

УДК 621.574.013.–932.2

## Анализ COP термодинамического цикла АБХМ с двухступенчатой абсорбцией при получении отрицательных температур охлаждения

К. И. СТЕПАНОВ<sup>1</sup>, Д. Г. МУХИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>stepanov\_ki@mail.ru, <sup>2</sup>mdg200479@yandex.ru

*Институт теплофизики СО РАН им С. С. Кутателадзе  
630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1*

Д-р техн. наук **О. В. ВОЛКОВА**<sup>3</sup>, д-р техн. наук **А. В. БАРАНЕНКО**<sup>4</sup>

<sup>3</sup>v-olga.v@mail.ru, <sup>4</sup>baranenko@mail.ifmo.ru

*Университет ИТМО*

*191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ) предназначены для охлаждения воды и других жидкостей до температуры не ниже  $3 \div 5$  °С. Это связано с тем, что при дальнейшем охлаждении возникает вероятность замерзания хладагента, которым является вода, а также с тем, что снижается эффективность использования АБХМ. Тем не менее, задача получения холода более низких температур в АБХМ при использовании ВЭР является весьма привлекательной. В данной работе предложена конструктивная схема для АБХМ, генерирующих холод в отрицательном диапазоне температур. Разработана методика оценки энергетической эффективности цикла АБХМ с двухступенчатой абсорбцией. Показано, что значение теплового коэффициента АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и одноступенчатой регенерацией раствора составляет от 0,360 до 0,393 в зависимости от температур греющего источника и охлаждаемой жидкости.*

**Ключевые слова:** абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина (АБХМ), бромид лития, двухступенчатая абсорбция, тепловой коэффициент.

### Информация о статье

Поступила в редакцию 11.01.2016, принята к печати 29.01.2016

doi: 10.21047/1606-4313-2016-16-1-86-92

### Ссылка для цитирования

*Степанов К. И., Мухин Д. Г., Волкова О. В., Бараненко А. В. Анализ COP термодинамического цикла АБХМ с двухступенчатой абсорбцией при получении отрицательных температур охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 86–92.*

## Analysis of COP thermodynamic cycle LBAC with two-level absorption when obtaining negative temperatures of cooling

K. I. STEPANOV<sup>1</sup>, D. G. MUKHIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>stepanov\_ki@mail.ru, <sup>2</sup>mdg200479@yandex.ru

*Kutateladze institute of thermophysics siberian branch of the russian academy of science  
630090, Russia, Novosibirsk, Academician Lavrentyev Avenue, 1*

D. Sc. **O. V. VOLKOVA**<sup>3</sup>, D. Sc. **A. V. BARANENKO**<sup>4</sup>

<sup>3</sup>v-olga.v@mail.ru, <sup>4</sup>baranenko@mail.ifmo.ru

*ITMO University*

*191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*Lithium bromide absorption chillers (LBAC) are intended for cooling water and other liquids up to a temperatures not lower than  $3 \div 5$  °C. This is due to the fact that upon deeper cooling the possibility of refrigerant (water) freezing. Furthermore COP of LBAC are also reduced. Nevertheless, in LBAC, goal of the generation of cooling up to more lower temperature with the RES utilizing is very attractive. In this paper the principal scheme of LBAC generating with the negative-temperature cooling are proposed. A method for evaluating the COP of the LBAC with double stage absorption has been suggested. It is shown that the value of COP of the single-effect LBAC with two-stage absorption is varied from 0.367 to 0.407 depending on the boundary conditions: temperatures of heat source and freezing liquid.*

**Keywords:** lithium bromide absorption chiller (LBAC), energy saving, lithium bromide, double-stage absorption, COP.

Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ) широко используют в металлургической, химической, нефтеперерабатывающей, пищевой промышленности, а так же в промышленном и гражданском кондиционировании [1].

Область применения АБХМ — получение холода положительных температур (от 3 °С и выше) [1, 2]. Это обусловлено тем, что в качестве хладагента в АБХМ применяется вода, и получение более низких температур невозможно из-за опасности ее замерзания. Тем не менее, во многих промышленных приложениях существует потребность в более низких температурах охлаждения, в т. ч. и отрицательных [3–6]. Эти температуры охлаждения обеспечивают парокompрессионные холодильные машины (ПКХМ), использующие в качестве хладагентов фреоны и аммиак.

