

## Применение абсорбционных холодильных машин на солнечной энергии в системах кондиционирования административных и жилых зданий: обзор

*М.Т.М. Алиаббани, Н.А. Целигоров*

*Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Работа посвящена рассмотрению проблем и состоянию использования альтернативных источников энергии. Приведено описание различных типов холодильных машин, использующих солнечную энергию для систем кондиционирования административных и жилых зданий.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, вторичные источники теплоты, абсорбционные холодильные машины, смесь бромистый литий–метанол.

### Введение.

Наиболее важными проблемами для современного мира являются энергетические проблемы. Они связаны:

- с возникновением глобальной опасности из-за сжигания органического топлива;
- с истощением имеющихся нефтяных запасов и, как следствие, повышением цен на топливо;
- с опасностью использования атомной энергии,
- с загрязнением окружающей среды.

Эти проблемы самым непосредственным образом касаются также и стран Ближнего Востока, в частности, Республики Ирак.

В настоящее время правительством Республики Ирак осуществляется поиск стратегии энергетического развития. В первую очередь это связано с использованием возобновляемых источников энергии, о чем свидетельствует подписанное соглашение о присоединения Ирака к Международному агентству (IRENA) по возобновляемой энергии, что расценивается, как заинтересованность Ирака в развитии возобновляемых источников энергии. Кроме этого, разработаны шесть проектов строительства объектов возобновляемых источников энергии [1]:

---

- в городах Аль-Саман, Рутба, Аль-Ахвар и Нукхайб запланировано строительство солнечных электростанций общей мощностью от 10 до 30 Мвт;

- в городах Аль-Кильфил и Наджав планируется строительство геотермальной станции общей мощностью от 300 до 450 Мвт.

Также планируется внедрить «умные» цифровые счетчики электроэнергии в городах Эрбил, Духок и Сулеймания.

Наиболее перспективным альтернативным источником энергии является солнечная энергия, запасы которой теоретически неисчерпаемы [2,3].

Однако, перечисленные выше направления использования солнечной энергии основываются на получении электрической, либо тепловой энергии [4,5]. Однако они не учитывают того фактора, что с помощью солнечной энергии может вырабатываться холод, использование которого, с учетом расположения Ирака в регионе, является также актуальной задачей [6].

#### **Описание типов холодильных машин.**

Для получения холода в настоящее время используются абсорбционные холодильные машины (АБХМ) [7]. Источником энергии для них является тепловая энергия теплоносителей. В качестве теплоносителей в них используются пар, вода различных параметров, горячие дымовые газы печей, генераторных установок, а также непосредственно теплота сгорания топлива в самом контуре АБХМ.

В случае использования солнечного излучения АБХМ позволяет снизить эксплуатационные расходы на вентиляцию и кондиционирование помещений. АБХМ подразделяются на аммиачные и бромистолитиевые. В аммиачных АБХМ хладагентом является аммиак  $\text{NH}_3$ , а вода используется в качестве абсорбента. В бромистолитиевых АБХМ вода используется в

качестве хладагента, а концентрированный раствор бромида лития LiBr - в качестве абсорбента. Применяемые жидкости не являются токсичными, что делает АБХМ безопасными в эксплуатации. Поэтому в настоящее время бромистолитиевые АБХМ получили наибольшее распространение.

Проводимые расчеты температурных режимов показывают, что для кондиционирования административных зданий могут быть использованы вода и воздух, в качестве охлаждаемых сред [8,9].

Принцип действия одноступенчатой АБХМ представлен на рис. 1 [10].

