

УДК 621.565:662.997

Долинский А.А., Снежкин Ю.Ф.,
Чалаев Д.М., Шаврин В.С.*Институт технической теплофизики НАН Украины*

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ СОРБЦИОННОГО ТИПА

Представлен обзор работ Института технической теплофизики НАНУ по исследованию и разработке новых рабочих веществ и совершенствованию конструкций сорбционных термотрансформаторов.

Наведено огляд праць Інституту технічної теплофизики НАНУ щодо дослідження та розробки нових робочих речовин та вдосконалення конструкцій сорбційних термотрансформаторів.

The review of the Institute of Engineering Thermophysics works on research and development of new working mediums and improvement of constructions of sorption type thermal converters is presented.

Повышение эффективности использования энергетических ресурсов и обеспечение экологической безопасности энергоснабжения во многом зависит от применения передовых энергосберегающих технологий. Одним из путей решения этой задачи является создание и внедрение новых теплотехнологических процессов с использованием эффективного энергосберегающего оборудования – тепловых насосов. В последние десятилетия этому направлению уделяется большое внимание во всех индустриально развитых странах мира. При этом особый интерес проявляется к совершенствованию сорбционных (жидко- и твердотельных) термотрансформаторов, т. к. они отличаются высокой энергетической эффективностью, широким диапазоном регулирования производительности и экологической чистотой применяемых рабочих тел. Внедрение трансформаторов теплоты нового поколения в энергоемкие отрасли промышленности и жилищно-коммунальное хозяйство способно обеспечить значительную экономию топлива и уменьшить выбросы "парниковых" газов на десятки процентов.

В Институте технической теплофизики НАН Украины накоплен большой опыт исследования термодинамических циклов и процессов теплообмена, необходимый для разработки и внедрения холодильных машин и тепловых насосов сорбционного типа. В начале 1950-х годов Институт теплоэнергетики АН УССР (ныне

ИТТФ) инициировал широкий комплекс исследовательских работ по изучению сорбционных процессов при тепловлажностной обработке воздуха растворами неорганических солей и производстве искусственного холода, которые послужили основой для создания в СССР абсорбционных бромистолитиевых холодильных машин и тепловых насосов [1,2]. Аналогичные исследования в те же годы проводились и в Ленинградском технологическом институте холодильной промышленности.

В 1955 – 56 годах в Институте теплоэнергетики была создана и испытана первая экспериментальная абсорбционная бромисто-литиевая установка [3], которая продемонстрировала практическую возможность выработки искусственного холода с температурой 4...8 °С. Полученные экспериментальные данные по коэффициентам теплопереноса в оросительных и затопленных аппаратах, допустимым граничным концентрациям раствора и рациональным режимам работы в зависимости от степени рециркуляции раствора были использованы в качестве исходных данных для проектирования опытно-промышленной абсорбционной бромистолитиевой установки БЛУ-3 с адиабатным испарением хладагента холодопроизводительностью 2900 кВт.

Позднее, с середины 60-х годов, исследования в этом направлении были сконцентрированы в Институте теплофизики Сибирского Отделения Академии Наук, а решение вопросов проектиро-

вания и организации серийного производства бромистолитиевых абсорбционных машин возложено на Московский институт "ВНИИХолодмаш" и завод "Пензхиммаш", который освоил выпуск абсорбционных холодильных агрегатов, производимых ранее на Одесском заводе "Автогенхолодмаш".

Следующей стадией научных исследований ИТТФ по абсорбционным термотрансформаторам была разработка энергосберегающих циклов со ступенчатой регенерацией раствора. Использование теплоты конденсации выпаренного в высокотемпературной ступени хладагента для регенерации раствора в следующей ступени позволило в 1,6 раза снизить потребление первичной тепловой энергии и примерно на 40 % уменьшить расход охлаждающей воды [4].

Для практической реализации данной схемы необходимо было решить ряд технических вопросов, связанных с высокотемпературной регенерацией водного раствора бромистого лития. В связи с этим на первом этапе исследований был изучен процесс кипения раствора бромистого лития при 150...160 °С и связанные с этим вопросы предотвращения пенообразования, уноса и роста коррозионного воздействия раствора на конструкционные материалы. По результатам исследований получены величины предельно допустимых значений напряжения парового объема зеркала испарения в высокотемпературном генераторе, предложена методика расчета двухступенчатой машины и выданы рекомендации по выбору конструкционных материалов и ингибиторов коррозии.

