

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

На правах рукописи

РАКИТИН ОЛЕГ ИВАНОВИЧ

АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ
АДСОРБИЦИОННЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

Специальность: 05.14.04 - Промышленная
теплоэнергетика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Киев -1994



Работа выполнена в Институте технической теплофизики
НАН Украины

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор В.Я.Журавленко

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Э.С.Малкин
кандидат технических наук
В.С.Дверняков

Ведущая организация: Государственный научно-исследо-
вательский и проектно-конструк-
торский институт нетрадиционной
энергетики и электротехники
Минэнерго Украины

Защита диссертация состоится "21" марта 1995 года
в 14 час. на заседании специализированного ученого совета
К 016.43.02 в Институте технической теплофизики НАН Украины по
адресу: 252057, г.Киев, ул.Желязова, 2а.

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

Автореферат разослан "14" февраля 1995 года

Ученый секретарь
специализированного ученого
совета
доктор технических наук

Субот

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: разработать единый метод обработки экспериментальных данных при решении задачи тепло-массопереноса в системе адсорбент - адсорбат, поиск на этой основе эффективных рабочих пар, оценка возможностей теплового аккумулярования в режиме работы теплового насоса, что включает:

- экспериментальное исследование статистики и кинетики адсорбционного процесса в системе адсорбент - адсорбат;
- определение тепловых и емкостных характеристик адсорбента в исследуемом интервале температур;
- определение коэффициента диффузии в стационарных услови-

- ях и моделируемого массового потока для адсорбционной системы;
- определение полей плотности диффузионного и теплового потока адсорбции, теплового потока конденсации в системе адсорбент - адсорбат;
 - исследование энергетических характеристик адсорбционного теплового насоса-аккумулятора при различных тепловых нагрузках;
 - выбор оптимальной рабочей пары для адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
 - экспериментальное исследование динамики составных элементов адсорбционного теплового насоса-аккумулятора;
 - разработка схем и оборудования для адсорбционного теплового насоса-аккумулятора.

Научная новизна. В работе обоснован и разработан метод обобщения экспериментальных данных при решении задачи тепло-массопереноса в системе адсорбент - адсорбат, что определяет целый комплекс теоретических и экспериментальных изысканий. На основе экспериментального изучения изотерм адсорбции в зависимости от давления паров адсорбата и времени воздействия массового импульса исследуются величины рабочей адсорбционной емкости и коэффициента диффузии. Последнее определяет теплофизические свойства исследуемой системы (адсорбент - адсорбат), ее эффективность для нужд теплоэнергетики. На основе исследования коэффициента диффузии разработан метод определения полей плотности диффузионного и теплового потока адсорбции, теплового потока конденсации, что позволяет сравнивать по энергетической эффективности различные классы адсорбентов и адсорбатов в исследуемом интервале температур, получено выражение для плотности диффузионного и теплового потока адсорбции, теплового потока конденсации. На основе совокупности этих данных разработан метод оценки энергетических и весогабаритных характеристик различных рабочих пар в системе адсорбционного теплового насоса-аккумулятора, разработаны схемные решения его использования, приведен расчет адсорбера в зависимости от величины тепловой нагрузки, выбрана оптимальная рабочая пара.

Практическая значимость. Разработанный метод решения задач тепло-массопереноса в системе адсорбент - адсорбат дает возможность единого подхода к различным задачам по определению теплофизических параметров данной системы, определения ее эффектив-

ности и применимости:

- экспериментальное определение величины адсорбционной емкости в зависимости от давления паров адсорбата и времени адсорбции в исследуемом интервале температур;
- определение рабочей адсорбционной емкости, теплоты адсорбции;
- определение коэффициента диффузии, как функции температуры и степени отработки адсорбционной емкости;
- определение плотности теплового потока адсорбции и конденсации;
- определение мощности адсорбционной установки, КПД аккумулярования, коэффициента преобразования;
- расчет и проектирование адсорбера.

Разработанные методы позволяют выбрать наиболее эффективную рабочую пару для данных условий и создать оптимальную схему как адсорбера, так и всей установки.

