

УДК 621.574

## Получение низких температур кипения хладагента в абсорбционной бромистолитиевой холодильной машине\*

В. Г. ГОРШКОВ, Д. Г. МУХИН

teplonasos@yandex.ru

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

630090, г. Новосибирск, Академика Лаврентьева пр., 1

Канд. техн. наук А. А. ДЗИНО

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО

Институт холода и биотехнологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Приведены краткие сведения о возможных областях применения абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин (АБХМ) с температурой охлажденной среды  $0...1,5$  °С. В статье даны результаты исследований в области создания низкотемпературных АБХМ (до температур  $0-5$  °С), проведенные в России и за рубежом. В связи с появлением спроса на низкотемпературные АБХМ, для исследований в этой области температур в институте теплофизики СО РАН создана стендовая установка.

**Ключевые слова:** абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины, низкотемпературные АБХМ.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по госконтракту №14.518.11.7015 от 19 июля 2012 г.

### Generating low boiling temperatures of a refrigerant in a lithium bromide absorption refrigerating system

V. G. GORSHKOV, D. G. MUKHIN

teplonasos@yandex.ru

Kutateladze institute of thermophysics siberian branch  
of the russian academy of science

Ph. D. A. A. DZINO

University ITMO

Institute of Refrigeration and Biotechnologies

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

A summary of possible applications is given for lithium bromide absorption refrigerating systems (LBARS) with the temperature of cooled medium  $0...1,5$  °C. A review of research results obtained in Russia and abroad in the sphere of low-temperature LBARS (up to temperatures  $0-5$  °C) is presented. Because of a growing demand for low-temperature LBARS, a test bench has been made at the Institute of Thermal Physics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, for researching this range of temperatures.

**Keywords:** lithium bromide absorption refrigerating systems, low-temperature.

Область применения традиционных абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин (АБХМ), в основном ограничивается системами охлаждения технологического оборудования и кондиционирования воздуха, где требуется захлажденная вода с температурой  $5-15$  °С. Данное ограничение накладывается из-за того, что хладагентом в этих машинах является вода, которая замерзает при температурах  $0$  °С и ниже.

Вода с температурой  $0,5-1,5$  °С, так называемая «ледяная вода», применяется в технологических процессах ряда отраслей промышленности:

— при производстве молока, сливок: пастеризации молока, настаивании, охлаждении и упаковке сливок и аналогичной продукции, готовых к употреблению;

— при производстве сыра: в холодильных камерах, где сыр укладывается для созревания;

— на птицефабриках: промывка птицы в холодной воде;

— при обработке овощей, ягод и фруктов: промывка в холодной воде, длительное хранение;

— при производстве соков и концентратов: охлаждение соков после пастеризации;

— при промышленном производстве мороженого: пастеризованная смесь для мороженого — хранение смеси при  $4$  °С;

— при промышленной переработке рыбы: охлаждение тузлука;

— в технологии производства пластмасс: охлаждение оборотной воды для экструдеров, охлаждение форм и фильер;

— в энергетике: охлаждение воздуха на входе в ГТУ (использующихся в ПГУ, ДКС, ГПС). АБХМ с низкотемпературным охлаждением в теплое время года позволяет увеличить мощность турбопривода от  $5$  до  $20\%$ , получить экономию удельного расхода топлива на  $3-8\%$ .

В основном, для получения низких температур на данных промышленных объектах, в настоящее время, используются электроприводные парокомпрессионные холодильные машины (ПКХМ).

На объектах пищевой промышленности, как правило, всегда в избытке имеется тепловая энергия (горячая вода, пар — в том числе и сбросной), необходимая,

к примеру, для технологии переработки молока (пастеризации), в системах отопления и горячего водоснабжения. Практически все молочные заводы имеют свои котельные и покупают электроэнергию для производства холода в ПКХМ. При этом расход электроэнергии на получение 1 МВт холода «ледяной воды» составляет около 250 кВт. Тепловая энергия на этих объектах для производства холода в настоящее время не используется. Применение АБХМ для получения «ледяной воды» за счет тепловой энергии водяного пара экономически оправдано в связи с низкой стоимостью тепловой энергии по сравнению с электроэнергией. В АБХМ на получение 1 МВт холода требуется всего лишь около 3-х кВт электроэнергии, т.е. почти в 83 раза меньше, чем в ПКХМ.

Зарубежными коллегами освоен выпуск низкотемпературных АБХМ, так с 2000 г. японская фирма «Hitachi-Appliances, Inc.» производит АБХМ для получения температуры охлаждаемой среды (рассола) до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1, 2]. В этих машинах хладагентом является водный раствор бромистого лития с концентрацией не ниже 15%. Температура хладагента в низкотемпературном испарителе достигает  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Машины используются в пищевом производстве (охлажденная среда циркулирует в холодильных камерах) для хранения замороженных продуктов.

