	23,22	-23,22	29	29	0,34	23,22	-23,22	10	29	0,34
Фреон 113	32,94	-65,88	0	29	0	32,94	-98,82	0	29	0	32,94	-32,94	29	29	0,07	32,94	-32,94	2	29	0,07
Метанол	53,06	-106,12	0	29	0	53,06	-159,18	0	29	0	53,06	-53,06	29	29	0	53,06	-53,06	0	29	0

Примечание. n – количество месяцев, в которых выполнялось условие (7); m – количество месяцев, когда температура атмосферы была отрицательной.

Вычислим для каждого хладагента количество месяцев в рассматриваемом временном интервале, в каждом из которых выполнялось условие (7), и обозначим это число через n . Полное число месяцев, в каждом из которых температура была отрицательной в данном периоде, обозначим через m . Полученные величины приведены в табл. 3 при высоте подъема конденсатора над испарителем $H = 2, 3$ и 1 м.

Как видно из табл. 3, хладагентами, обеспечивающими работу систем "ГЕТ" в течение большей части зимнего периода, являются диоксид углерода, аммиак и фреон 22; хладагентами, на которых система вообще не работает, являются хлористый метилен, ацетон, фреон 113 и метанол; остальные хладагенты относятся к промежуточному классу. В статье [Горелик, Горелик, 2011], однако, было установлено, что система с горизонтальным испарителем может работать на ацетоне. Противоречие между результатами настоящей статьи и выводами [Горелик, Горелик, 2011] на самом деле кажущееся, поскольку работоспособность системы зависит от высоты расположения конденсатора над испарителем. Так, если высота расположения конденсатора над испарителем составляет 1 м, то, как следует из данных табл. 3, система работает на ацетоне примерно третью часть зимнего периода. Однако такой случай в практике не встречается, поскольку трубы испарителя, как правило, расположены на глубине 1 м под поверхностью, а конденсатор должен быть расположен над уровнем поверхности на высоте не менее $1,5$ м, иначе он может быть занесен снегом. Таким образом, величина H не может быть менее $2,5$ м (в реально построенных системах H находится в диапазоне от $2,5$ до 6 м).

Литература

- Аникин Г.В. Компьютерное моделирование работы систем горизонтального охлаждения грунтов. М., 2009. Деп. в ВИНТИ 30.10.2009, № 674-В2009.
- Аникин Г.В., Плотников С.Н., Спасенникова К.А. Компьютерное моделирование теплопереноса в системах горизонтального охлаждения грунтов // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 1, с. 33–39.
- Горелик Я.Б., Горелик Р.Я. Лабораторное исследование работы двухфазного естественно-конвективного охлаждающего устройства с горизонтальной испарительной частью // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 2, с. 34–43.
- Долгих Г.М., Окунев С.Н., Поденко Л.С., Феклисов В.Н. Надежность, эффективность и управляемость систем температурной стабилизации вечномерзлых грунтов оснований зданий и сооружений // Междунар. конф. "Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения". Тюмень, 2008, с. 34–39.

Поступила в редакцию
20 мая 2012 г.