Однако, повышенные требования к экологической безопасности холодильного оборудования, существующий дефицит электрических мощностей, и, как следствие, высокая стоимость технологического присоединения к ним, ограничивают в ряде случаев использование ПКХМ.

В настоящее время за рубежом разработаны АБХМ, позволяющие получать холод отрицательных температур.

В работах японских ученых [7] исследованы температура кристаллизации и давление насыщенных водяных паров раствора бромида лития с массовой концентрацией до 30%.

В статье [8] приведены основные технические характеристики низкотемпературных АБХМ производства «Hitachi Appliances, Inc.». В частности указано, что хладагентом является слабоконцентрированный раствор бромида лития. Номинальная температура охлажденной жидкости –5 °С при температуре испарения –10 °С. Температура охлаждающей (оборотной) воды на входе в АБХМ 32 °С. Холодопроизводительность таких машин колеблется в диапазоне от 176 до 965 кВт.

Индийская компания «Thegmax» также выпускает АБХМ с температурами охлажденной жидкости на выходе –5 °С [9]. К сожалению, в источнике отсутствует научно-техническая информация о способе получения заданных температур.

В 80-х годах прошлого века в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности были проведены теоретические и экспериментальные работы по созданию АБХМ с отрицательными температурами испарения [10]. Для предотвращения замерзания хладагента в него был добавлен раствор бромида лития. При массовой концентрации раствора 4÷7% удалось достигнуть температуры кипения хладагента в испарителе –3 °С. Температура охлажденной жидкости была около 0 °С. Однако результаты исследования практической реализации не получили.

Обладая рядом положительных потребительских свойств, такими как незначительное потребление электроэнергии, отсутствие опасных рабочих веществ, пожаро- и взрывобезопасность, использование вторичных энергоресурсов или нетрадиционных и (или) возобновляемых источников тепловой энергии, например солнечной [11–18], низкий уровень шума при работе, АБХМ являются энергосберегающим, экологически безопасным

оборудованием. Создание отечественных АБХМ для получения холода отрицательных температур является актуальной научно-технической задачей и позволит значительно расширить области их применения.

В Институте теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН было проведено экспериментальное исследование получения холода отрицательных температур на натурном стенде, моделирующем АБХМ с одноступенчатой регенерацией раствора и паровым обогревом генератора. На основании анализа литературных данных в качестве хладагента для получения отрицательных температур охлаждения был выбран раствор бромида лития. Температура замерзания раствора бромида лития в широком диапазоне концентраций определена в работе [7]. В качестве охлаждаемой жидкости использовали 25%-й водный раствор пропиленгликоля. В ходе проведения исследований она охлаждалась до –4 °С при температуре охлаждающей воды 15÷16 °С [19].

Номинальная температура охлажденной жидкости составляет 7 °С, как универсальное значение для проектирования систем центрального кондиционирования в гражданском строительстве и системах технологического охлаждения в промышленности. В зависимости от технологии, в которой применяется АБХМ, температура охлажденной жидкости может колебаться в пределах  $t_s = 3\div 20$  °С.

Термодинамические свойства воды и раствора бромида лития таковы, что для обеспечения оптимального процесса абсорбции перепад температур ( $\Delta t_{ws}$ ) между охлажденной и охлаждающей жидкостью не должен превышать  $\Delta t_{ws} = t_w - t_s = 25$  °С. Повышение значения  $\Delta t_{ws}$  приводит к снижению интенсивности абсорбции в АБХМ, что ведет к снижению эффективности АБХМ в целом. При  $\Delta t_{ws} \geq 30$  °С процесс абсорбции в АБХМ практически прекращается.

Это объясняется тем, что раствор абсорбента имеет ограниченную растворимость, а соответственно и минимально возможное парциальное давление водяных паров над раствором. Предельной концентрацией слабого раствора при работе АБХМ является значение концентрации (масс.) 59÷60%. В связи с этим, минимально достижимой температурой испарения является величина, лежащая в диапазоне от –1 до –5 °С, в зависимости от удельных тепловых потоков, заложенных в проект испарителя и абсорбера АБХМ.

