

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

На правах рукописи

РАКИТИН ОЛЕГ ИВАНОВИЧ

АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ  
АДСОРБЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Специальность: 05.14.04 – Промышленная  
теплоэнергетика

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
кандидата технических наук

*Ракин*

№. 38. 533

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Институте технической теплофизики  
НАН Украины

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор В.Я.Журалевич

доктор технических наук  
Ф.Ф.Снежкин

кандидат технических наук  
В.С.Дверняков

Ведущая организация:

Государственный научно-ис-  
следовательский и проектно-  
конструкторский институт  
нетрадиционной энергетики  
и электротехники Минэнерго  
Украины

Защита диссертации состоится " 28 " октяб 1997 года  
в 14 час. на заседании специализированного ученого совета  
Д 50.04.02 в Институте технической теплофизики НАН Украины по  
адресу: 252057, г.Киев, ул.Лялябова, 2а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института техни-  
ческой теплофизики НАН Украины:

Автореферат разослан " 18 " сентяб 1997 года.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00751528 (S)

Ученый секретарь  
специализированного ученого  
совета  
доктор технических наук

*Урицький*

Ф.А.Кривошей

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. Разработка новых теплоэнергетических установок стимулировало создание соответствующих теорий и методов обработки результатов физических измерений, получаемых в различных областях науки и техники. Их целью является определение таких параметров наблюдаемых явлений, которые не могут быть непосредственно получены из эксперимента, а вычисляются по результатам измерений других величин. При исследовании тепло-массообмена искомыми, как правило, являются интенсивность внешней тепловой нагрузки, параметры тепло-массопереноса и, как следствие, интенсивность внутренних источников энергии. Это становится необходимым при проектировании действительно работоспособных теплоэнергетических установок.

Особенно актуальным, в связи с необходимостью экономии основных энергоресурсов, стала разработка систем теплового аккумулярования в сочетании с тепловым насосом, как средства для зарядки и разрядки аккумулятора. Среди них наиболее эффективен адсорбционный тепловой насос-аккумулятор, позволяющий использовать вторичные энергоресурсы. При этом его энергетическая емкость, коэффициент преобразования определяется плотностью запасаемой энергии или теплофизическими свойствами рабочей пары: адсорбент - адсорбат. Поиск последних за рубежом, на Украине еще не выявил достаточно энергоемких и устойчивых к различным нагрузкам подобных веществ. В то же время по известным классам адсорбентов и адсорбатов еще нет достаточного экспериментального материала в виду оценки эффективности процессов тепло-массопереноса для данной адсорбционной системы.

Цель работы: на основании экспериментальных исследований статики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат, определения тепловых и емкостных характеристик адсорбента в исследуемом интервале температур разработать методику расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора и, применив эту методику, создать адсорбционный тепловой насос-аккумулятор.

Для решения поставленной задачи были выполнены следующие этапы работы:

- экспериментальное исследование статики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат;
- определение тепловых и емкостных характеристик адсорбен-

та в исследуемом интервале температур;

- исследование энергетических характеристик адсорбционного теплового насоса-аккумулятора при различных тепловых нагрузках;
- выбор оптимальной рабочей пары для адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
- разработка методики и проведение расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
- разработка схем адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
- экспериментальная проверка результатов расчета путем исследования экспериментального образца адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

Научная новизна. На основании экспериментальных исследований статики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат, определения тепловых и емкостных характеристик адсорбента в исследуемом интервале температур разработана методика расчета и создан адсорбционный тепловой насос-аккумулятор. Подобраны оптимальные рабочие пары для адсорбционного теплового насоса-аккумулятора. Разработаны оптимальные схемы адсорбционного теплового насоса-аккумулятора, защищенные авторскими свидетельствами №181554I, №1815542.

Практическая значимость. Разработанная методика расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора позволяет подобрать оптимальную рабочую пару, рассчитать и создать оптимальную схему адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

Реализация результатов. Результаты работы использованы для разработки теории и эксперимента локально-неравновесных систем в адсорбции, согласно задания ГКНТ Украины; а также при разработке адсорбционного теплового аккумулятора, согласно Постановления Совета Министров Украины от 2 ноября 1988 г., №340, проверенная на экспериментальной базе ИТФ НАН Украины.

