

УДК 621.575.9

Сопоставление параметров циклов АБХМД при различных температурах внешних источников

Д-р техн. наук Л. С. ТИМОФЕЕВСКИЙ, О. С. МАЛИНИНА

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

There exist three types of LiBr absorption refrigerators with two-step generation of working substance vapor (LiBrARDG). A mathematical simulator developed helped to compare characteristics of LiBrARDG cycles under various parameters of external sources. The analysis showed that temperatures of external sources substantially impact heat coefficient value, areas of refrigerator apparatus, LiBr mass inside the LiBrARDG apparatus and other factors.

Key words: heat coefficient, total area of apparatus, matrix metal intensity, total mass of salt in LiBr solution, temperatures of external sources of heat.

Ключевые слова: тепловой коэффициент, суммарная площадь аппаратов, металлоемкость трубных пучков, суммарная масса соли раствора бромистого лития, температура внешних источников теплоты.

В настоящее время известны три типа абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой генерацией пара (АБХМД): с прямоточной (последовательной), параллельной и противоточной подачей раствора через ступени генератора, действительные циклы которых представлены на рис. 1. Первый тип АБХМД широко распространен в США, Японии, Китае; в отечественной промышленности применяется второй тип. Третий тип АБХМД в промышленности не используется. Поскольку изменение температуры только одного внешнего источника приводит к изменению параметров всего цикла [1], влияние высшей температуры кипения раствора в генераторе и температуры охлаждающей воды является одним из важных факторов при сопоставлении параметров циклов АБХМД.

В данной работе осуществляется сопоставление параметров указанных выше циклов АБХМД при различных температурах внешних источников теплоты.

Циклы, приведенные на рис. 1, построены в диаграмме $\xi - h$, где ξ — концентрация, h — энталпия рабочего вещества. Обозначения узловых точек циклов одинаковые для всех типов указанных машин: 1 — состояние кипения воды в испарителе; 2 — состояние слабого раствора на выходе из абсорбера; 3_н — состояние воды на выходе из конденсатора; 3_в — состояние конденсата на выходе из генератора низкого давления (ГНД); 4_н — состояние раствора на входе из ГНД; 4_в — состояние раствора на выходе из генератора высокого давления (ГВД); 5_н,

5_в — состояние раствора в начале процессов кипения в ГНД и ГВД. Основные процессы цикла: 8_н—2 — абсорбция с совмещенным тепломассопереносом; 5_н—4_н, 5_в—4_в — кипение раствора при совмещенном тепломассопереносе соответственно в ГНД и ГВД. Далее — для каждой из схем отдельно. Для АБХМД с параллельной подачей раствора: 2—7_н, 2—7_в — подогрев одной и другой частей крепкого раствора в теплообменниках высокого давления (ТОВД) и низкого давления (ТОНД) соответственно; 4_в—8_н, 4_н—8_н — охлаждение одной и другой частей крепкого раствора в ТОВД и ТОНД соответственно; для АБХМД с прямоточной подачей раствора: 2—7_н—7_в — подогрев всего потока слабого раствора последовательно в ТОНД и ТОВД; 4_н—8_н — охлаждение крепкого раствора в ТОНД; для АБХМД с противоточной подачей раствора: 2—7_н — подогрев всего потока слабого раствора в ТОНД; 4_н—7_в — подогрев раствора с промежуточной концентрацией ξ_m в ТОВД; 4_в—8_в—8_н — охлаждение всего потока крепкого раствора последовательно в ТОВД и ТОНД. Все обозначения с индексом «н» относятся к ступени низкого давления, все обозначения с индексом «в» — к ступени высокого давления.