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 УССР от 2 ноября 1988г., №340.

Автор защищает:

- метод обобщения экспериментальных данных при решении задач тепло-массопереноса в системе адсорбент - адсорбат;
- что тепловая эффективность системы адсорбент - адсорбат в основном определяется коэффициентом диффузии паров адсорбата в адсорбенте и интенсивностью внешней тепловой нагрузки;
- что интенсивность внутренних источников энергии (теплоты адсорбции и конденсации) системы адсорбент - адсорбат определяется величиной коэффициента диффузии;
- что для практического приложения наиболее важна функциональная зависимость коэффициента диффузии от температуры и степени отработки адсорбционной емкости;
- что теплофизические свойства адсорбента определяет приобретенная пористость, полученная в ходе определенной технологии.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научно-практической конференции "Состояние и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии", г. Севастополь, 1990г.; II Всесоюзной научно-технической конференции "Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино-

и приборостроения", г. Нальчик, 1991г.; Республиканской научно-практической конференции "Использование солнечной энергии в народном хозяйстве", г. Ташкент, 1991г.; Всесоюзном научно-техническом семинаре "Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села", п. Кацивели, 1991г.; научно-практической конференции "Сельскохозяйственная теплоэнергетика", г. Севастополь, 1992г.; I 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 193 стр. машинописного текста, иллюстрируется 64 рис., содержит 15 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 аккумулирования энергии вторичных энергоресурсов.

Вопрос аккумулирования энергии за счет вторичных энергоресурсов является важным с точки зрения экономии энергетических ресурсов страны. Тем более, что аккумулирование 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 аккумулирования можно судить по конкретному применению этих аккумуляторов. Особо следует уделить внимание сорбционным теплоаккумуляторам. Преимущество последних перед другими заключается в том, что аккумулирующие вещества сохраняются при окружающей температуре, не требуют специальной теплоизоляции. Тепловая энергия в таком виде может храниться годами.

Разрядку и зарядку аккумулятора тепловой энергии 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_e . При этом необходимо учитывать пороговые температуры адсорбции и десорбции, т.е. температурную область применения.

Наиболее перспективной в схемном и конструктивном отношении является адсорбционно-десорбционная тепловая машина (патент №2585812, Франция, рис. I), что связано с компактностью установки, выполненной в форме цилиндра, совмещением адсорбера с конденсатором, выносом отдельно теплового источника энергии (генератора).

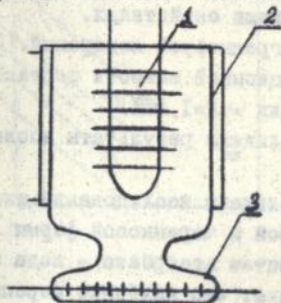


Рис. I. Адсорбционно-десорбционная тепловая машина (патент №2585812, Франция): 1-адсорбер, 2-конденсатор, 3-испаритель.

Проведенный анализ показал, что несмотря на теоретическую и практическую ценность проведенных работ по аккумулярованию энергии от возобновляемых источников 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:

1 - поиск эффективных рабочих пар в зависимости от условий использования адсорбционного теплового насоса;

2 - исследование сорбционных характеристик рабочих пар, что включает в себя следующее: изотермы сорбции, изостеры сорбции, кинетику сорбции;

3 - исследование кинетики сорбции слоя;

4 - исследование энергетических характеристик теплового насоса-аккумулятора.

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

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

$$D_e = \frac{K_0 \tau^2}{4t^2 r_{0.5}^2}$$

в потоке пара в условиях вакуума, создаваемого слоем адсорбента с известными теплофизическими свойствами.

Приведен анализ погрешностей измерений. Погрешность метода измерения величины адсорбционной емкости составляет $P=0,96\%$, а в кинетике процесса адсорбции - $P=1,66\%$.

В третьей главе изложены результаты исследования статике сорбционных процессов.