Выпускаются машины холодопроизводительностью от 170 до 1000 кВт с паровым и газовым обогревом. Достигнутый тепловой коэффициент машин равен 0,58.

### Исследования и работы, проведенные в России

Еще в 1987 г. в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности под руководством Дзино А. А. [3] проведено теоретическое и экспериментальное исследование процесса кипения рабочего

вещества в испарителе АБХМ при отрицательных температурах.

В качестве рабочего вещества (хладагента) в испарителе использован водный раствор бромистого лития с концентрацией 4–7%. Это позволило осуществить процесс кипения в области температур  $-1\text{...} -3\text{ }^{\circ}\text{C}$  и получать при этом хладоноситель с температурой около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом абсорбер охлаждался водой с температурой  $24\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в качестве греющего источника в генераторе использовался ВЭР с температурой  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше.

В связи с поступающими запросами от предприятий молочной промышленности и энергокомпаний, в институте теплофизики СО РАН были возобновлены работы по созданию АБХМ для получения температур охлаждаемой среды до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже.

29 апреля 2013 г. в России, на действующем промышленном образце АБХМ, были проведены испытания по получению низких температур кипения хладагента (до  $1\text{...}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и захлажденной воды (до  $3\text{...} 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Действующая АБХМ — холодильная машина с одноступенчатой регенерацией раствора с паровым обогревом АБХМ-2000П установленная на производстве капролактама ОАО «Азот» (г. Кемерово). Данная машина разработана и поставлена ООО «ОКБ Теплосибмаш» (г. Новосибирск), введена в эксплуатацию в ноябре 2012 г.

Целью испытаний было установление возможности устойчивой работы АБХМ при температурах кипения хладагента  $1\text{...}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В процессе испытаний была реализована работа АБХМ в устойчивом режиме и зарегистрированы основные параметры работы. Теплотехнические параметры работы машины, зарегистрированные с 09 до 10 ч 29.04.2013 г., приведены на рис. 1.

В процессе испытаний параметры работы менялись незначительно:

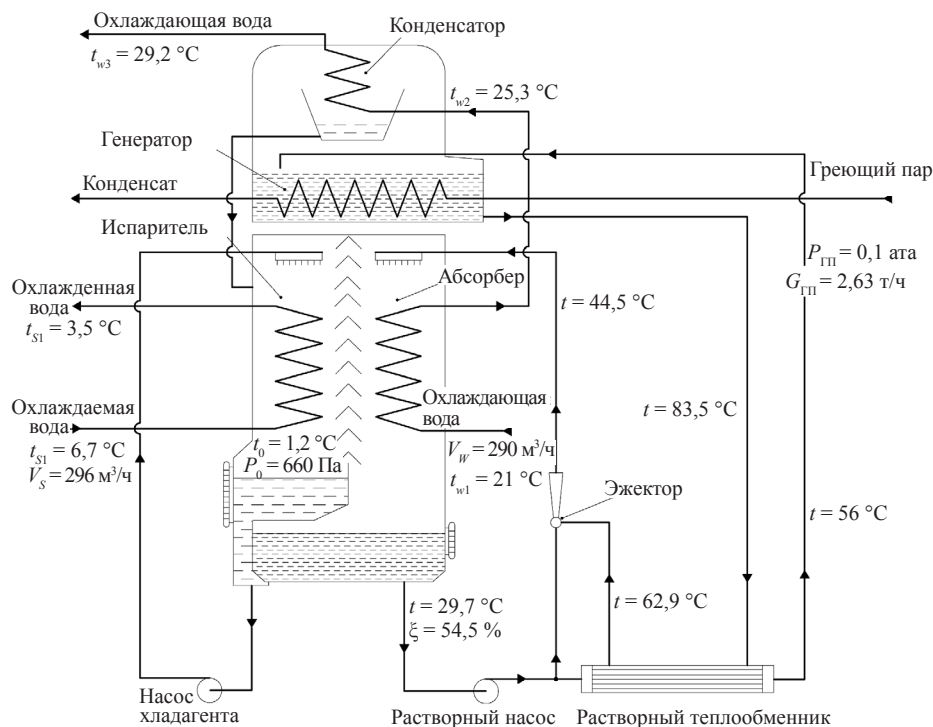


Рис. 1. Параметры работы АБХМ-2000П в низкотемпературном режиме с 09 до 10 ч, 29.04.2013