Начальными исходными данными для всех режимов были приняты: холодопроизводительность $Q_0 = 1 \text{ МВт}$; температура охлаждаемой и охлажденной воды $t_{s1} = 12^\circ\text{C}$, $t_{s2} = 7^\circ\text{C}$ соответственно; температура охлаждающей воды на входе в абсорбер $t_{w1} = 24^\circ\text{C}$; температура сухого насыщенного греющего пара $t_h = 170^\circ\text{C}$;

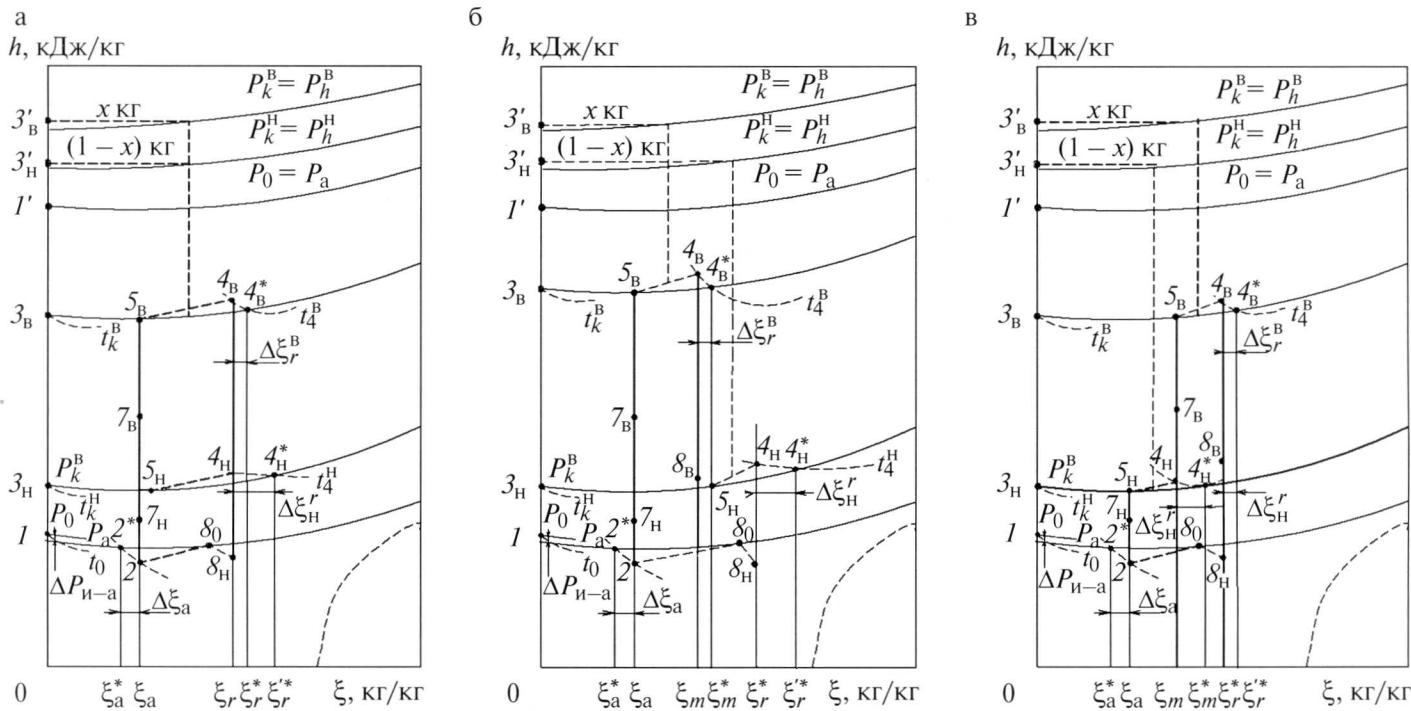


Рис. 1. Циклы АБХМД с движением раствора через ступени генератора:
а — параллельным; б — прямоточным; в — противоточным

высшая температура кипения раствора в генераторе высокой ступени $t_4^B = 165^\circ$; недонасыщение раствора в абсорбере $\Delta\xi_a = 1,25\%$; недовыпаривание раствора в ступени низкого давления генератора $\Delta\xi_r^H = 1,5\%$; недовыпаривание раствора в ступени высокого давления генератора $\Delta\xi_r^B = 0,5\%$; гидравлическое сопротивление движению пара из испарителя в абсорбере $\Delta P_{i-a} = 0,133$ МПа; недорекуперация теплоты на холодной стороне теплообменника растворов $\Delta T_{thd} = 15$ К; недорекуперация теплоты на теплой стороне конденсатора $\Delta T_k = 4$ К; недорекуперация теплоты на холодной стороне абсорбера $\Delta T_a = 6$ К; нагрев воды в конденсаторе $\Delta t_{wk} = 2^\circ$ С; нагрев воды в абсорбере $\Delta t_{wa} = 6^\circ$ С; коэффициенты теплопередачи в аппаратах определялись по известным зависимостям [2, 3].