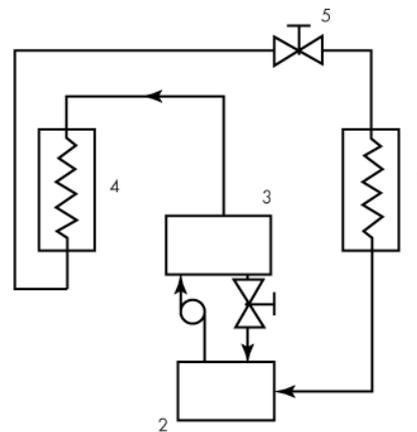


Рисунок 1. Схема одноступенчатой АБХМ

Из рисунка 1 следует, что в испарителе 1, расположенном в охлаждаемом помещении, снижается давление за счет абсорбции хладагента в абсорбере 2. Для нагрева раствора, находящегося в десорбере 3 могут использоваться различные способы нагрева, включая солнечное излучение. Повышение температуры раствора, в конечном случае, способствует испарению хладагента, который поступает в конденсатор при возрастающем давлении, а обедненный раствор поступает в адсорбер 2. Испарившийся хладагент попадает в конденсатор 4, где он переходит в жидкое состояние с выделением теплоты. Через клапан 5 хладагент подается в испаритель 4. На этой фазе происходит завершение цикла и начинается новый.

Одноступенчатые АБХМ (мощностью от 25 Квт до 3 Мвт) также используются для различных технологических процессов, например, в

первую очередь для охлаждения воды. Подобная экспериментальная схема АБХМ с рабочим раствором  $2LiBr$ , на которой была опробована идея использования солнечной энергии, успешно прошла испытания в Израиле [11]. Из отчета представленного после испытания следует, что солнечный коллектор обеспечивает нагрев рабочего раствора до  $50-60^{\circ}C$ . Минимально достигнутая температура в испарителе составляет  $+7^{\circ}C$ . Солнечный коллектор площадью  $2\text{ м}^2$  обеспечивает мощность порядка  $1.8-2\text{ Квт}$ .

Одноступенчатая абсорбционная на солнечной энергии установка кондиционирования воздуха для круглосуточного использования может быть построена по схеме, приведенной на рис. 2 [12].

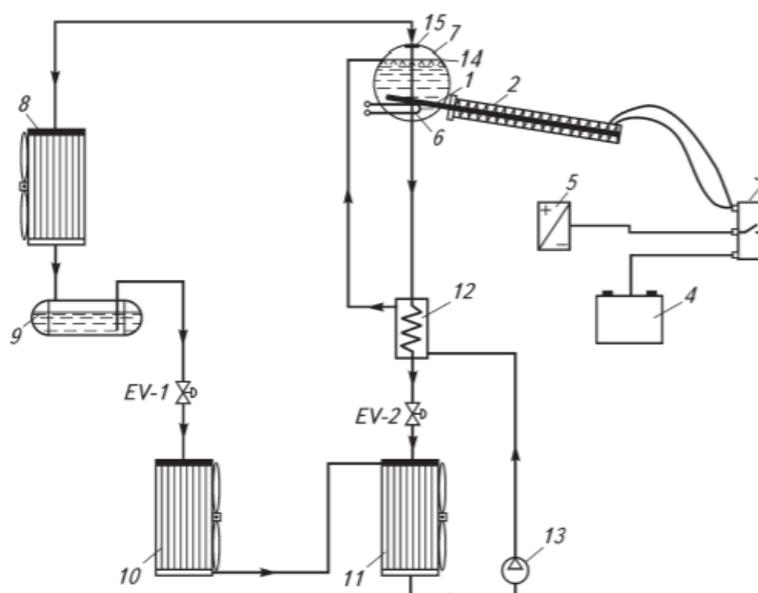


Рис. 2. Принципиальная схема холодильной установки на солнечной энергии: 1-солнечный коллектор; 2-фотоэлектрическая панель; 3-контроллер; 4-аккумулятора; 5-инвертор; 6-нагреватель; 7-генератор; 8-конденсатор; 9-ресивер; 10-испаритель; 11-адсорбер; 12-теплообменник; 13-насос бинарного раствора; 14-распылитель; 15-каплеуловитель; регулирующие вентили – EV-1, EV-2.