После проведения цикла экспериментальных исследований и отработки на лабораторном прототипе конструкции высокотемпературного генератора создана и внедрена в серийное производство первая в СССР двухступенчатая бромистолитиевая машина холодопроизводительностью 3000 кВт (рис.1). В машине применено эффективное техническое решение – параллельное распределение раствора между высоко и низкотемпературными ступенями генератора, позволяющее переводить в двухступенчатый режим работы серийные одноступенчатые агрегаты АБХА-2500 путем их дооборудования высокотемпературной приставкой, состоящей из ступе-



Рис. 1. Абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина со ступенчатой регенерацией раствора АБХА-2500-2В.

ни генератора высокого давления и высокотемпературного теплообменника растворов [5].

Для повышения технико-экономических показателей сорбционных термотрансформаторов проведены работы по интенсификации процессов тепломассопереноса с применением поверхностно-активных веществ. Установлен ряд многоатомных спиртов, оказывающих влияние на физико-химические свойства бромистого лития. Предложена физическая модель интенсифицирующего действия многоатомных спиртов на процессы тепло- и массопереноса при абсорбции. Получены расчетные зависимости для определения коэффициентов теплообмена в оросительном абсорбере. Введение интенсифицирующих добавок позволило увеличить удельную холодопроизводительность абсорбционных машин на 30 % [6].

С участием специалистов института на предприятиях химической, резинотехнической, металлургической отраслях введено в эксплуатацию около 30 абсорбционных термотрансформаторов, в том числе на Киевском заводе "Вулкан", Челябинском хлопчатобумажном и Магнитогорском металлургическом комбинатах. Для ряда предприятий с целью достижения максимального эффекта от использования абсорбционных термотрансформаторов разработаны оригинальные технические решения включения АБХМ в технологические схемы производства, защищенные патентами.



Рис. 2. Общий вид исследовательского центра "Гелиотерм".

Наряду с разработкой бромистолитиевых агрегатов промышленного назначения, в ИТТФ НАНУ, начиная с 1970-х годов, выполняются исследования по созданию абсорбционных холодильных и теплонасосных установок, работающих с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной.

Выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, по поиску новых рабочих тел для этих систем. Основной целью работ являлось создание сорбционных пар, имеющих невысокую температуру регенерации (достижимую в плоских солнечных приемниках), интенсификация процессов теплопереноса в аппаратах и совершенствование схемных и конструкторских решений с целью уменьшения удельного электропотребления абсорбционных установок.

По результатам исследований термодинамических свойств ряда одно- и многокомпонентных водных и спиртовых систем определены перспективные сорбционные пары для различных приложений. Выполнено детальное исследование этих веществ, включающее построение термодинамических диаграмм и определение их эксплуатационных характеристик на лабораторной модели термотрансформатора. Показано, что для выработки холода минусовых температур перспективной является пара метанол-бромистый литий. Эта рабочая пара позволяет получать

холод до -15°C при невысокой температуре греющего источника (85°C) и по сравнению с традиционной водоаммиачной системой имеет более высокий коэффициент преобразования [7]. Для открытых гелиоабсорбционных систем рекомендовано использовать в качестве сорбента водный раствор хлористого лития [8].

В 1980 – 90-х годах в ИТТФ разработаны модификации гелиоабсорбционных термотрансформаторов производительностью от 30 до 350 кВт, предназначенные для эксплуатации в различных климатических зонах.

Для условий с сухим жарким климатом, характерным для Средней Азии, создана гелиоабсорбционная хлористолитиевая холодильная установка холодопроизводительностью 350 кВт с открытой регенерацией раствора, которая обеспечивала кондиционирование воздуха в многоэтажных жилых домах одного из микрорайонов города Ашхабада. Данная установка отличалась простотой конструкции солнечного регенератора, основным элементом которого являлась орошаемая раствором плоская кровля здания.

Натурные испытания других модификаций солнечных абсорбционных термотрансформаторов с воздушной десорбцией были проведены в Крыму и республике Куба. Установка САТ-100 на экспериментальной базе "Гелиотерм" в Крыму (рис. 2) летом осуществляла кондиционирование воздуха в помещениях, а зимой - воздушное и панельное отопление. Целью натурных исследований являлось изучение возможностей систем круглогодичного солнечного теплохладоснабжения и разработка рекомендации по их проектированию.