Для получения температур охлаждения  $t_{s2} \leq 3$  °С при реальных значениях температуры охлаждающей воды  $t_{w1} > 26$  °С требуется применение незамерзающих хладагентов и внешних хладоносителей, а при  $t_{s2} < 0$  °С — еще и реализация цикла с двухступенчатой абсорбцией.

Главным показателем энергетической эффективности АБХМ является тепловой коэффициент (за рубежом: COP — coefficient of performance), который показывает какое количество тепла требуется затратить для получения единицы холода заданных температурных параметров

$$\eta = \frac{Q_0}{Q_h}, \quad (1)$$

где  $Q_0$  — холодопроизводительность, Вт;  $Q_h$  — мощность, подводимая к генератору АБХМ, Вт.

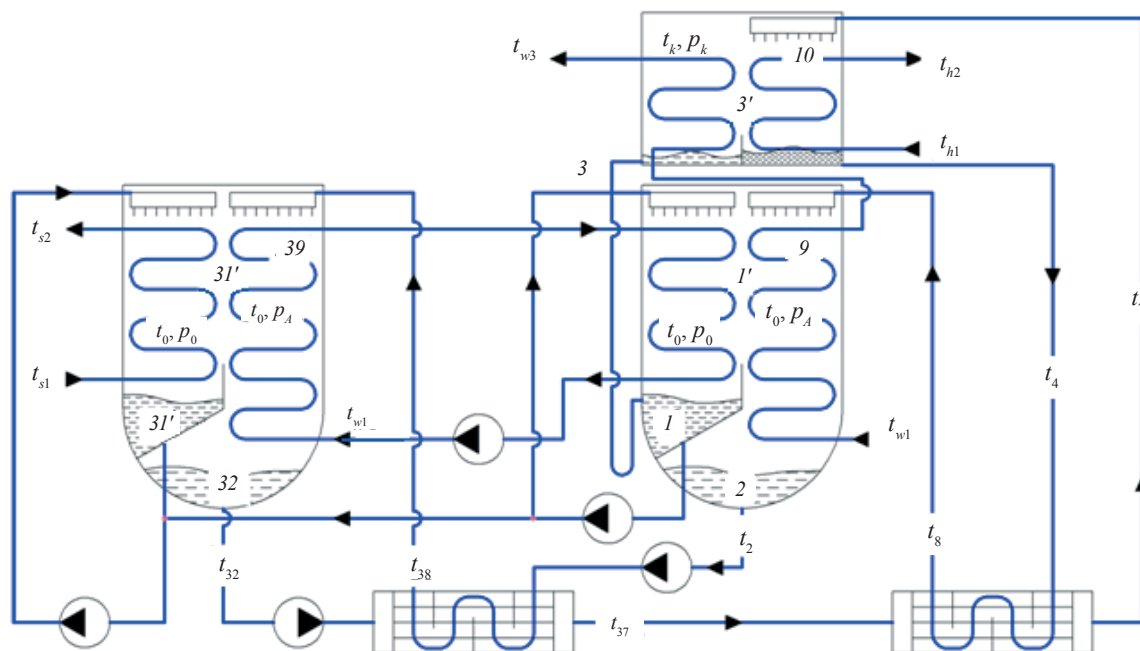


Рис. 1. Принципиальная схема АБХМ с двухступенчатой абсорбцией, водяным обогревом и одноступенчатой регенерацией раствора

Значение данной величины колеблется в широких пределах в зависимости от кратности (количества ступеней) регенерации раствора, качества работы теплообменного оборудования АБХМ и соотношения параметров внешних теплоносителей. Оценка значения COP для АБХМ с двухступенчатой абсорбцией требуется для определения целесообразности применения машин такого типа в тех или иных производственных процессах. Предлагаемая схема АБХМ с двухступенчатой абсорбцией показана на рис. 1.