Отличительной особенностью рассматриваемой установки является применение совмещенного солнечного коллектора 1 с фотоэлектрической панелью 2, подключенной к аккумулятору 4 через контроллер 3 и к инвертору 5. К инвертору подключен электрический нагреватель 6,

обеспечивающий работу установки в пасмурную погоду, а также в ночное время суток. Другой отличительной особенностью является то, что в этой установке было использована рабочая жидкость – бромистый литий-метанол. При этом кипение метанола доходило до  $-18.6^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{мин}}$  в адсорбере составляло  $22.8^{\circ}\text{C}$ , а в генераторе  $T_{\text{макс}}$  раствора доходило до  $850^{\circ}\text{C}$  [12].

Для охлаждения водной среды может быть использована АБХМ, схема которой представлена на рисунке 3 [13].

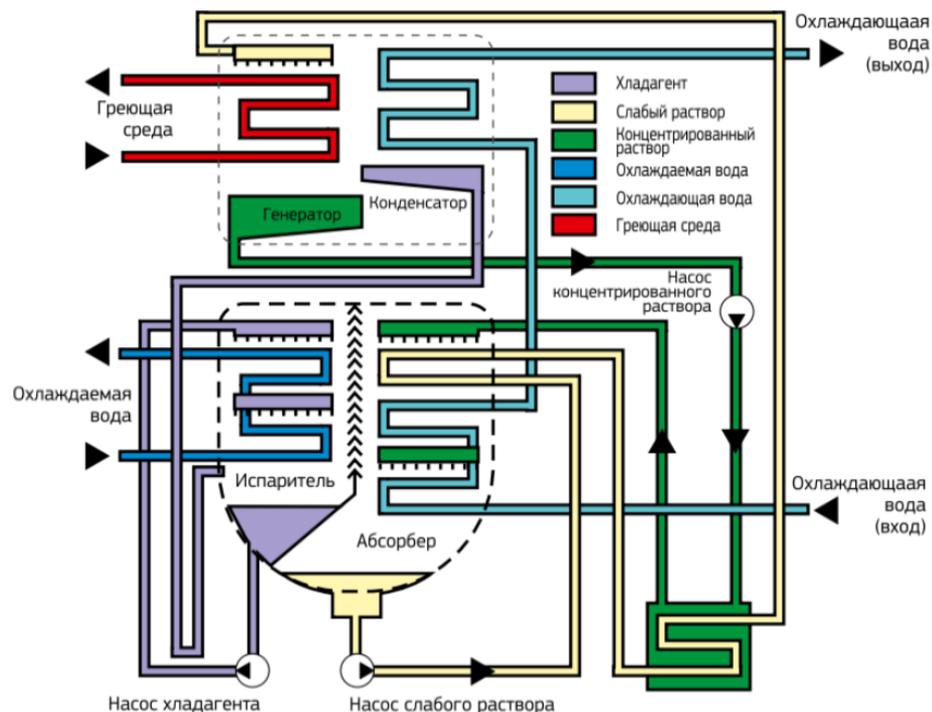


Рис. 3. Принципиальная схема АБХМ для охлаждения воды

В данной схеме одноступенчатой АБХМ охлаждаемая вода — это та среда, которую требуется охладить, а греющая среда — это внешний источник тепловой энергии, в качестве которого могут использоваться различные теплоносители, например, солнечное излучение.

Существуют также двухступенчатые АБХМ [12]. Конструктивно они отличаются от одноступенчатых наличием в системе двух конденсаторов (абсорберов), что обеспечивает выделение хладагента из абсорбента при меньших затратах тепловой энергии. На рис. 4 приведена схема АБХМ с двумя конденсаторами.