Автор защищает:

- установленные закономерности статики и кинетики сорбции адсорбата адсорбентом для оптимизированных рабочих пар;
- методику расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
- схемы адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-практической конференции "Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии", г.Се-

вастополь, 1990г.; II Всесоюзной научно-технической конференции "Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении", г.Нальчик, 1991г.; Республиканской научно-практической конференции "Использование солнечной энергии в народном хозяйстве", г.Ташкент, 1991 г.; Всесоюзном научно-техническом семинаре "Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села", п.Кацивели, 1991г.; научно-практической конференции "Сельскохозяйственная теплоэнергетика", г.Севастополь, 1992г.; II Международной конференции "Проблемы экологии и ресурсосбережения сельскохозяйственных районов и агропромышленных комплексов", г.Одесса, 1992г.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 12 статьях и 3 авторских свидетельствах.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 186 стр. машинописного текста, иллюстрируется 58 рис., содержит 16 табл., состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной литературы из 87 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность темы и сформулированы научные положения диссертации, защищаемые автором.

В первой главе показано состояние вопроса и задачи исследования по применению твердых сорбентов в тепловых насосах с целью аккумулялирования энергии вторичных энергоресурсов.

Вопрос аккумулялирования энергии за счет вторичных энергоресурсов является важным с точки зрения экономии энергетических ресурсов страны. Тем более, что аккумулялирование энергии происходит от источников низкого потенциала, что связано с значительным ее потреблением на этом уровне в народном хозяйстве. На Украине, за рубежом большое внимание уделяется созданию всевозможных тепловых аккумуляторов именно с этой целью. Об эффективности того или иного вида аккумулялирования можно судить по конкретному применению этих аккумуляторов. Особо следует уделить внимание сорбционным теплоаккумуляторам. Преимущество последних перед другими заключается в том, что аккумулялирующие вещества сохраняют потенциал энергии при окружающей температуре и не требуют специальной теплоизоляции. Теплота в таком виде может храниться годами.

Разрядку и зарядку теплового аккумулятора можно производить

при помощи теплового насоса.

Эффективность работы адсорбционного теплового насоса-аккумулятора определяют теплофизические свойства используемой рабочей пары, что в основном определяет рабочая адсорбционная емкость, теплота адсорбции  $Q_a$ , коэффициент диффузии  $D$ , организация тепло-массообмена. При этом необходимо учитывать пороговые температуры адсорбции и десорбции, т.е. температурную область применения.

Проведенный анализ показал, что несмотря на теоретическую и практическую ценность проведенных работ по аккумулярованию энергии от возобновляемых источников, вторичных энергоресурсов при помощи тепловых насосов адсорбционного типа, эта работа еще далека от завершения. Еще не найдены достаточно эффективные рабочие пары, не исследованы в достаточной мере их теплофизические свойства. Поэтому основное направление исследований будет заключаться в следующем:

- экспериментальное исследование статики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат;
- определение тепловых и емкостных характеристик адсорбента в исследуемом интервале температур;
- исследование энергетических характеристик адсорбционного теплового насоса-аккумулятора при различных тепловых нагрузках;
- разработка методики и проведение расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
- экспериментальная проверка результатов расчета путем исследования экспериментального образца адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

Вторая глава посвящена описанию экспериментальных установок и методик исследования статики, кинетики сорбционных явлений в адсорбционном тепловом насосе-аккумуляторе.

Приводится метод определения величины адсорбционной емкости в зависимости от давления  $P$  при постоянной температуре  $t$  вида  $a = f(P)_t$ , а также метод определения степени отработки адсорбционной емкости  $\delta$  в зависимости от времени  $\tau$  вида  $\delta = f(\tau)$ ; на основании чего происходит определение условного коэффициента диффузии  $D_y$ .

Приведен анализ погрешностей измерений.

В третьей главе изложены результаты исследования статики сорбционных процессов.

Были получены результаты исследований экспериментальных образцов цеолитов шариковой и черенковой формы №а-го и Са-го

типа класса А,Х,М / в качестве адсорбата - вода здесь и в последующих случаях/, утверждающие, что наиболее перспективными формами цеолитов для нужд адсорбционного аккумулирования являются цеолиты №-го типа класса Х черенковой формы. Также были получены экспериментальные данные для силикагеля типа КСМ, позволяющие утверждать его неперспективность для использования в адсорбционных тепловых насосах из-за линейности изотерм, что в значительной мере уменьшает его рабочую адсорбционную емкость при малых давлениях.

Помимо этого были исследованы соли  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , как наиболее дешевые и широко распространенные кристаллогидраты, отвечающие условиям работы адсорбционного теплового насоса-аккумулятора. При исследовании данных солей использовались как специальные пористые наполнители, так и сами соли в виде гранул полипористой структуры. Приобретенная пористость послужила причиной изменения теплофизических свойств данных веществ: произошло расщепление изостерн адсорбции для этих же солей, но в порошкообразном состоянии, на целый спектр изостер/рис. I/.

