

УДК 621.574.013-932.2

Экспериментальное исследование получения отрицательных температур в абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах

К.И. Степанов¹, Д.Г. Мухин¹, С.В. Алексеенко¹, О.В. Волкова²

¹*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск*

²*НИУ ИТМО, Институт холода и биотехнологий, Санкт-Петербург*

E-mail: stepanov_ki@mail.ru

Разработан способ и представлены экспериментальные данные по получению отрицательных температур испарения в теплоиспользующих абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах. Установлено, что достижимой температурой охлажденной среды является значение $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина, хладагент, бромид лития, коэффициент трансформации тепла, холод низких температур.

Введение

Абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины (АБХМ) традиционно используются для охлаждения воды и других жидкостей до температур, как правило, не ниже $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1, 2]. Это обусловлено тем, что в качестве хладагента используется вода, и охлаждение до более низких температур вызывает опасность обмерзания наружной поверхности трубного пучка испарителя. Однако в некоторых технических приложениях существует потребность достижения и более низких температур: близкриоскопических (выше точки замерзания приблизительно на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и отрицательных (ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это актуально для:

- охлаждения воздуха на входе в компрессоры газовых турбин в энергетике и технологиях транспортировки природного газа [3, 4];
- охлаждения пищевых продуктов, фруктов и ягод с последующим их хранением [5];
- охлаждения в молочном производстве [6] и производстве пива [7, 8].

На сегодняшний день существуют два основных способа получения холода отрицательных температур:

- охлаждение на основе парокомпрессионных холодильных машин (ПКХМ), работающих на различных фреонах;
- охлаждение на основе водоаммиачных холодильных машин (ВАХМ): парокомпрессионных и абсорбционных.

Повышение тарифов на электроэнергию, ограничение применения многих хладонов (фреонов) в соответствии с Монреальским и Киотским протоколами ввиду их опасности для окружающей среды, а также токсичность аммиака ограничивают применение

указанных типов машин. Эти ограничения не затрагивают АБХМ ввиду того, что данный тип машин работает благодаря тепловой, а не электрической энергии. Кроме того, в качестве абсорбента используется нелетучий водный раствор LiBr. Потребляемое тепло может быть сбросным или вторичным, что является важным экономическим аспектом при использовании таких машин.

Анализ литературы указывает на практическую возможность получения отрицательных температур кипения хладагента, которым является вода с добавлением соли LiBr. Так, в работе [9] проведено теоретическое и экспериментальное исследование процесса кипения рабочего вещества (хладагента) в испарителе АБХМ при отрицательных температурах. В качестве хладагента использовался водный раствор бромида лития с концентрацией 4–7 %, что позволило достигнуть температуры кипения хладагента в испарителе $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре охлаждаемой жидкости около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсорбер охлаждался водой с температурой $24\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура греющего источника составляла $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

В работе [10] исследовались температура замерзания хладагента, представляющего собой водный раствор бромида лития массовой концентрацией до 30 %, и давление водяного пара над ним. В статье [11] приведены данные по АБХМ мощностью от 176 до 965 кВт по холоду производства «Hitachi Appliances, Inc.» и результаты их промышленного применения, однако отсутствует информация о процессах, протекающих в основных аппаратах АБХМ, в частности в испарителе, при получении отрицательных температур.

На основании анализа и обобщения способов получения отрицательных температур охлаждения в АБХМ [9–11] было выявлено, что требуемый результат достигается при добавлении соли LiBr в хладагент, которым является вода. Это необходимо для того, чтобы создать температурную депрессию, исключаящую замерзание хладагента при температурах вплоть до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12]. Соль LiBr была выбрана в качестве добавки по той причине, что она же используется в качестве абсорбента, и при смешении абсорбента и хладагента не происходит химического взаимодействия двух сред. Температура замерзания раствора LiBr при различных концентрациях достаточно достоверно была определена в работе [10].

В качестве охлаждаемого теплоносителя в работах [13, 14] был предложен водный раствор пропиленгликоля как доступный нетоксичный антифриз с достаточно хорошо изученными теплофизическими свойствами при различных концентрациях и температурах. Концентрация раствора пропиленгликоля при испытаниях составляла 25 %, что соответствует температуре замерзания $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве охлаждающего теплоносителя использовалась вода.

Задача экспериментального изучения процессов тепломассопереноса применительно к условиям, актуальным для АБХМ в режиме получения отрицательных температур, остается важной ввиду недостаточного количества литературных данных, необходимых для разработки низкотемпературных АБХМ.