Для климатических условий средней полосы Украины и России создан гелиоабсорбционный термотрансформатор закрытого типа (рис.3), предназначенный для круглогодичного производства теплоты и холода. Опытно-промышленная эксплуатация термотрансформатора мощностью 50 кВт для теплохладоснабжения свиарника-маточника в городе Зернограде Ростовской области продемонстрировала перспективность данного типа оборудования.

Накопленный опыт эксплуатации абсорбционных термотрансформаторов показал, что для создания эффективной автономной системы

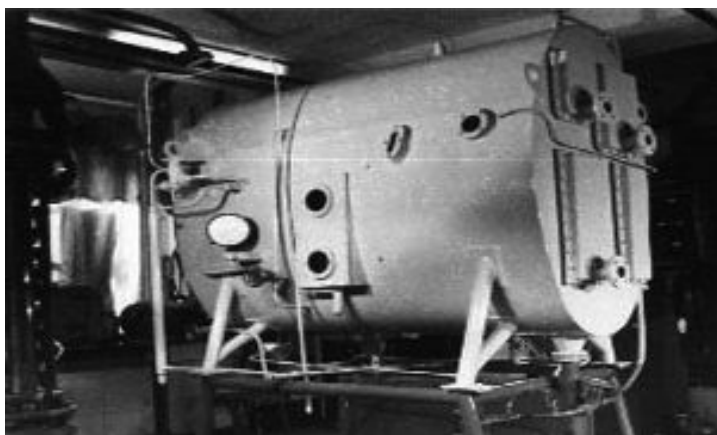


Рис. 3. Гелиоабсорбционный термотрансформатор ТТА-30.



Рис. 4. Экспериментальный солнечный адсорбционный холодильник.

солнечного теплохладоснабжения прежде всего необходимо решить вопрос кратко- и долгосрочного хранения тепловой энергии. Для решения данной задачи в 80-е годы в институте были начаты исследования рабочих тел твердотельных термотрансформаторов. На первом этапе работ планировалось создание адсорбционного агрегата для бытового солнечного холодильника. Основными требованиями, предъявляемыми к разработке, были: полная автономность, транспортабельность, способность вырабатывать минусовой холод при температуре окружающей среды до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и воздушном охлаждении аппаратов, что обусловило необходимость поиска новых рабочих тел, отвечающих этим условиям.

Исследование сорбционных свойств известных промышленных сорбентов показало, что эти материалы не могут обеспечить необходимую эффективность солнечного холодильника, т. к. в требуемом диапазоне рабочих температур их сорбционная емкость очень мала. По этой причине главный упор в работе был сделан на создание нового высокоемкого адсорбента на основе эффекта хемосорбции и предложено использовать в качестве сорбирующего вещества соли щелочных металлов с добавкой наполнителя для повышения механической прочности гранул [9].

На базе сорбционной пары бромид лития – метанол разработан композитный солевой сорбент, гранулы которого имеют жесткий пористый каркас из инертного материала с внедренным в поры каркаса бромистым литием. Это позволило

добиться значительного увеличения сорбционной емкости, т. к. пористый каркас способствует удержанию соли в грануле даже после ее растворения, обеспечивая работоспособность адсорбента как в области твердой, так и жидкой фазы солевого раствора [10].

На основании экспериментальных исследований нового сорбента и моделирования холодильного цикла получены базовые величины, необходимые для проектирования солнечного адсорбционного холодильника: изотермы и дифференциальные теплоты адсорбции, коэффициенты переноса в аппаратах, оптимальная загрузка адсорбера и углы наклона солнечного приемника в зависимости от климатических условий [11].

Натурные испытания экспериментального образца холодильника (рис. 4) проводились на полигоне "Гелиотерм" в Крыму. Испытания показали стабильную работу холодильника и подтвердили эффективность сорбента. Средняя суточная выработка холода при интенсивности солнечного излучения до 800 Вт/м^2 составила 2500 кДж на 1 м^2 площади солнечного приемника, величина приведенного теплового коэффициента – $0,11...0,13$. По сравнению с известными аналогами разработанный холодильник имеет в $1,5...2$ раза меньшую материалоемкость генератора-адсорбера и обеспечивает получение холода при более высоких температурах сорбции и конденсации.

Повышенная сорбционная емкость разработанного сорбента, а также способность адсорб-



Рис. 5. Экспериментальные образцы переносных холодильников с адсорбционным холодильным агрегатом.