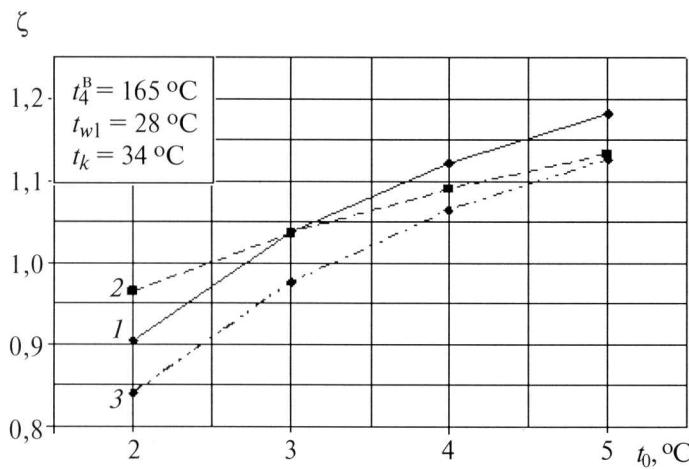
Для сопоставления параметров циклов АБХМД с различной подачей раствора через ступени генератора с помощью разработанной математической модели [4] проведены вариантные расчеты при дискретном изменении ранее принятых температур внешних источников: высшая температура кипения раствора в генераторе высокой ступени t_4^B имеет значения 165, 155, 150 °С; температура охлаждающей воды на входе в абсорбера t_{w1} принята равной 24, 26, 28 °С. При этом температура кипения t_0 изменялась в диапазоне 3, 4, 5 °С.

Результаты расчетов показали, что при повышении температуры кипения в указанном диапазоне наибольшей величиной теплового коэффициента ζ (рис. 2), а сле-

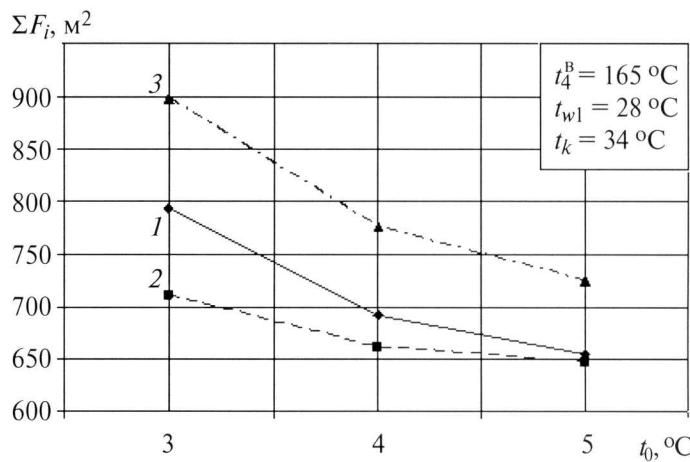
довательно, и наибольшей термодинамической эффективностью обладает АБХМД с параллельной подачей раствора. Величина ζ АБХМД с параллельной подачей раствора в среднем на 3 % выше, чем у АБХМД с прямоточной подачей, и на 5 % выше, чем у АБХМД с противоточной подачей. В свою очередь, ζ АБХМД с прямоточной подачей раствора выше, чем у АБХМД с противоточной подачей на 2 %. Однако величина теплового коэффициента АБХМД с параллельной подачей раствора при $t_0 = 2^\circ$ С на 5 % ниже, чем АБХМД с прямоточной подачей. Это, вероятно, связано с более высоким значением количества пара рабочего вещества x , выпариваемого в ГВД машины с параллельной подачей раствора.