Экспериментальная установка

Эксперименты проводились на универсальном стенде (см. рис. 1, 2), предназначенном для исследования процессов, протекающих в абсорбционных бромистолитиевых преобразователях теплоты (АБПТ). Установка состоит из следующих основных теплообменных аппаратов и насосов: испарителя (1), абсорбера (2), генератора (3), конденсатора (4), рекуперативного теплообменника (5), насоса хладагента (6), насоса абсорбента (7), вакуумного насоса (8). Кроме того, имеется вспомогательное насосное (9–10), измерительное (11, 12, 20), ёмкостное (13–14), теплообменное (15–17) и контрольно-измерительное (18–19) оборудование.

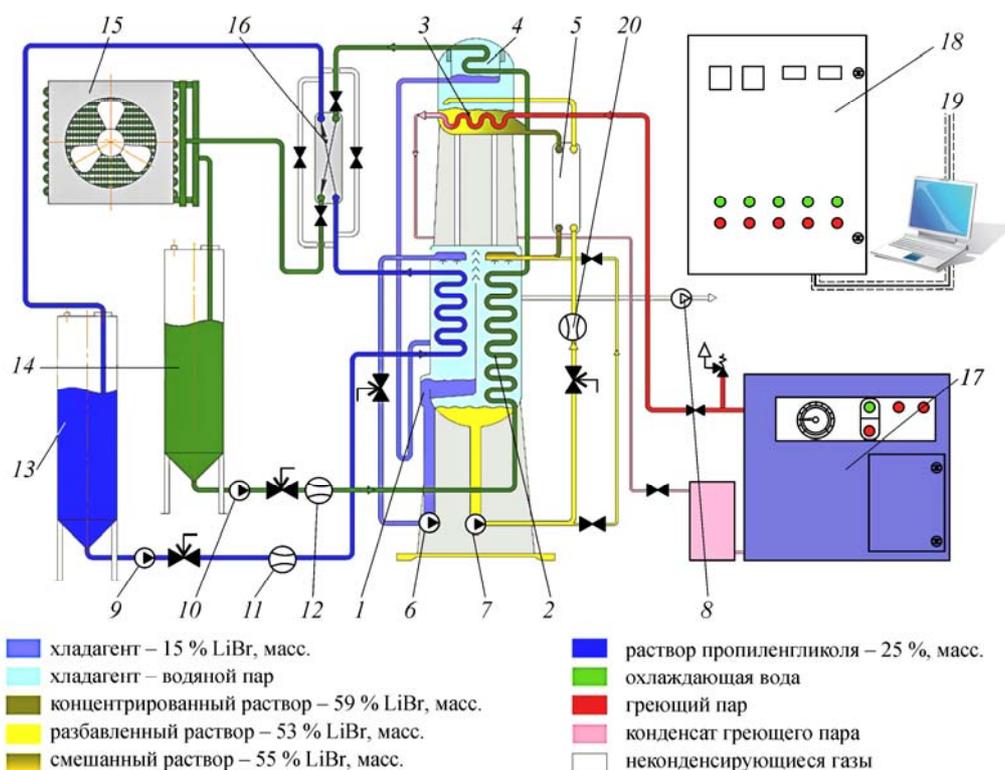


Рис. 1. Принципиальная схема стенда для исследования процессов в АБТТ.

1 — испаритель, 2 — абсорбер, 3 — генератор, 4 — конденсатор, 5 — теплообменник, 6 — насос хладагента, 7 — насос растворный, 8 — насос вакуумный, 9 — насос охлаждаемой жидкости, 10 — насос охлаждающей жидкости, 11, 12, 20 — электромагнитные расходомеры, 13 — ёмкость охлаждаемой жидкости, 14 — ёмкость охлаждающей воды, 15 — драйкулер (сухая градирня), 16 — теплообменник-имитатор нагрузки, 17 — электропарогенератор, 18 — щит контроля и управления, 19 — компьютер.