В главе четвертой представлены экспериментальные результаты исследований кинетики сорбционных свойств в моделируемом массовом потоке паров воды целого ряда цеолитов, в частности, №АХ-У, солей  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , а также в стационарном массовом потоке адсорбата, включая выше указанные соли и цеолит, как наиболее перспективные адсорбенты, и соль  $\text{CaCl}_2$  + наполнитель.

В большинстве теоретических работ считается, что коэффициент диффузии не зависит от степени обработки адсорбционной емкости. Это не всегда физически оправдано, т.к. в механизме переноса определенную роль играет поверхностная диффузия адсорбированного вещества, то и коэффициент диффузии зависит от концентрации адсорбата в адсорбенте, что приводит к нелинейной математической задаче. Поэтому при создании эффективного адсорбционного теплового насоса необходимо изучение эффектов нелинейной сорбции, а именно влияние ее на параметры внутридиффузионного процесса, прежде всего в лице коэффициента диффузии. Задача решается приближенными аналитическими методами, в частности, при обработке экспериментальных данных с использованием выражения для расчета формальной величины коэффициента диффузии /условного коэффициента диффузии/. Условность коэффициента диффузии обусловлена смешанным механизмом сорбции; затрудняемого, в частности, вязкостным течением газа в порах, что определяется неомогенной пористостью промышленных адсорбентов.

Исследование условного коэффициента диффузии при этом проводи-

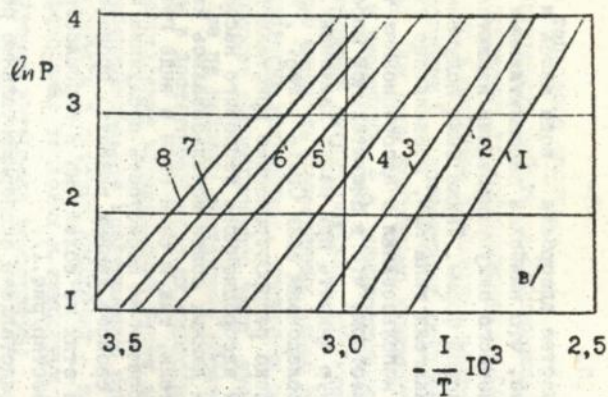
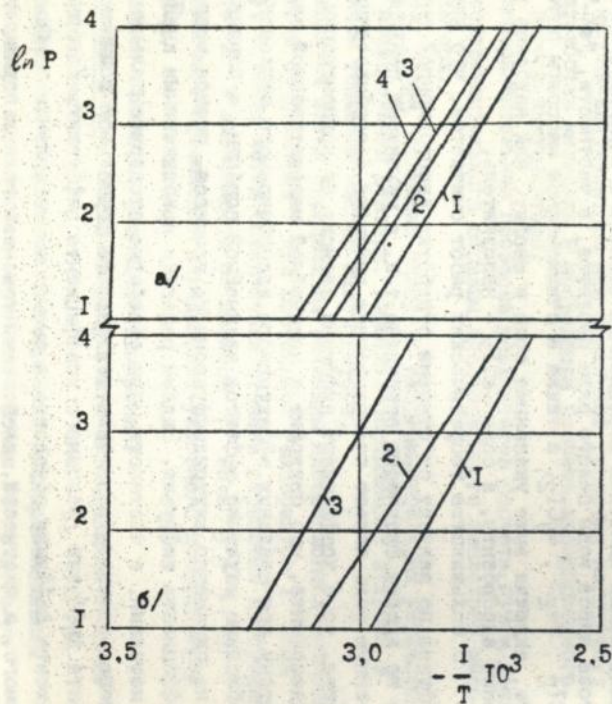


Рис. 1. Изостерн адсорбции рабочих пар а/  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ : 1+4 -  $a = 0,05; 0,1; 0,162; 0,324$  кг/кг; б/  $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ : 1+3 -  $a = 0,01; 0,2; 0,378$  кг/кг; в/  $\text{CaCl}_2 + \text{наполнитель} - \text{H}_2\text{O}$ : 1+8 -  $a = 0,01; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$  кг/кг.