Были получены результаты исследований экспериментальных образцов цеолитов шариковой и черенковой формы Na -го и Ca -го типа класса A, X, M (в качестве адсорбата - вода здесь и в последующих случаях), утверждающие, что наиболее перспективными формами цеолитов для нужд адсорбционного аккумулирования являются цеолиты Na -го типа класса X черенковой формы. Также были получены экспериментальные данные для силикагеля КСМ, позволяющие утверждать его неперспективность для использования в адсорбционных тепловых насосах из-за линейности изотермы, что значительно уменьшает его рабочую адсорбционную емкость при малых давлениях.

Помимо этого были исследованы соли $\text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, MgCl_2 , как наиболее дешевые и широко распространенные кристаллогидраты, отвечающие условиям работы адсорбционного теплового насоса-аккумулятора. На свойства солей влияет технология изготовления гранул: изотермы адсорбции разлагаются на целый спектр изотерм по сравнению со свойствами этих же солей, но в порошкообразном состоянии (рис.2).

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

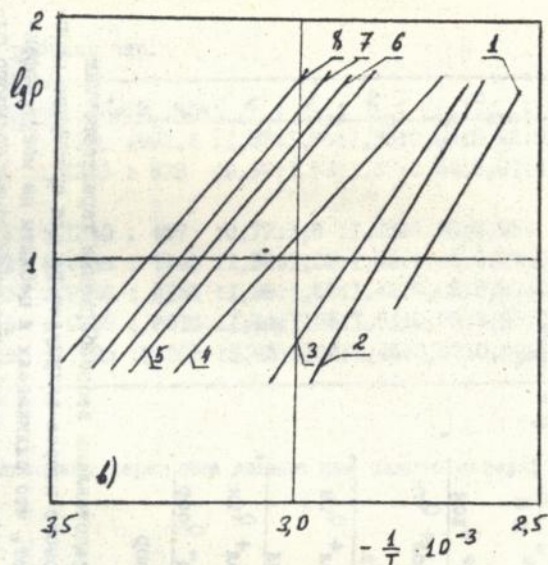
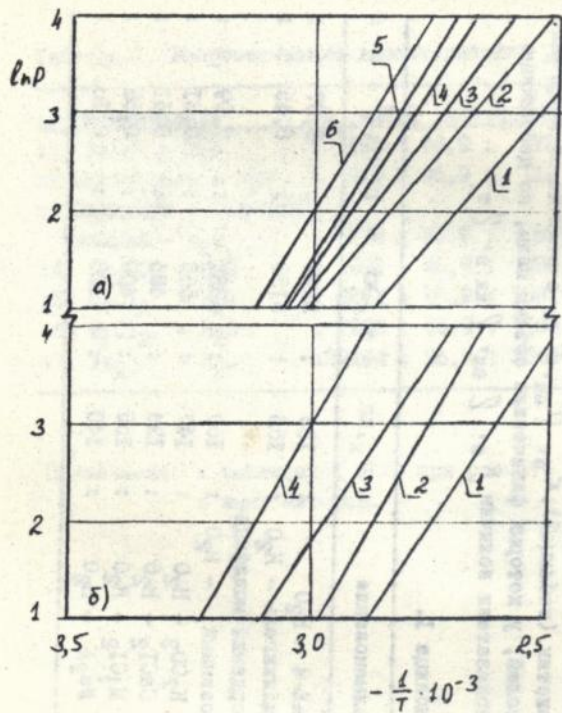


Рис.2.Изостеры адсорбции рабочих пар а) $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$
 2+6 - $a = 0; 0,05; 0,1; 0,162; 0,324$ кг/кг;
 I - $a = 0,324$ кг/кг (литературный источник)
 б) $\text{MgCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$; 2+4 - $a = 0; 0,2; 0,378$ кг/кг;
 I - $0,378$ кг/кг (литературный источник);
 в) $\text{CaCl}_2 + \text{наполнитель} - \text{H}_2\text{O}$; I+3 - $a = 0,01;$
 $0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ кг/кг.

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

$$K_{\Sigma} = \frac{Q_a + Q_k + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}}}{Q_a + Q_{\text{сор}} + Q_{\text{кол}} + Q_{\text{тн}}},$$

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

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

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

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

Таблица I.

