

**СНЕЖКИН Ю.Ф., ЧАЛАЕВ Д.М.,
ШАВРИН В.С., ШАПАРЬ Р.А., КОРИНЧЕВСКАЯ Т.В.**

Институт технической теплофизики НАН Украины

КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ СОРБЦИОННЫХ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ

Розглянуто перспективний напрямок вирішення проблеми по удосконаленню існуючих систем теплохолододоставання і розробці нових комплексних систем з використанням низькотемпературних вторинних енергоресурсів і відновлюваних джерел енергії за допомогою сорбційних термотрансформаторів.

Рассмотрено перспективное направление решения проблемы по усовершенствованию существующих систем теплохладоснабжения и разработке новых комплексных систем с использованием низкотемпературных вторичных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии при помощи сорбционных термотрансформаторов.

The perspective direction of the decision of a problem on improvement of existing systems of heating and refrigerating supply and development of new complex systems with use the low-temperature secondary power resources and renewed sources of energy is considered with the help of sorptive type thermal transformers.

Существующие системы теплохладоснабжения промышленных предприятий в подавляющем большинстве не отвечают современным требованиям энергосбережения, т.к. отдельные технологические процессы не сбалансированы по потреблению и затратам теплоты и искусственного холода, а в низкотемпературных технологических процессах допускаются затраты первичной тепловой энергии при наличии на предприятии вторичных энергоресурсов. Наибольшие потери тепловой энергии в абсолютных значениях имеют место в энергетике, химической, нефтеперерабатывающей, коксохимической и металлургической промышленности, где суммарные потери энергоресурсов превышают 30 млн тонн условного топлива в год, а коэффициент полезного использования энергии составляет лишь 43 %, при этом значительная часть тепловой энергии на температурном уровне 40...130 °C отводится в окружающую среду. В то же время, как показали результаты обследования предприятий химической и нефтехимической отрасли, в теплое время года имеет место неудовлетворительное охлаждение технологического оборудования, вследствие чего уменьшается выпуск продукции, ухудшается ее качество, возрастает загрязнение окружающей среды. Системы теплохладоснабжения коммунальных объектов в своем

большинстве также сориентированы на потребление первичной тепловой энергии даже в регионах с наличием возобновляемых источников энергии [1,2].

Существенным резервом экономии топлива и сокращения дефицита энергоносителей является утилизация вторичных энергоресурсов и вовлечение в энергооборот возобновляемых источников энергии в первую очередь геотермальной и солнечной, а мероприятия по усовершенствованию существующих систем теплохладоснабжения и разработка новых комплексных систем, привлекающих к использованию низкотемпературные вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, являются важной научно-технической задачей, соответствуют энергосберегающей политике государства, рациональному использованию топлива и энергии, а также осуществлению мероприятий по охране окружающей среды.

Одним из перспективных направлений решения этой проблемы является применение в системах теплохладоснабжения абсорбционных термотрансформаторов, которые наиболее полно отвечают требованиям комплексного развития систем теплохладоснабжения и энерготехнологического комбинирования [3, 4]. В зависимости от потребностей системы теплохладоснабжения,