лось в виде функции  $D_y = f(P)_t$ ,  $D_y = f(\delta)_t / D_{ij}$ , где  $i$  соответствует величине  $\delta$ ,  $j$  - температуре  $t$ . Это позволило определить плотности сорбционного  $P_D$  и теплового потока  $j$  адсорбции:

$$P_{Dij} = \frac{D_{ij} \cdot P_{i+1} \cdot \ln(P_{i+1}/P_i)}{R \cdot T_j \cdot d}$$

$$j_{ij} = P_{Dij} \cdot Q_a$$

а также плотность теплового потока конденсации:

$$j_{kij} = \gamma_{jk} \cdot P_{Dij}$$

Результаты исследований показали, что условный коэффициент диффузии в грануле адсорбента в потоке пара, движущегося со скоростью  $V = 0,001$  м/с, достаточно высок для цеолита №а-го типа класса X и солей  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ , но ниже, чем для стационарных условий, что связано с увеличением поверхностного поглощения. Исследование зависимости поглощения в виде функций  $P_D = f(t)\delta$ ,  $j = f(t)\delta$ ,  $j_k = f(t)\delta$  показали, что плотность теплового потока достаточно высока для рабочей пары цеолит №аХ-С -  $\text{H}_2\text{O}$  и гораздо ниже для  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$  в порядке убывания, что она падает с увеличением температуры и степени отработки адсорбционной емкости, однако при этом следует учитывать, что в значении величины  $\delta$  адсорбционная емкость насыщения  $a_\infty$  гораздо выше у  $\text{Na}_2\text{S}$ , чем у  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  и соответственно у №аХ-С, что позволяет заключить о пригодности к адсорбционному аккумулярованию прежде всего солей  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ , как наиболее эффективных адсорбентов, по сравнению с цеолитом №аХ-С.

На основании полученных зависимостей можно прогнозировать тепловой поток адсорбции  $j$  и конденсации  $j_k$  при данной температуре адсорбции и конденсации соответственно и степени отработки адсорбционной емкости /рис.2/, что позволяет регулировать тепловую нагрузку. Если известна температура адсорбции, например,  $40^\circ\text{C}$ , тогда по мере отработки адсорбционной емкости  $\delta = 0,2 \pm 0,7$  можно последовательно определить тепловой поток адсорбции, аналогично тепловой поток конденсации, например, при  $t_k = 40^\circ\text{C}$ .

Исследование коэффициентов диффузии рабочих пар №аХ-С -  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  в условиях натекания воздуха показало работоспособность цеолитовых систем и относительную работоспособность солевых, так как при этом происходит значительное снижение коэффициента диффузии по сравнению с работой в условиях вакуума, или, другими словами, тепловые потоки адсорбции и конденсации становятся малы,

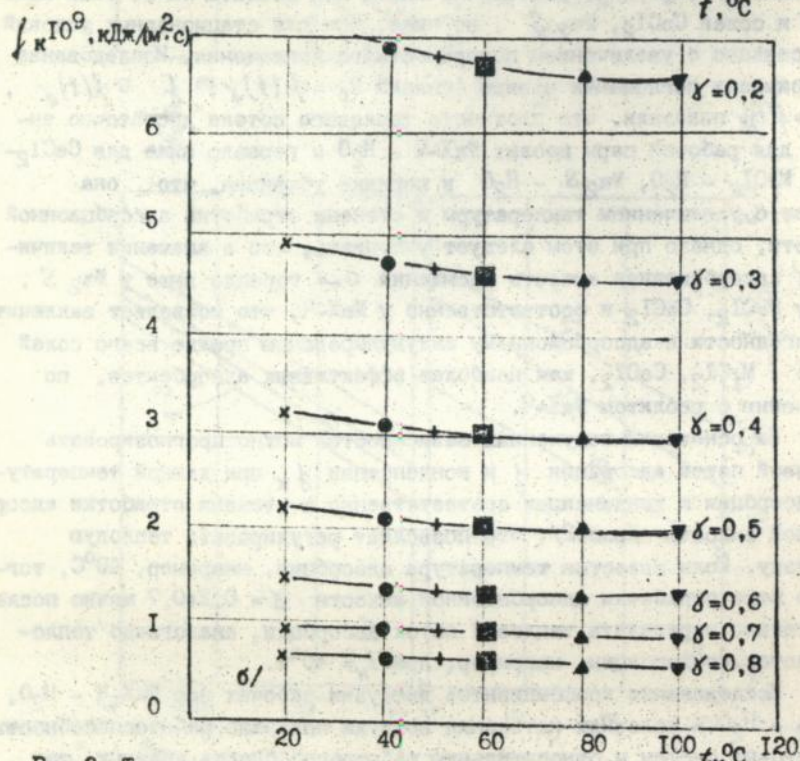
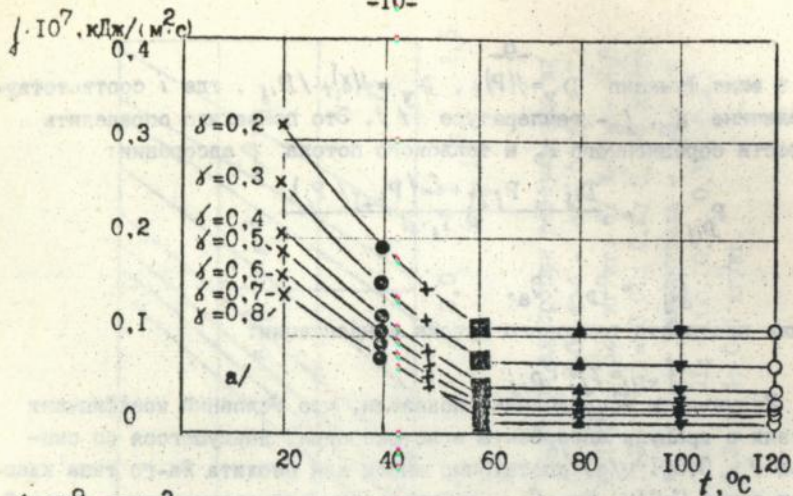