№	Наименование	$m_k, \text{кг}$	$m_a, \text{кг}$	$V, \text{м}^3$
1	КаХ-4 - H ₂ O	155	3098	3,87
2	Силикагель - H ₂ O	165	5156	6,45
3	Морденит модифицированный - H ₂ O	160	6392	7,99
4	K ₂ CO ₃ - H ₂ O	147	565	0,81
5	CaCl ₂ - H ₂ O	138	425	0,61
6	MgCl ₂ - H ₂ O	155	409	0,58
7	Na ₂ S - H ₂ O	140	128	0,16

Таблица 2. Энергетические характеристики разных рабочих пар.

№:Наименование	:Q ₀	:κДж:Q ₀	:Q _к	:κДж:Q _к	:Q _т	:κДж:Q _т	:Q _{ср}	:κДж:Q _{ср}	:Q _п	:κДж:Q _п	:Q _ж	:κДж:Q _ж	κ	:κ _к	:κ _ж	:Q _{ак}	:Q _{акс}	:Q _т
:1: NaH-Cl - H ₂ O	: 1195	: 96,9	: 173	: 585	: 2050	: 907,4	: 1,03	: 1,76	: 1,36	: 0,58	: 0,92	: 0,21						
:2: Силикагель - H ₂ 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 ₂ O	: 570	: 96,9	: 88	: 585	: 1340	: 457	: 0,77	: 1,8	: 1,28	: 0,43	: 0,93	-						
:4: K ₂ CO ₃ - H ₂ O	: 5968	: 96,9	: 800	: 483	: 7348	: 4140	: 1,38	: 1,69	: 1,45	: 0,82	: 0,89	: 0,97						
:5: CaCl ₂ - H ₂ O	: 8271	: 96,9	: 1081	: 303	: 9752	: 5151	: 1,38	: 1,62	: 1,42	: 0,85	: 0,89	: 1,22						
:6: MgCl ₂ - H ₂ O	: 7950	: 96,9	: 1163	: 346	: 9556	: 6018	: 1,46	: 1,76	: 1,51	: 0,83	: 0,88	: 0,98						
:7: Na ₂ S - H ₂ O	: 27214	: 96,9	: 3346	: 468	: 31125	: 17306	: 1,43	: 1,64	: 1,45	: 0,87	: 0,89	: 1,3						

Примечание: в таблицах I и 2 при расчете использованы первичные данные как самого автора, так и иных авторов.

В главе четвертой представлены экспериментальные результаты исследований кинетики сорбционных свойств в моделируемом массовом потоке паров воды целого ряда цеолитов, в частности, NaX-4 , солей CaCl_2 , Na_2S , MgCl_2 , а также в стационарном массовом потоке адсорбата, включая выше указанные соли и цеолит, как наиболее перспективные адсорбенты, и соли CaCl_2 наполнитель.

Исследование коэффициента диффузии при этом проводилось в виде функций $D_e = f(P)_t$, $D_e = f(\chi)_t(D_{ij})$, где i соответствует величине χ , j - температуре t . Это позволило определить поля плотности диффузионного P_D и теплового потока f адсорбции:

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

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

а также поля плотностей теплового потока конденсации:

$$f_{kij} = \gamma_j P_{Dij}$$

Результаты исследований показали, что коэффициент диффузии на грануле адсорбента в потоке пара, движущегося со скоростью $\bar{v} = 0,001$ м/с, достаточно высок для цеолита Na -го типа класса X и солей CaCl_2 , Na_2S , но ниже, чем для стационарных условий, что связано с увеличением поверхностного поглощения. Исследование зависимости поглощения в виде функций $D_e = f(t)\chi$, $P_D = f(t)\chi$, $f = f(t)\chi$, $f_k = f(t)\chi$ показали, что плотность получения тепловой энергии достаточно высока для рабочей пары цеолит $\text{NaX-4} - \text{H}_2\text{O}$ 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 χ адсорбционная емкость насыщения Q_a гораздо выше у Na_2S , чем у MgCl_2 , CaCl_2 и соответственно у NaX-4 , что позволяет заключить о пригодности к адсорбционному аккумулярованию прежде всего солей Na_2S , MgCl_2 , CaCl_2 , как наиболее эффективных адсорбентов, по сравнению с цеолитом NaX-4 .