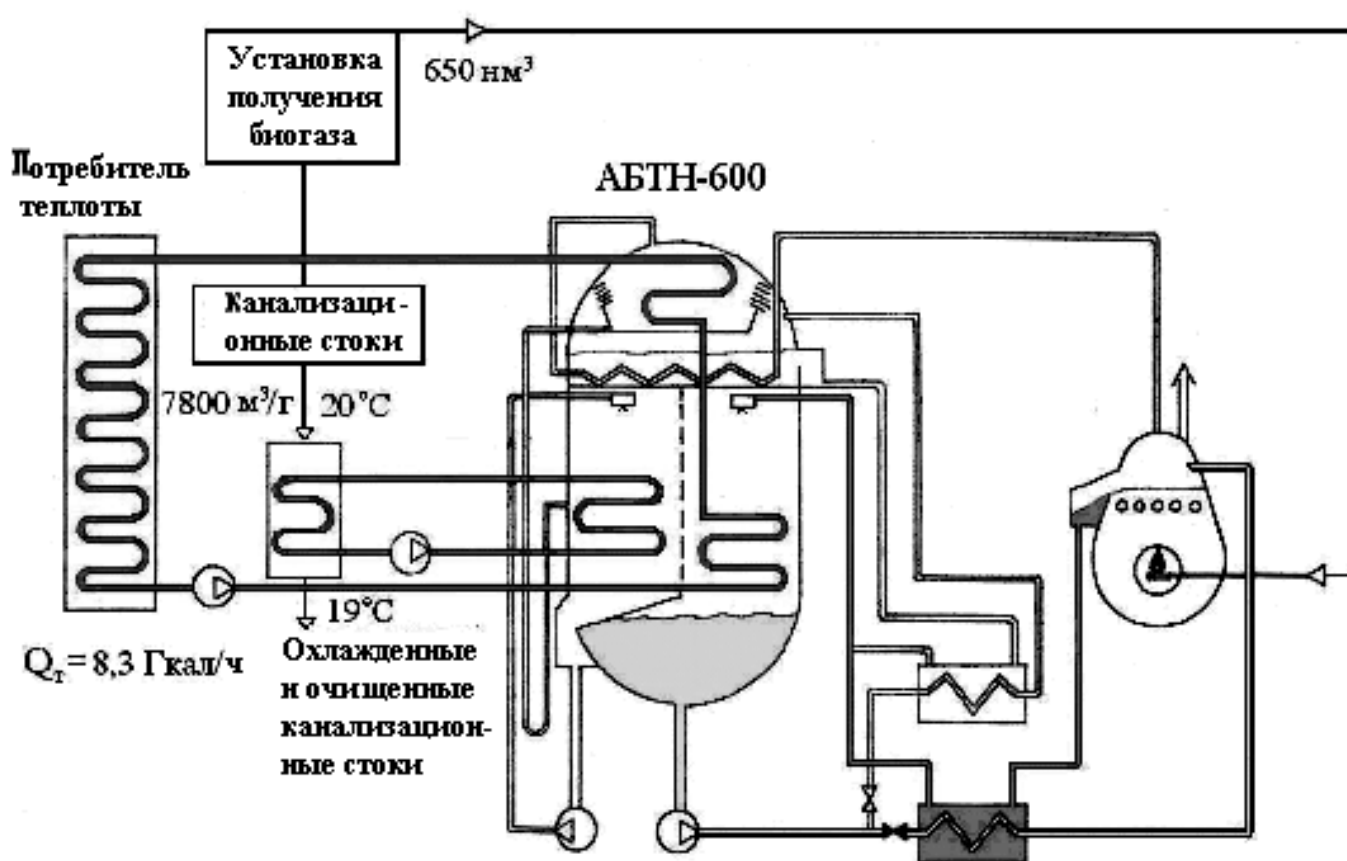


Рис. 1. Система теплоснабжения и очистки канализационных стоков в г. Симферополе.

температурного потенциала источника энергии и температуры окружающей среды абсорбционные термотрансформаторы могут с успехом эксплуатироваться как в режимах повышающего или понижающего теплового насоса, так и в режиме холодильной машины.

Режим работы понижающего термотрансформатора предполагает наличие двух источников энергии – бросовой низкопотенциальной и высокопотенциальной первичной энергии. Коэффициент преобразования теплоты в аппаратах такого типа, представленный как отношение произведенного количества теплоты промежуточного потенциала к количеству затраченной теплоты высокого потенциала, находится в пределах $\mu = 1,6...2,2$. Нижняя граница коэффициента преобразования соответствует одноступенчатым агрегатам, которые применяются при наличии источника высокого потенциала с температурой до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а верхняя – двухступенчатым агрегатам, использующим теплоту источни-

ка с температурой $\geq 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ или генератор с газовым обогревом [5].

Наглядным примером использования теплонасосных агрегатов в комплексных схемах теплоснабжения и утилизации бросовой теплоты является разработанная в ИТТФ НАН Украины система теплоэнергосбережения станций очистки канализационных вод г. Симферополя, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Данная система включает установку получения биогаза и абсорбционные понижающие термотрансформаторы с газовым обогревом. Теплопроизводительность системы $8,3\text{ Гкал/ч}$, капитальные затраты без проектно-конструкторских работ составляют $1,8\text{ млн долларов США}$, в т.ч. $0,65\text{ млн долларов США}$ – стоимость четырех агрегатов АБТН, срок окупаемости при условии стоимости тепла 80 грн/Гкал – $1,7$ года.