На рис. 2 показана диаграмма Дюринга [20] для АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и одноступен-

чатой регенерацией раствора. В этом цикле происходят следующие процессы: Линия 31–32 — пленочное кипение хладагента (раствор LiBr малой концентрации) в испарителе 1-й ступени, сопровождающееся изменением его концентрации (Линия 31–23) и испарением водяного пара. Линия 32–39 — абсорбция водяных паров водным раствором LiBr в абсорбере 1-й ступени. Линия 32–37 — нагрев разбавленного (слабого) раствора LiBr (в абсорбере 1-й ступени) в рекуперативном теплообменнике 1-й ступени и рекуперативном теплообменнике 2-й ступени — Линия 37–7. Линия 7–10 — нагрев разбавленного раствора LiBr

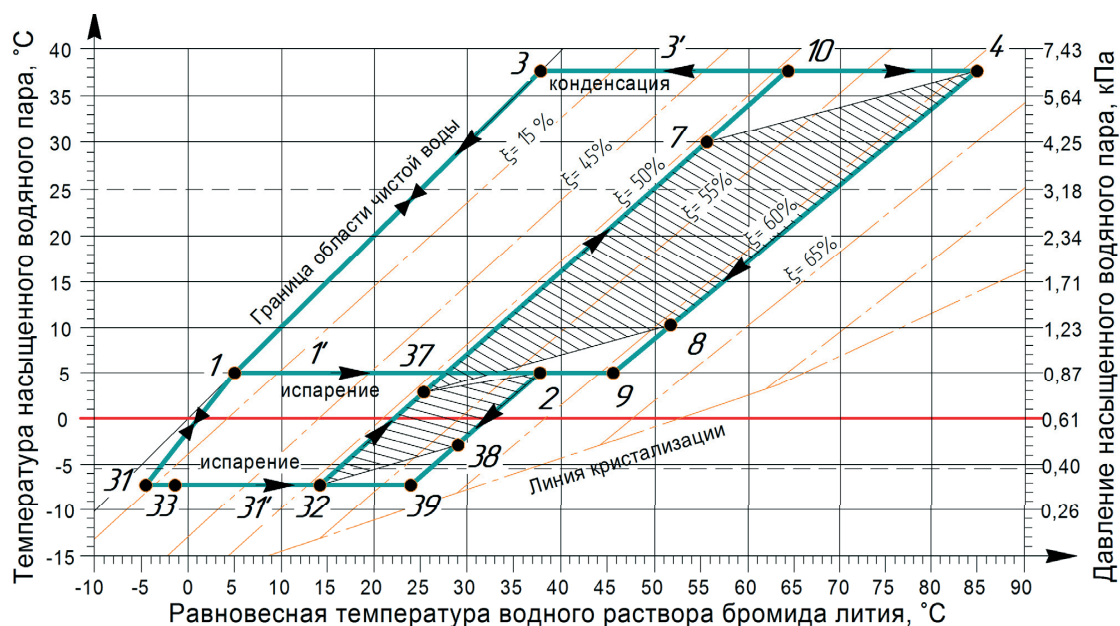


Рис. 2. АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и одноступенчатой регенерацией раствора

в генераторе до равновесной температуры начала кипения. Линия 10–4 — десорбция разбавленного раствора LiBr и восстановление его поглощающей способности. Линия 4–8 — охлаждение концентрированного (крепкого) раствора LiBr в рекуперативном теплообменнике 2-й ступени. Линия 8–9 — охлаждение концентрированного раствора в абсорбере 2-й ступени до равновесной температуры начала абсорбции. Линия 9–2 — абсорбция концентрированным раствором LiBr водяных паров из испарителя 2-й ступени в абсорбере 2-й ступени, разбавление крепкого раствора до промежуточной (средней) концентрации. Линия 1–2 — пленочное кипение хладагента (вода) при постоянной положительной температуре в испарителе 2-й ступени. Линия 2–38 — охлаждение раствора LiBr средней концентрации в рекуперативном теплообменнике 1-й ступени. Линия 38–39 — охлаждение раствора средней концентрации до равновесной температуры начала абсорбции в абсорбере 1-й ступени. Линия 10–3 — конденсация перегретого водяного пара при постоянной температуре в конденсаторе. Линия 3–1 — дросселирование хладагента (вода) при входе в испаритель 2-й ступени. Линия 1–31 — дросселирование хладагента (вода) при входе в испаритель 1-й ступени и смешивание с хладагентом — слабоконцентрированным раствором LiBr. Таким образом, цикл замыкается, процесс повторяется заново.