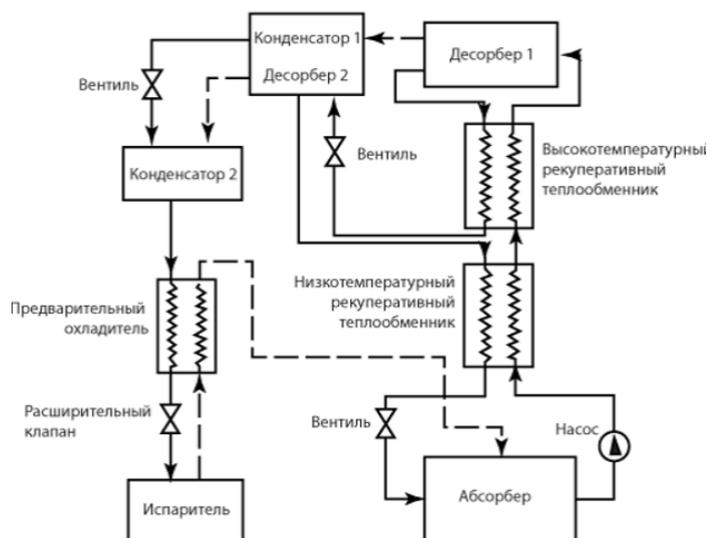


Рис. 4. Схема АБХМ с двумя конденсаторами

Характерной особенностью данной схемы является то, что окончательная десорбция осуществляется во втором десорбере. В этот десорбер поступает тепло из первого конденсатора, выработанное за счет конденсации хладагента, который также попадает во второй конденсатор. В этот же конденсатор попадает хладагент из десорбера 2, что и означает процесс конденсации завершенным.

Рассмотрим схему двухступенчатой АБХМ с двумя абсорберами (рисунок 5).

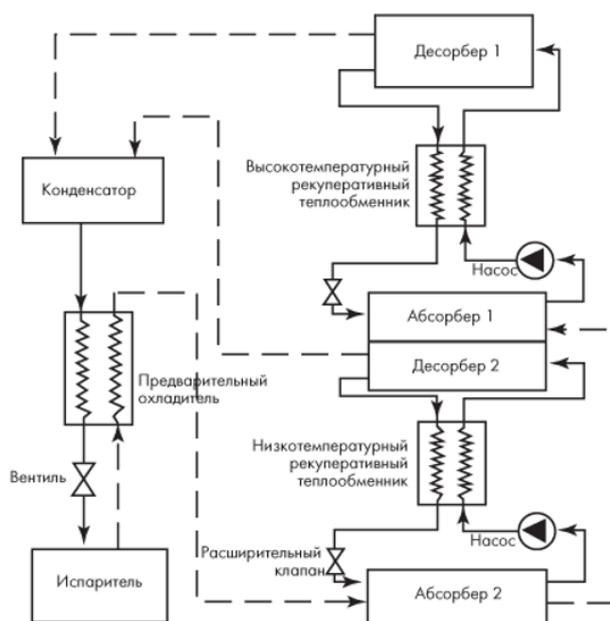


Рисунок 5. Схема АБХМ с двумя абсорберами

АБХМ с двумя абсорберами выполнена в виде двухсекционной конструкции – высокотемпературной и низкотемпературной. Из испарителя пары хладагента поступают в абсорбер два через предварительных охладитель, а полностью абсорбированные пары поступают в первый абсорбер 1. В десорбере 2 (низкотемпературной секции) за счет скрытой теплоты паров агента осуществляется десорбция этих паров, которые поступают затем в конденсатор. В десорбере 1 (высокотемпературной секции) происходит десорбция паров хладагента из раствора, которые поступают также в конденсатор.

Дальнейшим логическим развитием двухступенчатых АБХМ являются АБХМ с тремя ступенями, которая представляет собой комбинацию отдельных одноступенчатых АБХМ (рис. 6).