На основании полученных зависимостей можно прогнозировать тепловой поток адсорбции f и конденсации f_k при данной температуре адсорбции и конденсации соответственно и степени отработки адсорбционной емкости χ (рис.3), что позволяет регулировать тепловую нагрузку. Если известна температура адсорбции, например, 40°C , тогда по мере отработки адсорбционной емкости $\chi =$

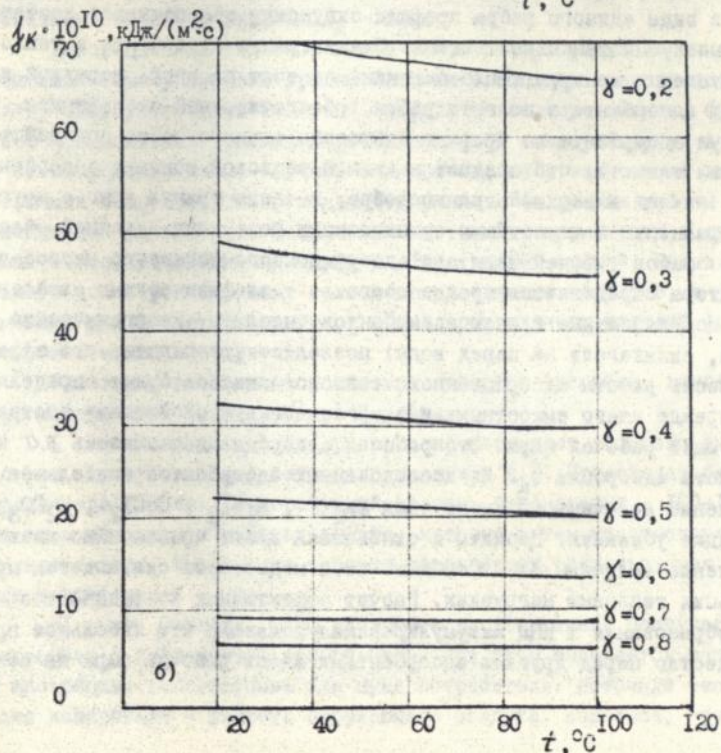
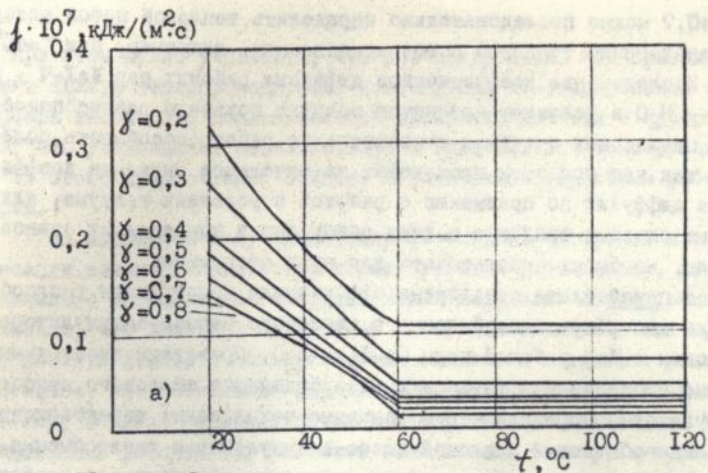


Рис.3. Температурная зависимость теплового потока а) адсорбции, б) конденсации для рабочей пары $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ при $\gamma = \alpha \cdot \beta^t$

= 0,2+0,7 можно последовательно определить тепловой поток адсорбции, аналогично тепловой поток конденсации, например, при $t=40^{\circ}\text{C}$.

Исследование коэффициентов диффузии рабочих пар $\text{NaX}-\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ 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, чтобы их использовать для нужд отопления.

В пятой главе предложена эффективная конструкция теплообменника адсорбера адсорбционного теплового насоса-аккумулятора, обоснован выбор рабочей пары $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$, проведены экспериментальные исследования установки адсорбционного теплового насоса-аккумулятора, определены его основные технические характеристики.

Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор с теплообменником в виде единого ребра профиля синусоиды обеспечивает достаточно высокую интенсивность теплообмена гранул адсорбента с теплоносителем в контуре теплообменника за счет плотной, нерыхлой засыпки адсорбента в полости ребра, обеспечиваемой скольжением гранул адсорбента по профилю синусоиды единого ребра под действием силы 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.

Выбор рабочей пары для адсорбционного теплового насоса-аккумулятора определяется прежде всего ее теплофизическими свойствами. Исследованные классы адсорбентов (цеолиты, неорганические соли, силикагели на парах воды) позволяют утверждать, что эффективность работы адсорбционного теплового насоса будет определяться прежде всего емкостными и энергетическими свойствами соответствующей рабочей пары. Это рабочая адсорбционная емкость Δa и теплота адсорбции Q_a . Из исследованных адсорбентов наибольшее значение величины Δa имеют соли Na_2S , MgCl_2 , CaCl_2 , K_2CO_3 в порядке убывания. Цеолиты и силикагели имеют чрезвычайно низкое значение величины Δa . Особенно этот недостаток сказывается при больших тепловых нагрузках. Расчет эффективных коэффициентов преобразования и КПД аккумулярования 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 необходимо дополнительное ребрение емкости с адсорбентом, что увеличивает металлоемкость и громоздкость конструкции. Из-за этого предпочтение следует отдать высокоемкостным рабочим парам.

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

Адсорбционный тепловой насос-аккумулятор предназначен для повышения температурного уровня источника теплоты низкого потенциала, аккумулярования тепловой энергии от геотермальных, 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.

Основными элементами установки являются адсорбер, конденсатор, испаритель. Режим работы: 2 этапа.

I этап. Зарядка. В адсорбер извне поступает тепловая энергия (от геотермальной, ветродвигателя и т.д.). Происходит регенерация адсорбента. Температурный уровень регенерации - $100-120^\circ\text{C}$. При этом выделяются пары адсорбата, которые затем конденсируются в конденсаторе. Выделяется теплота конденсации, используемая для нужд потребителя.

II этап. Зарядка. Пары адсорбата из испарителя поступают в адсорбер и поглощаются адсорбентом. При этом выделяется теплота адсорбции, используемая для нужд потребителя. Источником теплоты для испарителя - теплота окружающего воздуха, водоемов, грунта,

от теплоустановок (температурный уровень - $0+30^{\circ}\text{C}$).

Уровень теплоспонобления определяет мощность адсорбционно-го теплового насоса-аккумулятора (АТНА). Установки типа АТНА могут включаться параллельно в виде двух (n) секций, одна из которых работает в режиме зарядки, другая - разрядки. По истечении времени работы соответствующих этапов, режим работы меняется на противоположный.

Эффективность АТНА в значительной степени, помимо теплофизических свойств рабочей пары, в дополнение к ней определяется конструкционными особенностями адсорбера, а именно: теплообменной поверхностью, рассчитанной на основе оптимального поля плотности диффузионного и теплового потока адсорбции, что позволяет интенсифицировать адсорбционный процесс, обеспечить необходимую плотность теплового потока адсорбции и конденсации для нужд теплоспонобления в рамках теплопроводных свойств самого адсорбента и данной поверхности теплообмена самого адсорбера.

ВЫВОДЫ.

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан единый метод обработки экспериментальных данных при решении задач тепло- и массопереноса в системе адсорбент - адсорбат, проведен поиск на этой основе эффективных рабочих пар, произведена оценка возможностей теплового аккумулярования в режиме работы теплового насоса.

2. Тепловая эффективность системы адсорбент - адсорбат определяется в значительной степени коэффициентом диффузии, как функции температуры и степени отработки адсорбционной емкости, т.е. интенсивность внутренних источников энергии (теплот адсорбции и конденсации) определяется значением коэффициента диффузии, в равной степени температурой адсорбции и степенью отработки адсорбционной емкости.

3. Для практического приложения наиболее важна функциональная зависимость коэффициента диффузии от температуры и степени отработки адсорбционной емкости.