Рис.2. Температурная зависимость теплового потока а/ адсорбции б/ конденсации для рабочей пары  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$  при  $\delta = \text{const}$  и  $P_D, t = 120^\circ\text{C}$ .

чтобы их использовать для нужд отопления.

Выбор рабочей пары для адсорбционного теплового насоса - аккумуляатора определяется прежде всего ее теплофизическими свойствами. Исследованные классы адсорбентов / цеолиты, неорганические соли, силикагели / позволяют утверждать, что эффективность работы адсорбционного теплового насоса будет определяться прежде всего емкостными и энергетическими свойствами соответствующей рабочей пары. Это рабочая адсорбционная емкость  $\Delta a$  и теплота адсорбции  $Q_a$ . Из исследованных адсорбентов наибольшее значение величины  $\Delta a$  имеют соли  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  в порядке убывания. Цеолиты и силикагели имеют чрезвычайно низкое значение величины  $\Delta a$ . Особенно этот недостаток сказывается при больших тепловых нагрузках. Расчет эффективных коэффициентов преобразования и КПД аккумуляирования показал, что небольшое преимущество перед другими адсорбентами имеют рабочие пары на солях, но при этом нужно учитывать, что все адсорбенты, как правило, имеют низкую теплопроводность. Поэтому при конструировании адсорбера необходима дополнительная теплообменная поверхность в емкости с адсорбентом, что увеличивает металлоемкость и громоздкость конструкции. Из-за этого предпочтительнее отдать высокеемкостным рабочим парам.

На плотность теплового потока адсорбции и конденсации влияют кинетические характеристики рабочих пар, которые изначально определяются условными коэффициентами диффузии. Исследования показали, что высокими скоростями адсорбции обладают, как правило, цеолиты и соли с низковалентным элементом металла в решетке кристалла, соответственно определяются величины сорбционных потоков, а также тепловых потоков адсорбции и конденсации. Из исследованных рабочих пар наиболее стабильными теплофизическими свойствами обладают пары  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ .

В пятой главе предложены различные схемы адсорбционного теплового насоса-аккумуляатора, защищенные авторскими свидетельствами №1815541, №1815542, проведены экспериментальные исследования установок адсорбционного теплового насоса-аккумуляатора разных модификаций на рабочих парах  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ , определены их основные технические характеристики, разработан и создан адсорбционный тепловой насос-аккумулятор мощностью 9 кВт.

Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор с теплообменником в виде единого ребра профиля синусоиды /рис.3/ обеспечивает достаточно высокую интенсивность теплообмена гранул адсорбента с теплоносителем в контуре теплообменника за счет плотной, нерыхлой заделки адсорбента в полости ребра, обеспечиваемой скольжением гра-