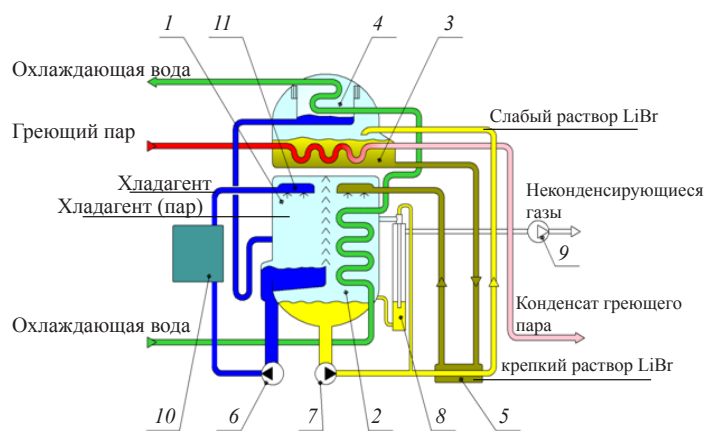


Рис. 2. Принципиальная схема АБХМ с открытым испарителем: 1 — испаритель; 2 — абсорбер; 3 — генератор; 4 — конденсатор; 5 — теплообменник; 6 — насос хладагента; 7 — насос растворный; 8 — газоотделитель; 9 — насос вакуумный; 10 — потребитель холода; 10 — разбрызгивающее устройство

— значение температуры хладагента в диапазоне 1,1...1,3 °С;

— абсолютное давление пара в испарителе 630...670 Па;

— значение температуры охлажденной воды в диапазоне 3,2...3,7 °С;

— температура охлаждающей воды 21...22 °С;

— давление пара 1,0...1,1 ата.

Испытания действующей промышленной АБХМ показали возможность стабильной работы одноступенчатой холодильной машины с температурой хладагента 1...1,5 °С. При этом тепловой коэффициент машины был в пределах 0,6–0,65.

Результат испытаний может быть использован для разработки низкотемпературной АБХМ с «открытым» испарителем (см. рис. 2) [4–6]. Принципиальным отличием этой машины, от существующих АБХМ традиционной конструкции, является отсутствие трубного пучка испарителя. Хладагент в этой машине используется в качестве заоложенной среды, циркулируя между потребителем и полостью испарителя. К примеру, хладагент — «ледяная вода» с температурой ~ 1 °С непосредственно поступает на охлаждение потребителя.

В АБХМ традиционной конструкции и с «открытым» испарителем есть возможность получать отрицательные температуры кипения хладагента (до –8...–10 °С). В этом случае, в качестве хладагента используется низкоконтрированный раствор бромистого лития с концентрацией 15–18% [3].

В настоящее время, в Институте теплофизики СО РАН создана специальная стендовая установка для исследований и получению опытных данных для разработки низкотемпературных АБХМ.

## Список литературы

1. Uchida S., Nishiguchi A. // *Refrigeration*, JP, 2006; Vol. 81; No 946. pp. 618–621.
2. Sakiyama A., Nishiguchi A. Развитие абсорбционной холодильной машины, работающей на тепле и охлаждающей до температур ниже 0 °С. Труды международной конференции по сорбционным тепловым насосам. 1999 г., Мюнхен, Германия.
3. Дзино А. А. Эффективность применения абсорбционных бромистолитиевых термотрансформаторов с низкотемпературным греющим источником для получения отрицательных температур кипения рабочего вещества. / Автореф. дисс... на соискание уч. ст. канд. техн. наук. — Ленинград. 1987.
4. Тимофеевский Л. С., Малинина О. С. Математическая модель абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины с двухступенчатой генерацией пара рабочего вещества // Вестник Международной академии холода. 2011. № 2.
5. 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.
6. Тимофеевский Л. С., Малинина О. С. Сопоставление параметров циклов АБХМД при различных температурах внешних источников // Вестник Международной академии холода. 2011. № 3.

## References

1. Uchida S., Nishiguchi A. *Refrigeration*, JP, 2006; Vol. 81; No 946. pp. 618–621.
2. Sakiyama A., Nishiguchi A. Razvitie absorbcionnoj holodil'noj mashiny, rabotajushhej na teple i ohlazhdajushhej do temperatur nizhe 0 °С. *Trudy mezhdunarodnoj konferencii po sorbcionnym teplovym nasosam*. 1999. Munich, Germany.
3. Dzino A. A. Jefferktivnost' primenenija absorbcionnyh bromistolitievyh termotransformatorov s nizkotemperaturnym grejshhim istochnikom dlja poluchenija otricatel'nyh temperatur kipenija rabocheho veshhestva. / Avtoref. diss... na soiskanie uch. st. kand. tehn. nauk. — Leningrad. 1987.
4. Timofeevskij L. S., Malinina O. S. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2011. No 2.
5. *Holodil'nye mashiny*: Ucheb. dlja studentov vuzov special'nosti «Tehnika i fizika nizkih temperatur»/A. V. Baranenko, N. N. Buharin, V. I. Pekarev, L. S. Timofeevskij. — SPb.: Politehnika, 2006.
6. Timofeevskij L. S., Malinina O. S. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2011. No 3.