4. Для практического применения рабочих пар не важна область преобладания поверхностного механизма диффузии.

5. Теплофизические свойства рабочей пары определяет приобретенная пористость адсорбента, полученная в ходе определенной технологии его изготовления.

6. Коэффициенты диффузии для рабочих пар $\text{NaX-4} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSi}_2 +$ + наполнитель - H_2O имеют идентичный характер изменения в сторону увеличения при росте температуры, что обусловлено сходством капиллярно-пористой структуры цеолита и приобретенной структурой за счет наполнителя соль CaSi_2 .

7. Гранулированные соли CaSi_2 , MgSi_2 , Na_2S (как кристаллогидраты) имеют одинаковый характер зависимости коэффициента диффузии (плотностей тепловых потоков адсорбции и конденсации) от температуры и степени обработки адсорбционной емкости: с ростом той и другой величины значение коэффициента диффузии уменьшается.

8. Для краткосрочного аккумулярования тепловой энергии являются наиболее перспективными рабочие пары на основе соль - вода (в конкретном приложении: $\text{CaSi}_2 - \text{H}_2\text{O}$).

9. Плотность теплового потока адсорбции и конденсации определяется физическим тепловым потоком, который может "пропустить" адсорбент в силу своих теплопроводящих свойств, что предполагает оборудование теплообменника адсорбера для улучшения этих свойств.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ.

1. Журавленко В.Я., Ракитин О.И., Чалаев Д.М. Тепломассообмен 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. // Холодильн. техн. 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 гипсбарических 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., Ракитин О.И. Аккумуляция тепловой энергии в вакуумных системах. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1992, №2.

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

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

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

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

12. Журавленко В.Я., Ракитин О.И., Писарев В.Е. Исследование сорбционных свойств неорганических солей применительно к термотрансформаторам. // Деп. в УкрНИНТИ 07.09.93, №1839-Укр93.

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

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

15. Журавленко В.Я., Наумов С.Е., Ракитин О.И., Чалаев Д.М. Аккумулятор тепловой энергии. // Решение о выдаче авторского свидетельства по заявке №4914198/06 (017267) от 25.02.91.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.

T, t - температура, P - давление, a - адсорбционная емкость, X - степень отработки адсорбционной емкости, τ - время, k_0 - коэффициент, зависящий от формы гранул, r - радиус гранулы, $\tau_{0,5}$ - время полустратки адсорбционной емкости, m_k - масса адсорбата, Q_k - теплота конденсации, m_a - масса адсорбента, V - объем

адсорбента, ρ - насыпная плотность адсорбента, k - коэффициент преобразования, k_3 - эффективный коэффициент преобразования, $Q_{\text{сор}}$ - теплота, идущая на нагрев сорбента, $Q_{\text{кол}}$ - теплота, идущая на нагрев корпуса адсорбера, $Q_{\text{ТН}}$ - теплота, идущая на нагрев теплоносителя, $\eta_{\text{ак}}$ - КПД аккумулирования, $\eta_{\text{ак.э}}$ - эффективный КПД аккумулирования, $\eta_{\text{т}}$ - эффективность работы теплового насоса, μ - массовая характеристика, R - универсальная газовая постоянная, d - толщина слоя, τ_j - теплота парообразования.

ИНДЕКСИ.

а - адсорбция, к - конденсация, и - идеальный, д - десорбция, D - коэффициент диффузии, т - тепловой.

ANNOTATION

Rakitin O.I. Storage of Heat 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, 1994.

12 scientific works and 3 author's certificates 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 diffusion the method has been worked by the account of heat exchange surfaces in adsorber, condenser and evaporator. For power 9 kWt the adsorption heat pump storage has been created.

АННОТАЦІЯ.

Ракитин О.И. Аккумулирование 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, 1994.

Задідається 12 научних работ и 3 авторських свідетельства. которые содержат комплекс теоретических и экспериментальных исследований при решении задачи тепло- и массопереноса в сорбционной системе. На основе исследования 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.

АВ 31.933

АВ 31.933

Подписано к печати 24.01.95г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 10. Уч.-изд. лист 1,0.
Тираж 100. Заказ 43.

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.