ционных холодильников вырабатывать холод без одновременного потребления энергии позволяет создать весьма компактные автономные холодоаккумулирующие агрегаты периодического действия. Зарядка агрегата (регенерация сорбента) может осуществляться от электросети, после чего холодильник способен длительное время находиться в состоянии готовности к выработке холода и при включении работает без потребления энергии. Указанные достоинства, а также простота конструкции адсорбционного агрегата делают его вполне конкурентоспособным с компрессионными холодильными агрегатами, несмотря на то, что холодильный коэффициент адсорбционного цикла ниже. Такие агрегаты могут применяться в холодильниках для хранения медицинских препаратов в полевых условиях, выездной торговле и в автомобильных холодильниках.

Созданы и испытаны экспериментальные образцы адсорбционных холодильных агрегатов для переносного холодильника-сумки объемом 10 литров и автомобильного холодильника-ларя объемом 35 литров (рис. 5). Регенерация сорбента производится от электросети в течение 1,5...2 часов, после чего испаритель с хладагентом отсекается запорным клапаном. В состоянии готовности к выработке холода сумка-холодильник может длительное время храниться и транспор-

тироваться. Производство холода осуществляется без одновременного потребления энергии и длится 15...20 часов.

Выводы

1. На основе композитных сорбентов перспективно создание теплонасосного оборудования с теплоаккумулирующими возможностями. Такие установки найдут применение в качестве отопительных агрегатов для индивидуальных жилых домов.

2. При потреблении электроэнергии только в ночное время по льготному тарифу адсорбционный теплонасосный агрегат способен осуществлять круглосуточное отопление за счет преобразования низкопотенциальной теплоты окружающей среды в теплоту повышенного потенциала.

3. В настоящее время институтом совместно с "Крымтеплокоммунэнерго" формируется региональная программа реконструкции коммунальной энергетики АР Крым, которая предусматривает использование современных энергосберегающих технологий в системах автономного теплоснабжения здравниц и коммунальных объектов с вовлечением в энергетический оборот вторичных и возобновляемых источников энергии, в том числе теплоты морской воды. Первый этап программы предполагает модернизацию системы энергоснабжения города Керчь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернобыльский И.И., Кремнев О.А. Энергетические показатели использования тепла для кондиционирования воздуха // Труды Ин-та теплоэнергетики АН УССР. 1953. №9. С.18 – 34.
2. Чернобыльский И.И., Кремнев О.А., Чавдаров А.С. Исследование лабораторно-опытной хлористо-литиевой установки для кондиционирования воздуха за счет тепла низкого потенциала // Труды Ин-та теплоэнергетики АН УССР. 1955. №12. С. 150 – 159.
3. Чернобыльский И.И., Кремнев О.А., Данилевич Н.Н. Исследование вакуум-водяной абсорбционной бромисто-литиевой установки для охлаждения кондиционирующей воды // Труды

Ин-та теплоэнергетики АН УССР. 1956. №13. С. 123 – 134.

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

5. *Гросман Э.Р., Шаврин В.С., Ткачук А.П., Шмуйлов Н.Г.* Промышленный абсорбционный бромистолитиевый холодильный агрегат со ступенчатой регенерацией раствора // Холодильная техника. 1983. №4. С.10 – 13.

6. *Наумов С.Е.* Интенсификация процессов тепломассообмена в абсорбере бромистолитиевого абсорбционного трансформатора тепла: Дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1987. – 120 с.

7. *Гросман Э.Р.* Исследование абсорбционных термотрансформаторов, использующих в качестве рабочего тела раствор метанол - бромистый литий: Дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1971. – 161 с.

8. *Kremnyov O.A., Zhuravlenko V.Ya., Grosman E.R., Tolstykh I.P., Shavrin V.S.* Study and development of absorption-type solar-cooling units. XV International Congress of refrigeration, Venezia (Italy) – 1979, Commission B2-54, p. 1 – 5.

9. *Grosman E.R., Suoslova N.K., Chalaev D.M.* Methanol as a working medium in sorption type thermal converters. XVI International Congress of refrigeration, Paris (France) – 1983, Commission B-1, p. 359–364.

10. *А.с. 1477999 СССР.* Оpubл. в Б. И. ,1989, №17.

11. *Чалаев Д.М.* Создание солнечного адсорбционного холодильника на солевых сорбентах с наполнителем: Дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1996. – 165 с.

Получено 16.03.2006 г.