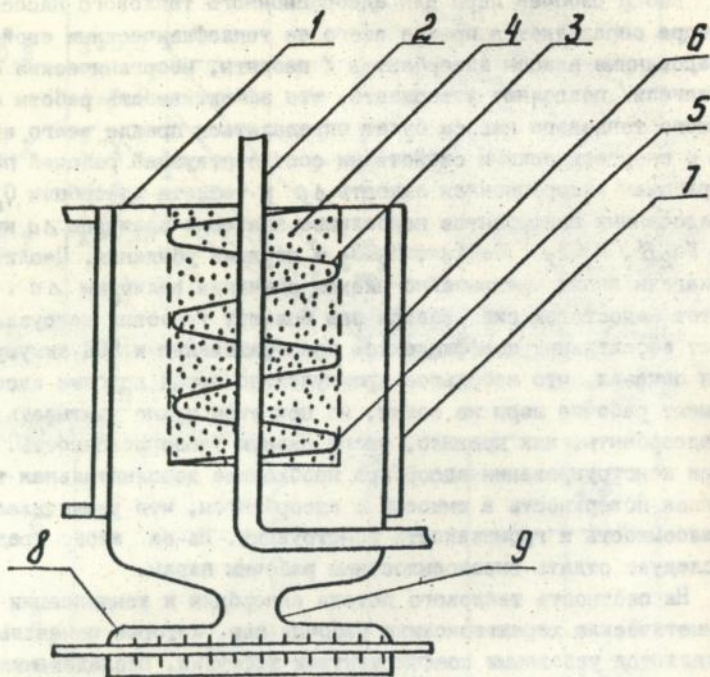


Рис.3. Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор /а.с.№1815541/:

- 1 - реактор адсорбционно-десорбционного типа,
- 2 - гидравлический контур, 3 - единое ребро профиля синусоиды, 4 - адсорбент, 5 - сетка, 6 - конденсатор,
- 7 - охлаждающая рубашка, 8 - испаритель, 9 - горло.

нул адсорбента по профилю синусоиды единого ребра под действием сил тяжести, что создает надежный тепловой контакт адсорбента с нижней и верхней гранью ребра, а также гранул друг с другом, по сравнению с известными техническими решениями в данной области.

На основании полученных экспериментальных данных были рассчитаны весогабаритные и энергетические характеристики адсорбционного теплового насоса-аккумулятора с учетом тепловых потерь:

$$m_k = \frac{Q}{Q_a + Q_k}, \quad m_a = \frac{m_k}{\Delta a}, \quad V = \frac{m_a}{\rho}$$

$$k_o = \frac{Q_a + Q_k + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}}}{Q_a + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}} + Q_{\text{тн}}}$$

$$\eta_{\text{ак}} = \frac{Q_a}{Q_a + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}} + Q_{\text{тн}}}$$

$$\eta_{\text{ак.э}} = \frac{Q_a + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}}}{Q_a + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}} + Q_{\text{тн}}}$$

$$\eta_{\text{т}} = \frac{Q_a - Q_{\text{кол}} - Q_{\text{тн}} - Q_{\text{сор}}}{Q_k + Q_{\text{кол}} + Q_{\text{сор}}}$$

В таблице I представлены весогабаритные характеристики

Таблица I.

№	Наименование	$m_k$ , кг	$m_a$ , кг	$V$ , м <sup>3</sup>
1	NaX-Ч - H <sub>2</sub> O	155	3098	3,87
2	Силикагель - H <sub>2</sub> O	165	5156	6,45
3	Морденит модифицированный - H <sub>2</sub> O	160	6392	7,99
4	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O	147	565	0,81
5	CaCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O	138	425	0,61
6	MgCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O	155	409	0,58
7	Na <sub>2</sub> S - H <sub>2</sub> O	140	128	0,18

адсорбционного теплового насоса-аккумулятора для суточного отопления, откуда следует, что силикагели и цеолиты не могут эффективно использоваться для нужд аккумуляции из-за большого физического объема адсорбента, особенно с учетом энергетических характеристик /таблица 2/:  $\kappa_{\text{э}}$ ,  $\eta_{\text{ак}}$ ,  $\eta_{\text{т}}$ , в отличие от неорганических солей, у которых физические объемы малы, но достаточно высоки показатели величин  $\kappa_{\text{э}}$ ,  $\eta_{\text{ак}}$ ,  $\eta_{\text{ак.э}}$ ,  $\eta_{\text{т}}$ .

Согласно Постановлению Совета Министров Украины от 2 ноября 1988 г., №340, был разработан адсорбционный тепловой насос-аккумулятор мощностью 9 кВт, предназначенный для отопления жилого дома площадью 120+150 м<sup>2</sup>. Расчет установки произведен на основе полученных экспериментальных данных, предложенной методики расчета. Эффективность адсорбционного теплового насоса-аккумулятора /АТНА/ в значительной степени, помимо теплофизических свойств рабочей пары, в дополнение к ней, определяется конструктивными особенностями адсорбера, а именно: теплообменной поверхностью, рассчитанной на основе оптимального поля плотности сорбционного и теплового потока адсорбции, что позволяет интенсифицировать адсорбционный процесс, обеспечить необходимую плотность теплового потока адсорбции и конденсации для нужд теплоснабжения в рамках теплопроводных свойств самого адсорбента и данной поверхности самого адсорбера. Схема АТНА была разработана и защищена на основе полученных авторских свидетельств.

Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор предназначен для повышения температурного уровня источника теплоты низкого потенциала, аккумуляции теплоты от геотермальных установок, бросовой промышленной теплоты, преобразованной электроэнергии в тепло от ветродвигателей, "ночной электроэнергии", теплоты от иных вторичных энергоресурсов, кондиционирования в режиме работы холодильной установки. Установка может найти применение в системах теплоснабжения жилых и общественных зданий, индивидуального домостроительства, сельскохозяйственных объектов, в установках для низкотемпературной сушки промышленных изделий, сельскохозяйственных продуктов.

#### ВЫВОДЫ.

1. На основании экспериментальных исследований статике и кинетике адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат, решения уравнения сорбции определены основные зависимости сорбционных процессов, на основании чего подобраны оптимальные рабо-

Таблица 2.

№: Наименование	$Q_a$ , кДж	$Q_{КОЛ}$ , кДж	$Q_{ТН}$ , кДж	$Q_{СОР}$ , кДж	$Q_d$ , кДж	$Q_k$ , кДж	$k$	$k_H$	$k_E$	$\eta_{ак.э}$	$\eta_{ак.э}$	$\eta_T$
1: NaX-Ч - H <sub>2</sub> O	1195	96,9	173	585	2050	907,4	1,03	1,76	1,36	0,58	0,92	0,21
2: Силикагель - H <sub>2</sub> O	679	96,9	112	385	1273	578	0,99	1,85	1,37	0,54	0,91	0,08
3: Морденит модифициро- ванный - H <sub>2</sub> O	570	96,9	88	585	1340	457	0,77	1,8	1,28	0,43	0,93	-
4: K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - H <sub>2</sub> O	5968	96,9	800	483	7348	4140	1,38	1,69	1,45	0,82	0,89	0,97
5: CaCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O	8271	96,9	1081	303	9752	5151	1,38	1,62	1,42	0,85	0,89	1,22
6: MgCl <sub>2</sub> - H <sub>2</sub> O	7950	96,9	1163	346	9556	6018	1,46	1,76	1,51	0,83	0,88	0,98
7: Na <sub>2</sub> S - H <sub>2</sub> O	27214	96,9	3346	468	31125	17306	1,43	1,64	1,45	0,87	0,89	1,3

чие пары:  $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ .

2. Проведены исследования на экспериментальных установках "Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор", использующие выбранные рабочие пары, подтверждающие возможность использования полученных данных для расчета установки "Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор".

3. На основании экспериментальных исследований статистики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат, определения тепловых и емкостных характеристик адсорбента в исследуемом интервале температур и его размеров разработана методика расчета адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

4. Разработаны оптимальные конструкции адсорбционного теплового насоса-аккумулятора, защищенные авторскими свидетельствами.

5. По заказу Минэнерго Украины рассчитан и разработан адсорбционный тепловой насос-аккумулятор мощностью 9 кВт.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ.

1. Журавленко В.Я., Ракитин О.И., Чалаев Д.М. Теплообмен в адсорбционном тепловом насосе-аккумуляторе. // Судостроительная промышленность. Серия "Промышленная энергетика, охрана окружающей среды и энергоснабжение судов", 1990, вып. 14.

2. Журавленко В.Я., Ракитин О.И. Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор. // Тезисы докладов Второй Всесоюзной научно-технической конференции "Ресурс-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении", Нальчик, 1991.

3. Журавленко В.Я., Ракитин О.И., Чалаев Д.М. Адсорбционный тепловой насос в энергетике. // Тезисы докладов республиканской научно-практической конференции "Использование солнечной энергии в народном хозяйстве", Ташкент, 1991.

4. Журавленко В.Я., Ракитин О.И. Анализ работы адсорбционного теплового насоса. // Холодильная техника, 1991, №11.

5. Журавленко В.Я., Ракитин О.И., Чалаев Д.М. Адсорбционный термотрансформатор. // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села", Москва, 1991.

6. Писарев В.Е., Ракитин О.И. Сушка воздуха в гипобарических хранилищах сельскохозяйственной продукции с помощью твердых адсор-

бентов//Изв.вузов.-Энергетика.-Минск,1991.-Деп. в ВИНТИ  
29.12.91, №4888-В91.

7. Журавленко В.Я., Ракин О.И. Аккумуляция тепловой энергии в вакуумных системах.//Механизация и электрификация сельского хозяйства,1992,№2.

8. Журавленко В.Я.,Ракин О.И.,Чалаев Д.М. Аккумуляция теплоты и холода.//Материалы II Международной конференции "Проблемы экологии и ресурсосбережения для сельскохозяйственных районов и агропромышленных комплексов",Одесса,1992.