Основная часть стенда аналогична АБХМ большой мощности (300 кВт и выше) и является их уменьшенной моделью. Экспериментальная установка имеет максимальную холодопроизводительность до 10 кВт. Принцип ее действия основан на способности водного раствора LiBr поглощать (абсорбировать) водяной пар, имеющий более низкую

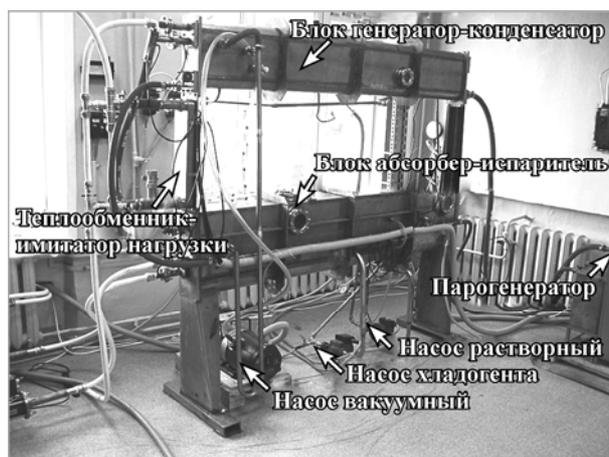


Рис. 2. Фотография стенда для исследования процессов в АБТТ.

температуру, и за счет этого переводить теплоту на более высокий температурный уровень, достаточный для ее отвода в атмосферу или для нужд потребителя. Установка работает по замкнутому циклу: хладагент орошает наружную поверхность труб испарителя 1, к которому подводится теплота охлаждаемой жидкости, поступающей в трубное пространство. При этом происходит испарение воды из бинарной смеси хладагента. Для орошения труб испарителя применяется циркуляционный насос хладагента 6. В абсорбере 2 водяные пары поглощаются смешанным раствором LiBr, состоящем из концентрированного раствора, поступающего через рекуперативный теплообменник 5 из генератора 3 и некоторой части разбавленного раствора из абсорбера 2. В результате поглощения выделяется теплота растворения, отводимая посредством охлаждающей воды, которая после абсорбера 2 поступает в конденсатор 4. Охлаждающая вода циркулирует в трубном пространстве данных аппаратов. Другая часть разбавленного в результате абсорбции раствора через рекуперативный теплообменник 5 поступает в генератор 3, где восстанавливает свою поглощающую способность в процессе кипения за счет подвода тепла греющего пара. Водяной пар из генератора 3 поступает в конденсатор 4, где конденсируется, затем конденсат водяного пара возвращается в испаритель 1. Теплота конденсации отводится охлаждающей водой, которая поступает из абсорбера 2. Теплота абсорбции и конденсации отводится в атмосферу с помощью сухой градирни 15.

В процессе работы установки обеспечивается постоянная холодильная мощность благодаря теплообмену между охлаждаемой (раствор пропиленгликоля) и охлаждающей (вода) жидкостями с применением теплообменника-имитатора нагрузки 16. Подвод тепловой энергии к генератору 3 осуществляется с помощью горячего водяного пара, вырабатываемого в электрическом парогенераторе 17.

Абсорбер и испаритель представляют собой кожухотрубные теплообменные аппараты, соединенные в единый блок (рис. 3). Абсорбер — перекрестноточный аппарат, имеющий шесть ходов по трубному пространству. Испаритель — перекрестноточный аппарат, имеющий четыре хода по трубному пространству. Эти аппараты орошаются тонкими пленками абсорбента и хладагента соответственно. Орошение обеспечивается посредством попарно расположенных коллекторов над трубными пучками. Испаритель