В режиме повышающего термотрансформатора при наличии лишь низкотемпературного источника тепловой энергии в холодное время года

возможно повысить температурный уровень имеющейся теплоты на 35...45 °С с коэффициентом трансформации $\mu = 0,5...0,45$. На рис. 2 приведены температурные характеристики повышающего термотрансформатора. Так, например, при температуре низкотемпературного источника ≤ 55 °С и температуре охлаждающей воды ≤ 8 °С температура горячей воды, которая отводится из агрегата, будет находиться на уровне 90 °С и может быть использована для технологических целей и отопления. Применение таких агрегатов целесообразно в системах, работающих на низкотемпературных термальных водах.

В теплое время года и понижающий и повышающий термотрансформаторы с успехом могут работать в режиме холодильной машины для получения холодной воды с температурой +5...+10 °С. Также возможна эксплуатация термотрансформаторов в режиме с одновременным производством теплоты и холода. В этом режиме термотрансформатор будет потреблять внешнюю теплоту повышенного потенциала (140...160 °С), а вырабатывать холодную воду с температурой +5 °С и горячую воду с температурой +55...+65 °С.

Для предприятий химической промышленности Институтом технической теплофизики НАН Украины разработана комплексная схема теплохладоводоснабжения на базе абсорбционных термотрансформаторов – холодильного агрегата с двухступенчатой регенерацией раствора и понижающего теплового насоса. Особенности предлагаемой схемы являются:

- круглогодичная потребность предприятия в искусственном холоде и тепле;
- использование в качестве внешнего источника теплоты высокопотенциальных ВЭР (пар от котлов-утилизаторов);
- утилизация теплоты абсорбции холодильного агрегата в тепловом насосе и повышение ее температурного потенциала до уровня, обеспечивающего ее использование в системе отопления;
- использование теплоты конденсации холодильного агента в системе низкотемпературного воздушного отопления;
- использование водооборотного цикла предприятия для сбалансирования тепловых нагрузок технологических процессов и термотрансформаторов.



Рис. 2. Характеристики повышающего термотрансформатора на растворе LiBr–H₂O.

Принципиальная схема станции теплохладоснабжения (ТХВС) представлена на рис. 3. В состав станции входит: абсорбционный бромистолитиевый холодильный агрегат со ступенчатой регенерацией раствора; абсорбционный бромистолитиевый тепловой насос; отопительно-вентиляционные агрегаты (ОВА): градирня, бак-аккумулятор, промежуточные теплообменники, циркуляционные насосы, запорная и регулирующая арматура.

Холодильный агрегат предназначен для круглогодичного обеспечения производства захлажденной водой с температурой 7 °С. В целях снижения расхода оборотной воды и утилизации низкопотенциального тепла абсорбции, схемой предусматривается его использование в качестве ВЭР в испарителе теплонасосного агрегата, тепло конденсации которого используется для нагрева наружного воздуха в I ступени отопительно-вентиляционных аппаратов.

Теплонасосный агрегат предназначен для покрытия базовой нагрузки в системах отопления и горячего водоснабжения за счет теплоты абсорбции холодильного агрегата.