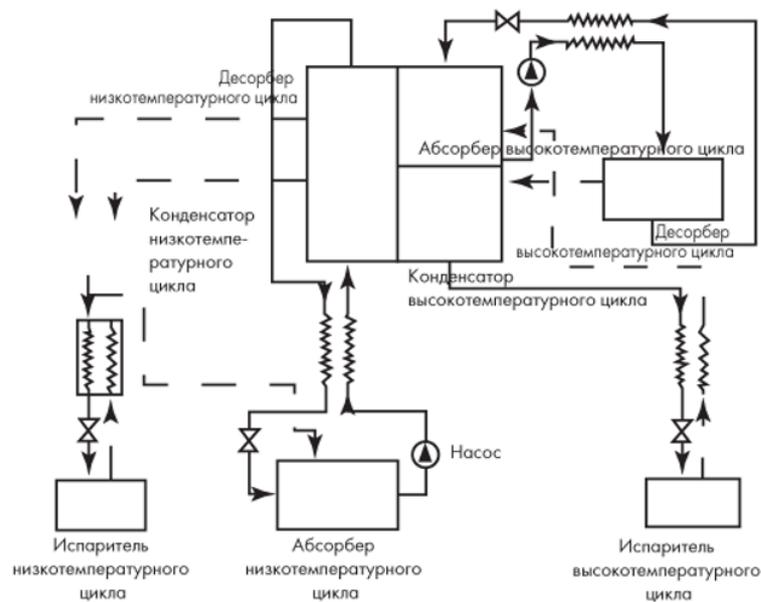


Рис. 6. Схема трехступенчатой АБХМ

Отличительной особенностью трехступенчатой АБХМ является то, что за счет внешнего источника тепловой энергии высокотемпературный цикл обеспечивает холодильный эффект. В то же время этот источник является источником тепловой энергии для низкотемпературного цикла. В настоящее

время технология создания трехступенчатых АБХМ находится на стадии своего развития.

### **Заключение.**

Анализ рассмотренных типов АБХМ показывает, что холодильный коэффициент меньше единицы имеется только у одноступенчатых АБХМ, что позволяет их использовать для утилизации тепловой энергии, остающейся в результате работы котлов, электростанций, преобразования солнечной энергии и т.п. Применение в АБХМ воды в качестве хладагента, а в качестве абсорбента — концентрированного раствора бромида лития LiBr, делает этот тип холодильной машины безопасной в эксплуатации.

### **Литература**

1. Развитие ВИЭ в Ираке // Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности URL: [https://gisee.ru/articles/foreign\\_politics/27632/](https://gisee.ru/articles/foreign_politics/27632/) (дата обращения: 19.12.2019).
2. Gugulothu R., Somanchi N.S., Banoth H.B., Banothu K. A Review on Solar Powered Air Conditioning System // Procedia Earth and Planetary Science. 2015. №11. pp. 361 – 367.
3. Al-Alili A., Hwang Y., Radermacher R. Review of solar thermal air conditioning technologies Synthèse des technologies de conditionnement d'air solaire // International Journal of Refrigeration. 2014. №39. pp. 4-22.
4. Щербаков М.В., Набиуллин А.С., Камаев В.А. Мультиагентная система моделирования производства и потребления электроэнергии в гибридных энергетических системах // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/775](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/775) (дата обращения: 19.12.2019).
5. Клянина Л.Н., Корабельников Е.Г. Влияние вариаций входных параметров на режим работы теплообменной системы // Инженерный



вестник Дона, 2013, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2182](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2182) (дата обращения: 19.12.2019).

6. Плотников К.В., Алифанова А.И., Семиненко А.С. Кондиционирование зданий посредством солнечной энергии // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7-2. URL: [top-technologies.ru/ru/article/view?id=34306](http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=34306) (дата обращения: 19.12.2019).

7. Мирмов И. Н., Мирмов Н. И. Использование солнечной энергии и вторичных источников теплоты для получения холода // Холодильная техника. 2011. №9. С. 42-48.