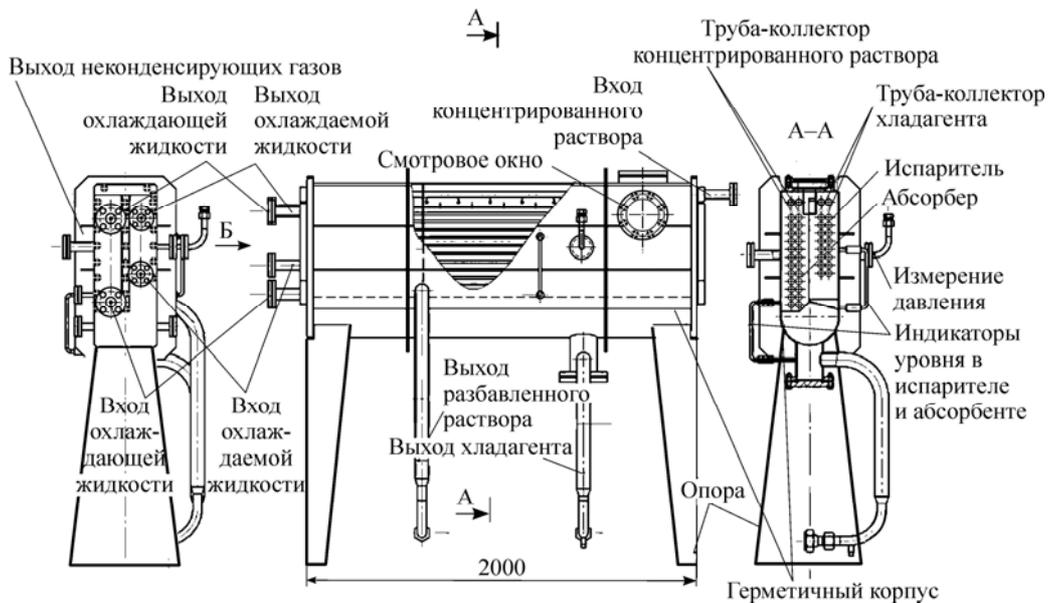


Рис. 3. Схема блока абсорбер-испаритель.

и абсорбер имеют по два вертикальных ряда труб длиной 2 м, диаметром 16 мм, с толщиной стенки 1 мм. Теплообменные трубы изготавливались из медноникелевого сплава. Площадь поверхности теплообмена испарителя составляет $1,6 \text{ м}^2$, абсорбера — $2,4 \text{ м}^2$. При орошении испарителя происходит принудительное орошение с помощью насоса хладагента. При орошении абсорбера используется комбинированное орошение смешанным раствором. Это орошение реализуется путем применения рециркуляции — смешивания безнапорного потока концентрированного раствора из генератора и потока разбавленного раствора из абсорбера, перекачиваемого с помощью насоса. Применение таких способов орошения позволяет обеспечить удовлетворительное смачивание поверхностей теплообмена для каждого из аппаратов.

Генератор и конденсатор представляют собой кожухотрубные теплообменные аппараты, соединенные в единый блок (рис. 4). Генератор — противоточный аппарат, имеющий один ход по трубному пространству. Конденсатор — перекрестноточный аппарат, имеющий два хода по трубному пространству. В генераторе (десорбере) реализуется кипение раствора LiBr в объеме, а в конденсаторе — конденсация водяного пара на горизонтально расположенном пучке теплообменных труб. Генератор имеет два горизонтальных ряда труб, расположенных в шахматном порядке. Площадь поверхности теплообмена генератора составляет $0,7 \text{ м}^2$. Конденсатор имеет два вертикальных ряда труб, расположенных параллельно. Площадь поверхности теплообмена конденсатора — $0,8 \text{ м}^2$. Теплообменные трубы генератора и конденсатора выполнены из медноникелевого сплава. Их длина — 2 м, диаметр — 16 мм, толщина стенки — 1 мм.

Рекуперативный теплообменник — герметичный пластинчатый теплообменник «Alfa-Nova 52-30», состоящий из тридцати пластин (материал — AISI 316), паянных никелевым припоем. Площадь поверхности теплообменника — $1,5 \text{ м}^2$. Он предназначен для увеличения энергетической эффективности АБХМ. В нем происходит теплообмен между разбавленным и концентрированным раствором.

Теплообменник-имитатор нагрузки — герметичный пластинчатый теплообменник «Ридан SL70-10TK», состоящий из десяти пластин (материал — AISI 304), паянных медным припоем. Площадь поверхности теплообменника составляет $0,5 \text{ м}^2$. Он предназначен для поддержания заданного режима охлаждения. В нем происходит теплообмен между охлаждаемым и охлаждающим теплоносителями.