Наименьшей суммарной площадью аппаратов ΣF_i рассматриваемых машин, а следовательно, и наименьшей металлоемкостью трубных пучков обладает АБХМД с прямоточным движением раствора (рис. 3). Данная величина приблизительно на 5 % ниже, чем у АБХМД с параллельной подачей раствора, и на 18 % ниже, чем у АБХМД с противоточной подачей раствора.

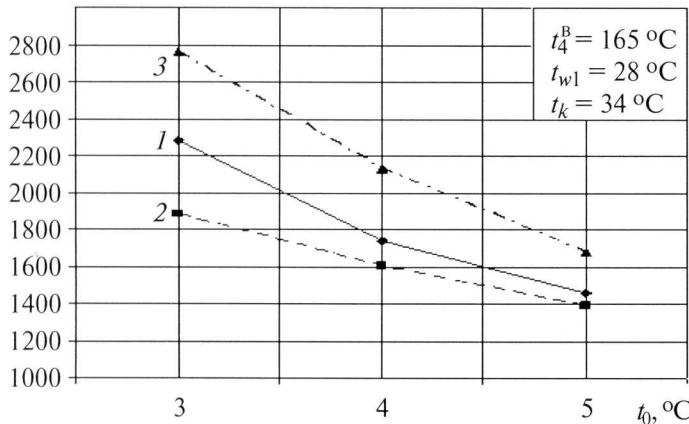
Следствием указанного является аналогичный характер зависимости величины суммарной массы соли бромистого лития ΣM_i , находящегося в машине (рис. 4). В среднем 8 % составляет отличие данной величины АБХМД с прямоточной подачей от той же величины АБХМД с параллельной подачей и 32 % — от АБХМД с противоточной подачей раствора.

Рис. 2. График зависимости ζ от t_0 .

Подача раствора через ступени генератора:
1 — параллельная; 2 — прямоточная; 3 — противоточная

Рис. 3. График зависимости ΣF_i от t_0 .

Подача раствора через ступени генератора:
1 — параллельная; 2 — прямоточная; 3 — противоточная

 ΣM_i , кгРис. 4. График зависимости ΣM_i от t_0 .

Подача раствора через ступени генератора:
1 — параллельная; 2 — прямоточная; 3 — противоточная

Так как стоимость соли бромистого лития составляет 30–40 % от общих капитальных затрат [5], данная величина является важным технико-экономическим показателем.

Как видно из расчетов, дальнейшее понижение высшей температуры кипения раствора в генераторе влечет за собой невозможность осуществления термодинамических циклов в данных машинах, т. е. при этом циклы АБХМД превращаются в циклы с одноступенчатой генерацией пара.

Проведенный анализ показал, что для рассмотренных условий по величине теплового коэффициента

АБХМД с параллельным движением раствора эффективнее АБХМД с прямоточной и противоточной подачей раствора, однако по капитальным затратам на трубные пучки и количеству соли раствора бромистого лития более эффективной оказалась АБХМД с прямоточным движением раствора. Абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина с двухступенчатой генерацией пара (АБХМД) с противоточной подачей раствора является менее эффективной, чем рассмотренные выше машины.

Список литературы

1. Малышев Л. А., Малинина О. С., Тимофеевский Л. С. Оценка влияния теплообменников растворов на эффективность абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины // Вестник МАХ. 2008. № 2.
2. Бараненко А. В., Тимофеевский Л. С., Долотов А. Г., Попов А. В. Абсорбционные преобразователи теплоты: Монография. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2005.
3. Холодильные машины: Учеб. для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / А. В. Бараненко, Н. Н. Бухарин, В. И. Пекарев, Л. С. Тимофеевский; Под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. — СПб.: Политехника, 2006.
4. Малинина О. С., Тимофеевский Л. С. Математическая модель абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой генерацией пара рабочего вещества // Вестник МАХ. 2011. № 2.
5. Орехов И. И., Тимофеевский Л. С., Караван С. В. Абсорбционные преобразователи теплоты. — Л.: Химия, 1989.