9. Журавленко В.Я., Ракин О.И., Щекина И.А. Адсорбционный аккумулятор теплоты с теплонасытым циклом.//Материалы научно-практической конференции "Сельскохозяйственная теплоэнергетика", Севастополь,1992.

10. Ракин О.И.,Свердлова О.А. Мощность адсорбционного аккумулятора теплоты.//Материалы научно-практической конференции "Сельскохозяйственная теплоэнергетика",Севастополь,1992.

11. Наумов С.Е.,Ракин О.И. Адсорбционный аккумулятор теплоты и холода.//Энергетическое строительство.1993,№2.

12. Журавленко В.Я.,Ракин О.И.,Писарев В.Е. Исследование сорбционных свойств неорганических солей применительно к термо-трансформаторам.//Деп. в УкрНИИТИ 07.09.93,№1839-Ук93.

13. Журавленко В.Я.,Наумов С.Е.,Ракин О.И.,Чалаев Д.М. Адсорбционный аккумулятор теплоты.//Авторское свидетельство №1815541,БИ №18,1993.

14. Журавленко В.Я.,Наумов С.Е.,Ракин О.И.,Чалаев Д.М. Адсорбционный тепловой насос.//Авторское свидетельство №1815542, БИ №18,1993.

15. Журавленко В.Я.,Наумов С.Е.,Ракин О.И.,Чалаев Д.М. Аккумулятор тепловой энергии.//Решение о выдаче авторского свидетельства по заявке №4914198/06 /017287/ от 25.02.91.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

$T, t$  - температура,  $P$  - давление,  $a$  - адсорбционная емкость,  $\chi$  - степень отработки адсорбционной емкости,  $\tau$  - время,  $m_k$  - масса адсорбата,  $Q_k$  - теплота конденсации,  $m_a$  - масса адсорбента,  $V$  - объем адсорбента,  $\rho$  - насыпная плотность адсорбента,  $k$  - коэффициент преобразования,  $k_e$  - эффективный коэффициент преобразования,  $Q_{сop}$  - теплота, идущая на нагрев сорбента,  $Q_{кол}$  - теплота, идущая

на нагрев корпуса адсорбера,  $Q_{\text{TH}}$  - теплота, идущая на нагрев теплоносителя,  $\eta_{\text{ак}}$  - КПД аккумуляирования,  $\eta_{\text{ак.э}}$  - эффективный КПД аккумуляирования,  $\eta_{\text{т}}$  - эффективность работы теплового насоса,  $R$  - газовая постоянная,  $d$  - толщина слоя,  $Z$  - теплота парообразования.

#### ИНДЕКСЫ.

а - адсорбция, к - конденсация, и - идеальный, д - десорбция, т - тепловой, у - условный.

#### ANNOTATION

Rakitin O. I. Storage of by Use of Adsorption Heat Pumps.

Dissertation by degree candidate of technical sciences for speciality 05.14.04 - Industrial Heat Energetic, In-te Techn. Heat Physics NAS Ukraine, Kiev, 1997.

12 scientific works and 3 authors cartificates that contain the complex of theoretical and experimental researches to solve the task of heat and mass transfer in sorption system are being protected. On the base of the investigation of conditional diffusion the method has been worked by the account heat exchange surfaces in adsorber, condenser and evaporator. For power 9 kWt the adsorption heat pump storage has been created.

#### АННОТАЦИЯ.

Ракитин О.И. Аккумуляирование теплоты с помощью адсорбционных тепловых насосов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика, И-т техн. теплофизики НАН Украины, Киев, 1997.

Защищается 12 научных работ и 3 авторских свидетельства, которые содержат комплекс теоретических и экспериментальных изысканий при решении задачи тепло- и массопереноса в сорбционной системе. На основе исследования условного коэффициента диффузии разработан

метод расчета теплообменных поверхностей в адсорбере, конденсаторе и испарителе. Создан адсорбционный тепловой насос-аккумулятор мощностью 9 кВт.

Ключові слова: адсорбція, тепловий насос, коефіцієнт дифузії.

Подписано к печати 27.03.97г.      Формат 60x84/16  
Бумага офсетная.      Усл.-печ.лист.10.Уч.-изд.лист 10.  
Тираж 100.      Заказ 98.

---

Полиграф. уч-к Институту електродинамики НАН України  
252057, Київ-57, проспект Перемоги, 56.

434669

... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..

ARTICLE

Section 1. ... ..  
... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..

Section 2. ... ..  
... ..

... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..  
... ..