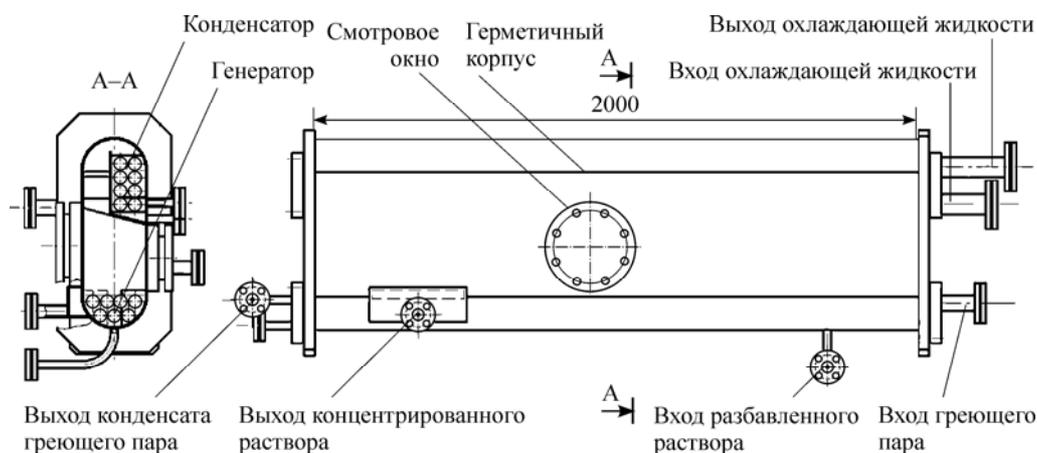


Рис. 4. Схема блока генератор-конденсатор.

Таблица

Результаты исследований охлаждения раствора пропиленгликоля

Точки на рис. 5	Массовый расход, кг/с	Давление, кПа	Температура, °С	Концентрация, LiBr масс., %	Примечание	
1	1,75·10 ⁻¹	–	0	–	Охлаждаемая жидкость. Раствор пропиленгликоля 25 %, масс	
2			–4,0			
3	15,1					
4	18,2					
5	22,0					
6	2,10·10 ⁻³	101,3	100		Греющий пар	
7		101,3	80		Конденсат греющего пара	
8	–	–	–		Неконденсирующиеся газы	
Конд.	1,20·10 ⁻³	3,2	25,0		Перегретый водяной пар	
9	1,20·10 ⁻³	–	25,0		Вода	
10	2,00·10 ⁻¹	–	–5,5		15	Хладагент
Исп.	1,20·10 ⁻³	0,4	–5,0		–	Насыщенный водяной пар
11	1,20·10 ⁻²	–	21,0		53	Разбавленный раствор
12	1,20·10 ⁻²	–	55,0		53	Разбавленный раствор
13	1,08·10 ⁻²	–	65,0		59	Концентрированный раствор
14	1,08·10 ⁻²	–	34,0		59	Концентрированный раствор
15	2,40·10 ⁻²	–	21,0	53	Разбавленный раствор	
16	3,48·10 ⁻²	–	24,5	55	Смешанный раствор	

Результаты и обсуждения

В ходе проведения эксперимента измерялись параметры теплоносителей и рабочих веществ в основных аппаратах стенда (см. таблицу) с точностью измерения:

- для температур — $\pm(0,3+0,005|t|)$ °С (платиновые термосопротивления);
- для давлений — $\pm 0,5$ % (тензопреобразователи абсолютного давления мембранного типа);
- для расходов теплоносителей и рабочих веществ — $\pm 2,0$ % (электромагнитные расходомеры);
- для концентраций — $\pm 0,5$ кг/м³ (ареометры общего назначения).

Измерения проводились при стабильном режиме работы стенда: устойчивой холодильной нагрузке и установившихся параметрах всех измеряемых величин (давлений, температур, расходах, концентрациях). Установившимся режимом считался режим, при котором в течение двадцати минут измеряемые значения температур колеблются на величину не более $\pm 0,2$ °С.

Графическое изображение результатов эксперимента в P - T - ξ -координатах в виде прямого и обратного циклов Карно приведено на рис. 5. Здесь P — равновесное давление водяных паров над раствором LiBr, Па; T — равновесная температура водяных паров и раствора LiBr, °С; ξ — массовая концентрация раствора LiBr. Цифровые обозначения точек на диаграмме (рис. 5b) идентичны соответствующим точкам на схеме установки (рис. 5a). Численные значения результатов эксперимента приведены в таблице.

На P - T - ξ диаграмме (рис. 5b), также называемой диаграммой Дюринга [15], изображен абсорбционный цикл, образованный путем совмещения прямого и обратного термодинамических циклов Ренкина [1, 2] (рис. 6). В этом цикле происходят следующие процессы: линия 10–11 (рис. 5) показывает процесс переноса водяного пара, испаряющегося из бинарной смеси хладагента, из испарителя в абсорбер при постоянной температуре -5 °С, линия 16–11 отображает поглощение водяных паров смешанным