8. Tseligorov N., Tseligorova E., Mafura G. Robust absolute stability analysis of a temperature control system for an enclosed space // Труды 13-й Международной школы-семинара "Проблемы оптимизации сложных систем" в рамках международной конференции IEEE SIBIRCON 2017, Новосибирск, 18-22 сент. 2017 г. URL: [conf.nsc.ru/opcs2017/ru/proceedings](http://conf.nsc.ru/opcs2017/ru/proceedings). С. 356-359 (дата обращения: 19.12.2019).

9. Tseligorov N., Tseligorova E., Mafura G. Assessment of robust stability of room temperature control system // Университетский научный журнал. 2017. №30. С. 39-45.

10. Шилкин Н.В. Абсорбционные холодильные машины. // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2008. №1. С. 44-50.

11. Onochie E. U., Ajuwa C. I., Ighodalo O. A. Experimental Solar Thermal Refrigerator Using Methanolas Refrigerant // International Journal of Engineering and Technology. 2014. №4. С. 374-386.

12. Гросман Э.Р., Журавленко В.Я. Исследование абсорбционной холодильной машины с использованием раствора метанола и бромистого лития // Холодильная техника. 1968. №1. С. 4-6.



13. Рубцов В. А. Абсорбционные холодильные машины. Трансформация тепла в холод // Клуб правильных инженеров. URL: 1-engineer.ru/absorbtsionnyie-holodilnyie-mashinyi-transformatsiya-tepla-v-holod (дата обращения: 19.12.2019).

### References

1. Razvitiye VIE v Irake. Gosudarstvennaya informatsionnaya sistema v oblasti energosberezheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti. [The development of renewable energy in Iraq. State Information System in the field of energy conservation and energy efficiency]. URL: gisee.ru/articles/foreign\_politics/27632/
2. Gugulothu R., Somanchi N.S., Banoth H.B., Banothu K. Procedia Earth and Planetary Science. 2015. №11. pp. 361 – 367.
3. Al-Alili A., Hwang Y., Radermacher R. International Journal of Refrigeration. 2014. №39. pp. 4-22.
4. Shcherbakov M.V., Nabiullin A.S., Kamayev V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2012/775
5. Klyanina L.N., Korabel'nikov Ye. G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2182
6. Plotnikov K.V., Alifanova A.I., Seminenko A.S. Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. 2014. № 7-2. URL: URL: top-technologies.ru/ru/article/view id=34306
7. Mirmov I. N., Mirmov N. I. Kholodil'naya tekhnika. 2011. №9. pp. 42-48.
8. Tseligorov N., Tseligorova E., Mafura G. Trudy 13-y Mezhdunarodnoy shkoly-seminara "Problemy optimizatsii slozhnykh sistem" v ramkakh mezhdunarodnoy konferentsii IEEE SIBIRCON 2017, Novosibirsk, 18-22 sent. 2017 g. URL: conf.nsc.ru/opcs2017/ru/proceedings. pp. 356-359.



9. Tseligorov N., Tseligorova E., Mafura G. Universitetskiy nauchnyy zhurnal. 2017. №30. pp. 39-45.
10. Shilkin N.V. AVOK: Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukhа, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika. 2008. №1. pp. 44-50.
11. Onochie E. U., Ajuwa C. I., Ighodalo O. A. International Journal of Engineering and Technology. 2014. №4. pp. 374-386.
12. Grosman E.R., Zhuravlenko V.YA. Kholodil'naya tekhnika. 1968. №1. pp. 4-6.
13. Rubtsov V. A. Absorbtsionnyye kholodil'nyye mashiny. Transformatsiya tepla v kholod. Klub pravil'nykh inzhenerov. [Absorption chillers. Transformation of heat into cold]. URL: [1-engineer.ru/absorbtsionnyie-holodilnyie-mashinyi-transformatsiya-tepla-v-holod](http://1-engineer.ru/absorbtsionnyie-holodilnyie-mashinyi-transformatsiya-tepla-v-holod)