Кратность циркуляции раствора

$$a = \frac{\xi_r}{\xi_r - \xi_a} = \frac{\xi_r}{\Delta\xi}, \quad (2)$$

где  $\xi_r$  — массовая концентрация крепкого раствора на выходе из генератора, %;

$\xi_a$  — массовая концентрация слабого раствора на выходе из абсорбера 1-й ступени, %;

$\Delta\xi$  — зона дегазации раствора, %.

Тепловой поток в испарителе 1-й ступени, кДж/кг

$$q_{01} = (h'_{31} - h_1)(1 - \omega), \quad (3)$$

где  $h'_{31}$  — энтальпия паровой фазы на выходе из испарителя 1-й ступени, кДж/кг;

$h_1$  — энтальпия жидкой фазы на выходе из испарителя второй ступени, кДж/кг;

$\omega$  — доля хладагента, циркулирующего через испаритель 2-й ступени, определяется из тепловых балансов испарителя и абсорбера 1-й ступени, а также испарителя 2-й ступени.

Хладагент, сконденсированный в конденсаторе, распределяется между испарителями первой и второй ступеней в соотношении, которое пропорционально нагрузке каждого из теплообменных аппаратов

$$\omega \cong \frac{q_{02}}{q_{01} + q_{02}}. \quad (4)$$

Концентрация промежуточного раствора

$$\xi_{\text{пр}} = \frac{(a-1)\xi_{\text{кр}}}{(a-1+\omega)}. \quad (5)$$

Тепловой поток в конденсаторе, кДж/кг

$$q_k = h'_3 - h_3. \quad (6)$$

Тепловой поток в абсорбере первой ступени, кДж/кг

$$q_{a1} = h'_{31}(1 - \omega) + (a - 1 + \omega)h_{38} - a \cdot h_{32}. \quad (7)$$

Тепловой поток в испарителе второй ступени тождественен  $q_{a1}$

$$q_{02} = h'_1\omega - h_3 + h_1(1 - \omega) \equiv q_{a1}. \quad (8)$$

Тепловой поток в абсорбере второй ступени, кДж/кг

$$q_{a2} = h'_1\omega + (a - 1)h_8 - (a - 1 + \omega)h_2. \quad (9)$$

Тепловой поток в растворных рекуперативных теплообменниках, кДж/кг

$$q_{t1} = a(h_7 - h_{37}) = (a - 1)(h_4 - h_8); \quad (10)$$

$$q_{t2} = a(h_{37} - h_{32}) = (a - 1 + \omega)(h_2 - h_{38}). \quad (11)$$

Массовый расход хладагента в цикле, кг/с

$$D = \frac{Q_0}{q_{01}}. \quad (12)$$

Массовый расход соответственно слабого, промежуточного и крепкого раствора в цикле

$$G_{\text{сл}} = D \cdot a; \quad G_{\text{пр}} = D(a - 1 + \omega); \quad G_{\text{кр}} = D(a - 1). \quad (13)$$

Пренебрегая работой циркуляционных растворных насосов, уравнение теплового баланса АБХМ с двухступенчатой абсорбцией можно записать в виде

$$q_{01} + q_h = q_{a2} + q_k. \quad (14)$$

Тепловой поток в генераторе, кДж/кг

$$q_h = h'_3 + a(h_4 - h_7) - h_4 = q_{a2} + q_k - q_{01}. \quad (15)$$

Оценка численного значения основных параметров цикла с двухступенчатой абсорбцией и одноступенчатой регенерацией раствора (см. рис. 1) для разных граничных условий (табл. 1) приведена в табл. 2 и показана на рис. 3.