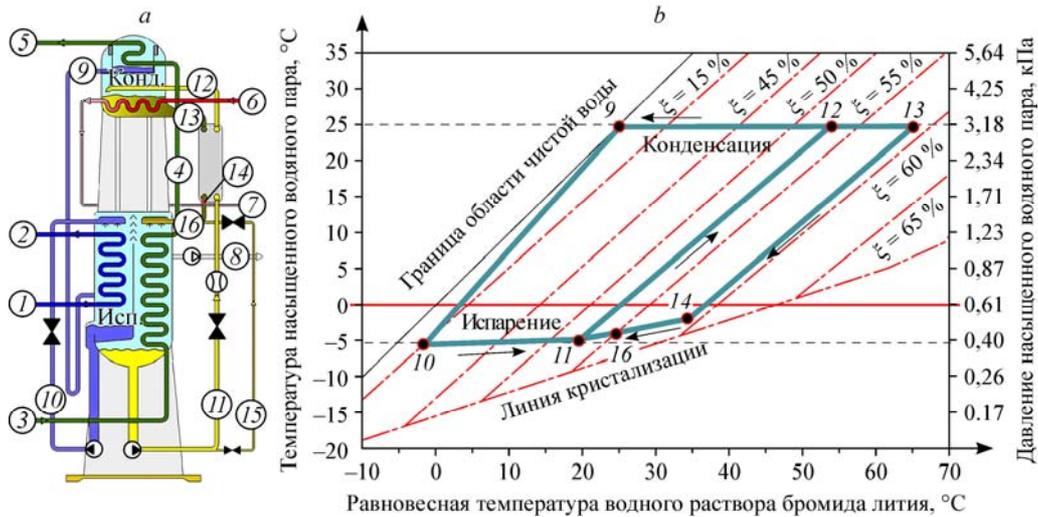


Рис. 5. Схема установки АБХМ (а) и P-T-ξ-диаграмма холодильного цикла в ней (b).

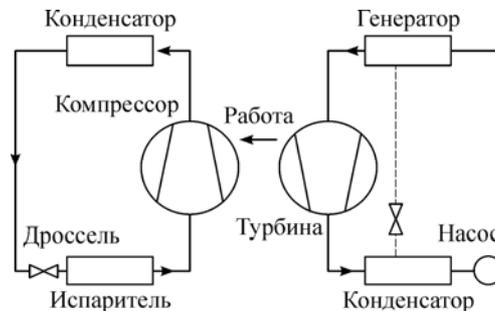
раствором LiBr в абсорбере, линия 11–12 — перемещение разбавленного раствора LiBr из абсорбера в генератор и его нагрева в рекуперативном теплообменнике, линия 12–13 — кипение разбавленного раствора LiBr, удаление из него воды и восстановление поглощающей способности, линия 13–14 — перемещение концентрированного раствора LiBr из генератора к точке смешивания с разбавленным раствором, линия 14–16 — смешивание концентрированного раствора LiBr из генератора с разбавленным раствором из абсорбера, линия 12–9 — перенос водяного пара из генератора в конденсатор и его конденсация при постоянной температуре 25 °С, линия 9–10 — перемещение дистиллята (чистой воды) из конденсатора в испаритель и его смешивание с хладагентом — раствором LiBr.

Экспериментально установлено, что в АБХМ с одноступенчатой регенерацией абсорбента существует возможность получения отрицательных температур испарения (вплоть до –5 °С) при температуре охлаждающей воды 15÷16 °С. Это существенно расширяет область применения АБХМ, что особенно актуально в молочной и пивоваренной промышленности, где требуется так называемая «ледяная вода», имеющая близкриоскопические температуры, и одновременно имеется достаточное количество сбросной теплоты, являющейся греющим источником для получения этой воды.

При проведении эксперимента наблюдалось неравномерное орошение поверхности теплообмена испарителя, вызванное неустойчивостью струйно-капельного режима переноса хладагента по трубному пучку от верхнего ряда к нижнему. Вероятными причинами этого являются: повышенная вязкость, вызванная неспецифично низкой для АБХМ температурой хладагента и содержанием соли бромида лития, а также недостаточная плотность орошения [16]

$$\Gamma = G / (N \cdot L), \quad (1)$$

Рис. 6. Схематическое изображение совмещенного прямого и обратного циклов Ренкина [1].



где G — массовый расход рабочего хладагента, кг/с; N — количество труб в горизонтальном ряду, шт; L — длина труб испарителя, м.