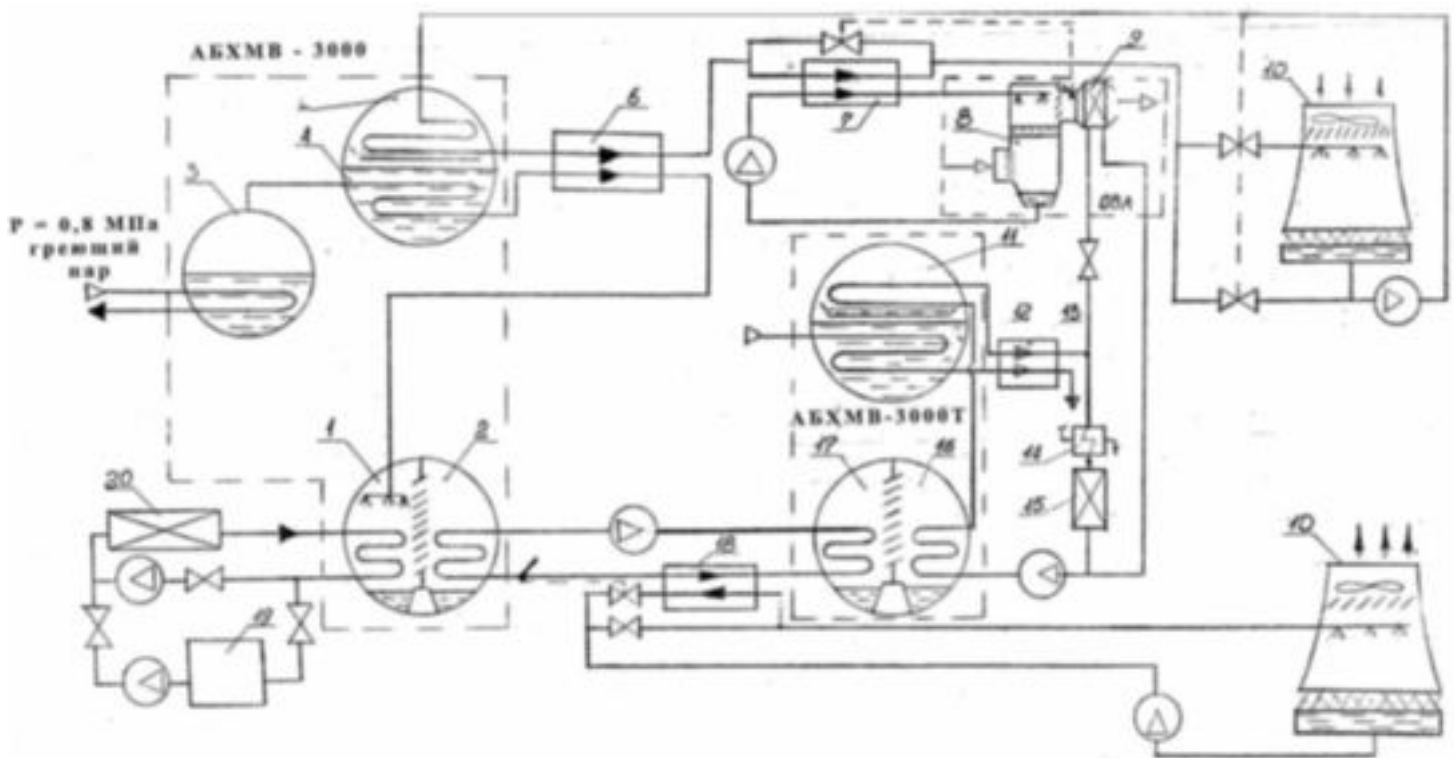


Рис. 3. Принципиальная схема станции теплохладоснабжения ТХВС:

- 1 – испаритель; 2 – абсорбер АХУ; 3 – генератор ВД АХУ; 4 – генератор НД АХУ; 5 – конденсатор;
 6 – переохладитель; 7 – нагреватель; 8 – отопительно-вентиляционный аппарат ОВА;
 9 – контур циркуляции; 10 – градирня; 11 – конденсатор АТН; 12 – генератор АТН;
 13 – подогреватель; 14 – пиковый подогреватель; 15 – тепловая нагрузка; 16 – абсорбер АТН;
 17 – испаритель АТН; 18 – промежуточный теплообменник; 19 – бак аккумуляторов;
 20 – холодильная нагрузка.**

Пиковый догрев сетевой воды осуществляется в паровых подогревателях. В летнее время года избыток низкопотенциального тепла абсорбции и конденсации холодильного агрегата отводится в окружающую среду.

Отопительно-вентиляционные агрегаты предназначены для тепловлажностной обработки атмосферного воздуха, направляемого в систему воздушного отопления.

Рабочие процессы в системе теплохладоснабжения протекают следующим образом. В трубном пространстве испарителя холодильного агрегата охлаждающий теплоноситель, отдавая теплоту кипящему на наружной поверхности труб хладагенту. Образовавшиеся пары хладагента поглощаются в абсорбере раствором бромистого лития. Выделяющаяся теплота абсорбции отводится охлаждающей водой, которая циркулирует в кон-

туре, включающем испаритель теплового насоса и промежуточный теплообменник. Промежуточный теплообменник предназначен для снятия избытка теплоты при снижении тепловой нагрузки на АТН.