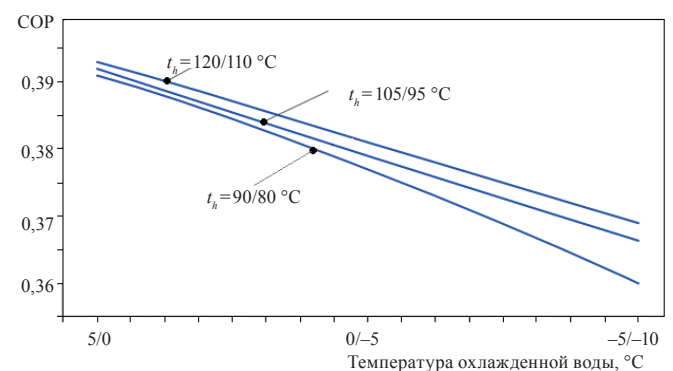


Рис. 3. Зависимость теплового коэффициента АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и одноступенчатой регенерацией раствора от параметров внешних теплоносителей



Таблица 1

## Исходные данные для расчета

Наименование (обозначение)	Значение								
	5/0	0/-5	-5/-10	+5/0	0/-5	-5/-10	5/0	0/-5	-5/-10
Температура охлаждаемой жидкости вход/выход ( $t_{s1}/t_{s2}$ ), °C	5/0	0/-5	-5/-10	+5/0	0/-5	-5/-10	5/0	0/-5	-5/-10
Температура охлаждающей жидкости вход/выход ( $t_{w1}/t_{w3}$ ), °C	27/34								
Температура греющей среды вход/выход ( $t_{h1}/t_{h2}$ ), °C	90/80			105/95			120/110		
Недонасыщение в абсорбере 1-й и 2-й ступеней, %	1,0								
Недовыпаривание в генераторе, %	0,5								
Температурный напор на «холодном» конце абсорберов 1-й и 2-й ступеней (мин.), °C	6,0								
Температурный напор на «горячем» конце конденсатора, °C	2,0								
Температурный напор на «холодном» конце испарителя 1-й ступени, °C	1,0								
Температурный напор на «холодном» конце испарителя 2-й ступени, °C	2,0								
Разность температур на холодном конце теплообменника 1-й ступени (мин.), °C	5,0								
Разность температур на холодном конце теплообменника 2-й ступени (мин.), °C	10,0								

Таблица 2

## Результаты расчета

Наименование (обозначение)	Значение								
	49,0	51,2	53,5	48,5	51,0	53,0	47,8	50,0	52,5
Концентрация слабого раствора действ., %	49,0	51,2	53,5	48,5	51,0	53,0	47,8	50,0	52,5
Концентрация промежут. раствора действ., %	53,5	54,8	56,2	53,9	55,4	56,6	54,4	55,8	57,4
Концентрация крепкого раствора действ., %	60,0			62,0			65,0		
Зона дегазации $\Delta\xi$ , %	11	8,8	6,5	13,5	11	9,0	17,2	15,0	12,5
Кратность циркуляции $a$	5,46	6,82	9,23	4,59	5,64	6,89	3,78	4,33	5,2
Температура испарения $t_{01}$ , °C	-2,0	-7,0	-12,0	-2,0	-7,0	-12,0	-2,0	-7,0	-12,0
Температура промежуточного раствора на входе в абсорбер 1-й ступени $t_{38}$ , °C	20,2	17,8	15,8	19,5	17,5	15,0	18,6	16,0	14,2
Температура слабого раствора $t_{32}$ , °C	15,2	12,8	10,8	14,5	12,5	10,0	13,6	11,0	9,2
Температура испарения $t_{02}$ , °C	8,0	5,6	3,7	7,3	4,5	2,6	6,5	4,0	1,7
Температура крепкого раствора на входе в абсорбер 2-й ступени $t_{8}$ , °C	38,4	38	38,3	38,3	38,4	38,1	36,3	38	38,3
Температура промежуточного раствора на выходе из абсорбера 2-й ступени $t_{2}$ , °C	34,4	33	33,3	33,3	33,4	33,1	33,3	33	33,3
Температура крепкого раствора на выходе из генератора $t_{4}$ , °C	81,4			86			93,2		
Температура конденсации $t_k$ , °C	36								
Удельная массовая холодопроизводительность испарителя 1-й ступени, кДж/кг	1123	1106	1083	1127	1111	1095	1132	1119	1101
Удельная массовая холодопроизводительность испарителя 2-й ступени, кДж/кг	1232	1244	1263	1226	1238	1250	1221	1230	1240
Удельная тепловая нагрузка абсорбера 2-й ступени, кДж/кг	1493	1535	1591	1494	1532	1570	1489	1528	1564
Удельная тепловая нагрузка конденсатора, кДж/кг	2502			2511			2524		
Удельная тепловая нагрузка генератора, кДж/кг	2873	2932	3010	2878	2932	2986	2881	2934	2984
Коэффициент $\omega$	0,544	0,552	0,562	0,543	0,550	0,557	0,542	0,548	0,555
Тепловой коэффициент действительного цикла	0,391	0,377	0,360	0,392	0,379	0,367	0,393	0,381	0,369