Главным показателем эффективности АБХМ является коэффициент трансформации тепла (или КПД), вычисляемый по формуле $\eta = Q_0/Q_h$, где Q_0 — холодопроизводительность, Вт; Q_h — мощность в генераторе, Вт. Он показывает, какое количество теплоты можно отвести в испарителе при подводе единицы теплоты в генераторе. В АБХМ с одноступенчатой регенерацией раствора при охлаждении воды до температуры не ниже 3 °С это значение, как правило, варьируется в пределах от 0,5 до 0,85 в зависимости от граничных условий. Экспериментально установлено, что при условиях, приведенных в таблице и на рис. 5, коэффициент трансформации тепла равен 0,6. Это значение является удовлетворительным как в случае прямого сжигания топлива, так и при использовании вторичного тепла для получения температур охлажденной среды в диапазоне (3÷ -5 °С). Предполагается, что относительно высокое значение КПД вызвано сравнительно низкой температурой охлаждающей воды (~15 °С). При более высоких температурах охлаждающей воды (в диапазоне 15÷25 °С) ожидаемый КПД абсорбционного цикла с одноступенчатой регенерацией раствора (рис. 1) будет равен 0,4÷0,5.

Для температур охлаждающей воды, характерных для большинства технических приложений (25÷35 °С), классическая схема АБХМ с одноступенчатой регенерацией раствора (рис. 1) неприменима для получения низких температур охлажденной среды. Это объясняется тем, что повышение температуры охлаждающей воды требует увеличения концентраций как концентрированного, так и разбавленного растворов в АБХМ, вследствие чего резко возрастает опасность кристаллизации концентрированного раствора.

Альтернативной является схема с использованием каскада двух блоков «абсорбер-испаритель» со ступенчатым переносом низкопотенциальной теплоты охлаждаемой жидкости на средний температурный уровень к охлаждающей жидкости. На рис. 7 представлена такая схема, где в качестве греющего источника используется горячая вода с температурой на входе 90 °С, а на выходе — 70 °С, характерным для систем тригенерации, широко применяемых в распределенной энергетике [17].

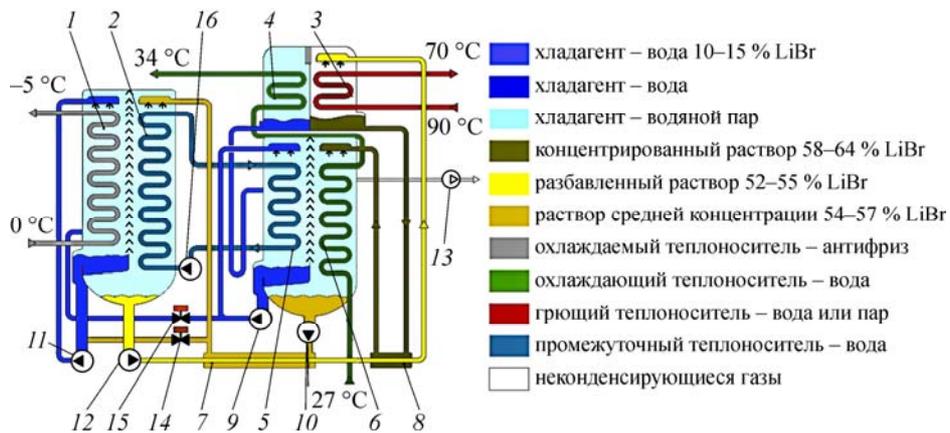


Рис. 7. Принципиальная схема низкотемпературной АБХМ для температур охлаждающей воды (25–35 °С).

1 — испаритель первой ступени, 2 — абсорбер первой ступени, 3 — генератор, 4 — конденсатор, 5 — испаритель второй ступени, 6 — абсорбер второй ступени, 7 — теплообменник первой ступени, 8 — теплообменник второй ступени, 9 — насос хладагента второй ступени, 10 — насос растворный второй ступени, 11 — насос хладагента первой ступени, 12 — насос растворный первой ступени, 13 — система вакуумирования, 14 — клапан поддержания концентрации, 15 — клапан поддержания уровня, 16 — насос промежуточного теплоносителя.

Следует отметить, что греющий источник в приведенной схеме является побочным теплом от выработки электроэнергии, которое в летнее время почти не используется и большая его часть отводится в окружающую среду.

Ожидаемый КПД абсорбционного цикла с использованием двух абсорберов и испарителей с одноступенчатой регенерацией раствора (рис. 7) составляет $0,3 \div 0,4$, а аналогичного цикла с двухступенчатой регенерацией раствора — $0,55 \div 0,7$. По данным работы [11], в АБХМ с прямым газовым нагревом и двухступенчатой регенерацией раствора это значение равно $0,58$.