Для организации непрерывного процесса необходимо постоянно восстанавливать концентрацию водного раствора. Восстановление концентрации абсорбента производится ступенчато в генераторах высокого и низкого давлений. При этом генератор высокого давления обогревается внешним теплоносителем (паром от котлов-утилизаторов), а генератор низкого давления – вторичным паром, образовавшимся в генераторе высокого давления при восстановлении концентрации раствора бромистого лития. Пар из генератора низкого давления поступает в конденсатор, где конденсируется, отдавая теплоту конденсации охлаждающей воде. В свою оче-



Рис. 4. Годовой график отопительной нагрузки (а) и график температур сетевой воды (б):
 $\Sigma Q_c \approx 40600$ Гкал; $Q_{min} \approx 30800$ Гкал.

1 – температура прямой сетевой воды; 2 – температура на выходе из переохладителя конденсата;
 3 – температура на выходе из абсорбера; 4 – температура на входе в абсорбер.

редь, вода служит источником теплоты для нагрева теплоносителя в нагревателе, включенном в первый контур циркуляции теплоносителя отопительно-вентиляционных аппаратов. В теплое время года при отсутствии нагрузки на ОВА теплота конденсации отводится в окружающую среду путем подачи охлаждающей воды на градирню. Процесс поглощения водяных паров в абсорбере теплового насоса происходит при температуре 65...70 °С, а конденсации – при температуре 90 °С, что позволяет нагреть теплоноситель до температуры 75...80 °С и использовать его в системе отопления и горячего водоснабжения.

В отличие от холодильного агрегата, работающего круглогодично в постоянном режиме, близком к номинальному, АТН в течение всего отопительного сезона эксплуатируется в переменном режиме. На рис. 4 изображен годовой график отопительной нагрузки для города Дзержинска, где отражены особенности работы АТН в течение отопительного сезона. В течение 4000 часов, когда отопительная нагрузка превышает производи-

тельность АТН, количество теплоты, получаемой от него изменяется незначительно (от 7 до 6,4 Гкал/ч) вследствие переменной температуры обратной сетевой воды на входе в абсорбер. Нагрузка пикового подогревателя при этом изменяется от максимума (9,5 Гкал/ч) до нуля. В период, когда отопительная нагрузка становится меньше производительности АТН, для обеспечения его экономичной работы необходимо ступенчато уменьшать расход пара в генератор АТН в зависимости от отопительной нагрузки. Поскольку нагрузка абсорбера холодильного агрегата при всех режимах совместной работы машин больше нагрузки испарителя АТН, избыток тепла абсорбции отводится в промежуточном теплообменнике, включенном последовательно с испарителем АТН, который охлаждается обратной водой. В летний период ($t_n > 4...8$ °С) теплонасосный агрегат отключается. Охлаждение абсорбера холодильного агрегата осуществляется от градирни, а теплота конденсации используется для целей горячего водоснабжения.

Выводы

Анализ технологической схемы подтверждает экономическую целесообразность использования абсорбционных термотрансформаторов в системах теплохладоводоснабжения промышленных предприятий. Реализация такой схемы позволяет получить значительный экономический эффект благодаря:

- использованию ВЭР (утилизационного пара) для выработки холода при двухступенчатой схеме регенерации раствора;

- использованию низкопотенциальной теплоты конденсации холодильного агента для нагрева приточного воздуха в отопительно-вентиляционных аппаратах;

- использованию теплоты абсорбции холодильного агрегата в тепловом насосе;

- существенному уменьшению нагрузки водородного цикла.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной схемы ТХВС составляет более 250 тыс. долларов США в год. Срок окупаемости – 3,5...4 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сухін Є.* Доповідь голови Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів на засіданні Кабінету Міністрів України 22 лютого 2006 року // *Енергосбереження.* – 2006. – № 3. – С. –7 – 10.

2. *Енергетичні ресурси та потоки.* – Київ. Українські енциклопедичні знання, 2003. – 472 с.

3. *Мартиновский В.С.* Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. – М.: Энергия, 1979. – 286 с.

4. *Краевский В.Н., Чалаев Д.М., Шаврин В.С.* Перспективы использования абсорбционных бромистолитиевых термотрансформаторов на предприятиях химической промышленности // *Промышленная теплотехника.* – 2003. – Т. 25, прилож. к № 4. – С. 276 – 777.

5. *Гросман Э.Р., Шаврин В.С.* Экспериментальное исследование процессов абсорбционной холодильной установки со ступенчатой регенерацией раствора // *Холодильная техника.* – 1979. № 5. – С.12–16.