### Заключение

Достижимый теоретический тепловой коэффициент АБХМ с двухступенчатой абсорбцией и одноступенчатой регенерацией раствора составляет от 0,360 до 0,393 для стандартных условий.

Следует отметить, что отрицательные температуры кипения в АБХМ проходят и в цикле с одноступенчатой абсорбцией, в диапазоне концентраций раствора 60–64%. Однако предельно достижимой температурой испарения является значение  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температуре греющего источника не менее  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Цикл с двухступенчатой абсорбцией при относительно низкой эффективности позволяет получить отрицательные температуры охлаждения более низких температур, при использовании греющего источника более низкого потенциала, что является приемлемым при использовании ВЭР в качестве греющего источника.

В качестве источника энергии для работы АБХМ может быть применен пар с давлением  $\geq 0,1$  МПа и горячая вода с температурой от  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше.

Справедливо утверждать, что повышение эффективности цикла с двухступенчатой абсорбцией возможно за счет:

— уменьшения кратности циркуляции и соответствующего увеличения зоны дегазации раствора в цикле. Уменьшение кратности циркуляции возможно за счет повышения потенциала греющего источника (например, пар  $p = 0,17$  МПа или горячая вода с температурным режимом  $115/105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) с повышением концентрации крепкого раствора;

— использованием высокопотенциального греющего источника, позволяющего применять двух- и трехступенчатую регенерацию раствора [21];

— интенсификации теплообмена и снижения необратимых потерь в аппаратах АБПТ.

Цикл с двухступенчатой абсорбцией может быть использован и в тепловых насосах абсорбционного типа (АБТН), что позволит увеличить область их применения за счет увеличения  $\Delta t_{\text{вс}}$  — разницы температуры низкопотенциального теплоносителя и температуры нагреваемой воды на входе в АБТН.

Дальнейшее развитие работ по данной тематике заключается в проведении экспериментальных исследований по получению холода отрицательных температур в АБХМ с двухступенчатой абсорбцией.

### Список литературы (References)

1. Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. В., Попов А. В. Абсорбционные преобразователи теплоты. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. [Baranenko A. V., Timofeevsky L. S., Dolotov A. V., Popov A. V. Absorbing converters of warmth. St. Petersburg, 2005. (in Russian)]
2. Absorption chillers and heat pumps / Herold E. K., Radermacher R., Klein S. A. — CRS Press, 1996.
3. Kakaras E., Doukelis A., Karellas S., Compressor intake-air cooling in gas turbine plants. *Energy*. 2004. Vol. 29. No. 12–15. P. 2347–2358.