Заключение

Показано, что при температуре охлаждающей воды $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ существует возможность получения отрицательных температур испарения до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и охлаждения незамерзающих жидкостей до температуры $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ в АБХМ с одноступенчатой регенерацией раствора (рис. 1).

Установлено, что при положительных температурах испарения смачиваемость наружной поверхности труб испарителя бинарной смесью хладагента хуже, чем чистой водой при одинаковых плотностях орошения. Предположительно, это связано с большей вязкостью и плотностью хладагента. По этой же причине ожидается снижение коэффициента теплоотдачи в падающей пленке хладагента по сравнению с чистой водой при одинаковых плотностях орошения.

Для разработки низкотемпературных АБХМ необходимо изучить следующие процессы и зависимости, характерные для машин такого типа:

- зависимости холодопроизводительности от параметров теплоносителей: греющего источника, охлаждающей и охлаждаемой жидкостей;
- численное и экспериментальное исследование теплообмена в стекающей пленке хладагента с добавкой раствора LiBr;
- экспериментальное исследование оптимального расположения теплообменных труб испарителя и их формы (гладкие, оребренные) для создания компактных испарителей низкотемпературных АБХМ и др.

Конечной целью будущих исследований является создание низкотемпературных АБХМ специального исполнения (рис. 7), работающих в условиях, характерных для традиционных АБХМ, т.е. в разных климатических поясах и с применением различных типов градиен и видов греющих источников.

Список литературы

1. Herold E.K., Radermacher R., Klein S.A. Absorption chillers and heat pumps. Boca raton, florida: CRC Press, Inc., 1996. 329 p.
2. Бараненко А.В., Тимофеевский Л.С., Долотов А.В., Попов А.В. Абсорбционные преобразователи теплоты. СПб.: СПбГУНИПТ, 2005. 338 с.
3. Kakaras E., Doukelis A., Karellas S. Compressor intake-air cooling in gas turbine plants // Energy. 2004. Vol. 29, Spec. No. 12–15. P. 2347–2358.
4. Petchers N. Combined heating, cooling & power handbook : technologies & applications an integrated approach to energy resource optimization 2nd ed. Lilburn, GA.: Fairmont Press, 2003. 872 p.
5. Касьянов Г.И., Шаззо Р.И., Гончар В.В., Сязин И.Е. Стабилизация режима хранения яблок при близкриоскопической температуре // Изв. вузов. Пищевая технология. 2014. Т. 1. С. 118–119.
6. Тихомирова Н.А. Технология и организация производства молока и молочных продуктов. М.: ДеЛи принт. 2007. 560 с.
7. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения / Пер. с нем. А.А. Куреленкова. СПб.: Профессия, 2007. 641 с.
8. Ермолаева Г.А., Колчева Р.А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: учеб. для нач. проф. образования. М.: ИРПО, Академия, 2000. 416 с.
9. Дзиню А.А. Эффективность применения абсорбционных бромистолитиевых термотрансформаторов с низкотемпературным греющим источником для получения отрицательных температур кипения рабочего вещества: дисс. ... канд. техн. наук: 05.04.03. СПб.: ЛТИХП. 1987. 20 с.
10. 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.

11. **Uchida S., Nishiguchi A.** Low temperature absorption refrigeration machine with water-LiBr mixed refrigerant // Refrigeration, Jp. 2006. Vol. 81, No. 946. P. 618–621.
12. **Стромберг А.Г., Семченко Д.П.** Физическая химия. М.: Высшая школа, 1999. 527 с.
13. **Melinder A., Granryd E.** Using property values of aqueous solutions and ice to estimate ice concentrations and enthalpies of ice slurries // Int. J. of Refrigeration. 2005. Vol. 28, No. 1. P. 13–19.
14. **Dee G.T., Ougizawa T., Walsh D.J.** The pressure volume temperature properties of polyethylene, poly(dimethyl siloxane), poly(ethylene glycol) and poly(propylene glycol) as a function of molecular-weight // Polymer. 1992. Vol. 33, No. 16. P. 3462–3469.
15. **Handbook of Fundamentals.** Atlanta: ASHRAE. 1997.
16. **Fujita T.** Falling liquid films in absorption machines // Refrigeration. 1993. Vol. 16, No. 4. P. 282–294.
17. **Gogoi T.K., Talukdar K.** Thermodynamic analysis of a combined reheat regenerative thermal power plant and water–LiBr vapor absorption refrigeration system // Energy Conversion and Management. 2014. Vol. 78. P. 595–610.

Статья поступила в редакцию 22 января 2015 г.