4. Авилова С. В., Грызунов А. А., Помазкина Н. В. Хранение ягод садовой земляники и черной смородины при близкриоскопических температурах // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. Материалы МНПК. 2011. С. 17–21. [Avilova S. V., Gryzunov A. A., Pomazkina N. V. Storage of berries of garden wild strawberry and blackcurrant at the blizkrioskopicheskikh temperatures//Innovative food technologies in the field of storage and processing of agricultural raw materials. Conference materials. 2011. P. 17–21. (in Russian)]
5. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. пер. с нем. А. А. Куреленкова. СПб.: Профессия, 2007. [Nartsiss L. Short course of brewing. translation from German A. A. Kurelenkova. SPb, Professiya, 2007. (in Russian)]
6. Petchers N., Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies and Applications, An Integrated Approach to Energy Resource Optimisation. Fairmont Press, Lilburn, GA. 2003.
7. Hisajima D., Kawamura H., Oouchi T., Determination of Thermal Properties of Dilute LiBr-Water Solutions. *Int. J. of Thermophysics*. 1997. Vol. 18, No. 2. P. 397–406.
8. Uchida S., Nishiguchi A., Low temperature absorption refrigeration machine with water-LiBr mixed refrigerant. *Int. J. Refrigeration*, 2006. vol. 81, No. 946. P. 618–621.
9. Преимущества продукции Thermax. [Интернет-ресурс]. [Advantages of production of Thermax. [Internet resource] <http://abxm-thermax.ru/primenenie/preimushhestva-produkcii-thermax>. (in Russian)]
10. Дзино А. А. Эффективность процесса кипения водного раствора бромистого лития низкой концентрации в испарителе АБХМ. Труды XII научно-технической конференции ЛТИХП — М.: ВИНТИ. 1983. № 2. [Dzino A. A. Efficiency of process of boiling of water solution of bromic lithium of low concentration in the ABHM evaporator. Works XII of the LTIHP scientific and technical conference. — Moscow. 1983. No 2. (in Russian)]
11. Florides G. A., Kalogirou S. A., Tassou S. A., Wrobel L. C., Modeling and simulation of absorption solar cooling system for Cyprus. *Solar Energy*, 2002. Vol. 72 (1). P. 43–51.
12. Balghouthi M., Chahbani M. H., Guizani A., Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia. *Building and Environment*. 2008. Vol. 43 (9) p. 1459–1470.
13. Papadopoulos A. M., Oxizidis S., Kyriakis N., Perspectives of solar cooling in view of the developments in the air-conditioning sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2003. Vol. 7 (5). P. 419–438.
14. Mamounis K., Dimoudi A. Solar cooling potential in tourist complexes in the North Aegean, in: Proceedings of Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, International Conference, Santorini, Greece, 2005, p. 669–675.
15. Sofrata H., Khoshaim B., Nasser A., Megahed M. A solar-powered LiBr dual cycle. *Applied Energy*. 1981. Vol. 9 (3), p. 185–191.
16. Alizadeh S., Bahar F., Geoola F., Design and optimisation of an absorption refrigeration system operated by solar energy. *Solar Energy*. 1979. Vol. 22 (2), p. 149–154.
17. Mansoori G. A., Patel V., Thermodynamic basis for the choice of working fluids for solar absorption cooling systems. *Solar Energy*, 1979. Vol.22 (6), p. 483–491.

18. Marcos J. D., Izquierdo M., Palacios E., New method for COP optimization in water- and air-cooled single and double effect LiBr/water absorption machines. *Int. J. Refrigeration*, 2011, 34:1348–59.
19. Степанов К. И., Мухин Д. Г., Алексеенко С. В., Волкова О. В. Экспериментальное исследование получения отрицательных температур в абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах // Теплофизика и аэромеханика. 2015. № 22 (4). С. 501–510. [Stepanov K. I., Mukhin D. G., Alekseenko S. V., Volkova O. V. A pilot study of obtaining negative temperatures in absorbing the bromistolitiyevykh refrigerators. *Thermophysics and aeromechanics*. 2015. No. 22 (4). P. 501–510. (in Russian)]
20. ASHRAE, Handbook of Fundamentals. Atlanta, 1997.
21. Ziegler F., Kahn R., Summerer F., Alefeld G. Multi-effect absorption chillers. *Int. J. Refrigeration*, 1993. Vol. 16. P. 301–311.

Международные специализированные выставки



**ПИЩЕВАЯ ИНДУСТРИЯ**



**ПРОДМАШ.ХОЛОД.УПАК**

**7-11 июня 2016**

Место проведения:

Республика Беларусь, Минск



**ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**



**ХОЛОД И ВЕНТИЛЯЦИЯ**



**ИНТЕРПАК**



**ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ**



**ТОРГОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

**Выставки пройдут в рамках  
БЕЛУРУССКОЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ НЕДЕЛИ**

**В рамках выставки пройдет конкурс**



**"ЧЕМПИОН ВКУСА"**

организатор:



**МИНСКЭКСПО**

тел. (+375 17) 226 91 96  
факс (+375 17) 226 91 92  
E-mail: belproduct@telecom.by

При поддержке и участии:

Министерства сельского хозяйства и  
продовольствия Республики Беларусь  
Концерна "Белгоспищепром"

Генеральные  
информационные  
партнеры:

