

новке с различными системами отопления (радиаторной, теплым полом, теплой стеной, теплым потолком, конвектором) были использованы авторами для анализа их энергоэффективности и комфортности.

Показана адекватность разработанных моделей теплового режима помещения с различными системами отопления. Показано, что в моделях соотношение радиационного и конвективного тепловых потоков от нагревательного прибора

для радиаторного отопления составило 68,8 % к 31,2 %, а для отопления от теплого пола, стены или потолка 38,6 % к 61,3 %, соответственно, что согласуется с экспериментальными значениями, известными из литературы.

Сравнение профилей температур по высоте помещения с радиаторной системой отопления и системой теплый пол имеют разный характер, особенно в зоне около потолка.

УДК 621.577

Осадча Л.С.

*Інститут технічної теплофізики НАН України*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЙСНОГО ЦИКЛУ АДСОРБЦІЙНОГО ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРА

*Наведено порівняльний аналіз теоретичного та дійсного циклів адсорбційного термотрансформатора.*

*Представлен сравнительный анализ теоретического и действительного циклов адсорбционного термотрансформатора.*

*Comparative analysis of theoretical and real cycle of adsorption termotransformer is presented.*

$C_{\text{сор}}$  – теплоємність сорбента, кДж/кг·К;  
 $C_{\text{к}}$  – теплоємність матеріалу конструкції адсорбера, кДж/кг·К;  
 $C_{\text{хл}}$  – теплоємність холодоагента в адсорбованому стані, кДж/кг·К;  
 $\Delta H$  – теплота десорбції (адсорбції), кДж/кг;

$L$  – теплота конденсації холодоагенту, кДж/кг;  
 $M_{\text{сор}}$  – маса сорбента, кг;  
 $M_{\text{к}}$  – маса конструкції адсорбера, кг;  
 $S$  – сорбент;  
 $T$  – температура, К;  
 $V$  – пара сорбату;  
 $w$  – вологовміст сорбента, кг/кг.

В останні роки, з метою залучення до енергетичного обігу низькопотенційних джерел енергії, а також в зв'язку з підвищенням екологічних вимог до робочих речовин теплових насосів і холодильних машин, в розвинутих країнах значну увагу стали приділяти адсорбційним термотрансформаторам і дослідженням, які спрямовані на вдосконалення їх конструкцій і пошук нових ефективних сорбційних пар. Адсорбційні теплові насоси призначені для вироблення холоду, здійснення тепlopостачання, а також комбінування вироблення тепла і холоду. Адсорбційні термотрансформатори використовують для перетворення тепла з низькотемпературного рівня на більш високий, і навпаки.

Зараз найбільше практичне застосування мають теплові насоси парокомпресійного типу,

що працюють на галогенованих вуглеводнях. Проте, введення міжнародної угоди на обмеження емісії «парникових» газів стимулює розвиток безфреонових теплонасосних систем.

Одним з ефективних засобів зменшення викидів парникових газів є застосування адсорбційних холодильних і теплонасосних систем, які працюють на екологічно чистих робочих речовинах. Адсорбційні системи менше забруднюють навколишнє середовище і можуть використовувати як джерело енергії низькопотенціальне тепло. Вони можуть працювати від таких джерел тепла, як теплові викиди промисловості і побутового сектора, викидні гази теплогенераторів і теплових двигунів, системи охолодження різних двигунів, сонячна енергія та ін. з температурним потенціалом 60...100 °С. При використанні

вторинних енергоресурсів, або сонячної енергії сорбційні теплові насоси – екологічно більш чисті та більш конкурентноспроможні порівняно з компресійними машинами.

Застосування адсорбційних термотрансформаторів перспективне в установках малої продуктивності, які призначені для експлуатації індивідуальними користувачами в побутових і польових умовах. Ці агрегати не мають рухомих частин, надійні в роботі і прості в експлуатації. На основі адсорбційних агрегатів може бути створене теплонасосне обладнання для автономного тепло- і холодопостачання житлових та комунальних об'єктів, що забезпечить використання сонячної енергії і тепла навколишнього середовища в якості низькотемпературного джерела енергії з коефіцієнтом перетворення порядку 1,5...1,7 і дозволить, за рахунок акумуляування термохімічного потенціалу сорбенту рознести в часі процеси вироблення тепла (холода) і споживання енергії.

Перспективним є також використання нічної (провальної) електроенергії для привода сорбційних теплових насосів. Саме періодичний характер роботи дозволяє здійснювати «заряджання» агрегату від електромережі в нічний час (за пільговим тарифом на електроенергію), після чого він може тривалий час знаходитися в стані готовності для вироблення тепла/холода і при включенні працює без споживання енергії.

Для впровадження адсорбційних теплонасосних і холодильних установок в практику необхідно провести аналіз теоретичного циклу і експериментально дослідити дійсний адсорбційний процес з метою отримання даних, необхідних для розрахунку і проектування таких систем, так як існують значні відхилення дійсних циклів від теоретичних, що пов'язано з гідравлічними втратами в випарнику і адсорбері та впливом неконденсованих газів на процес адсорбції. Інтенсивність процесів сорбції/десорбції в дійсному циклі залежить від розміру гранул, пористості, товщини адсорбційного шару і ряду інших параметрів.

Розглянемо цикл адсорбційного термотрансформатора в координатах діаграми Клапейрона (рис. 1). Діаграма  $\ln P - 1/T$  зручна для представлення і розрахунку енергетичних показників теоретичного адсорбційного циклу. В цих координатах ізостери адсорбції можуть бути представлені в вигляді лінійної функції:

$$\ln P = A \cdot \frac{1}{T} + B$$

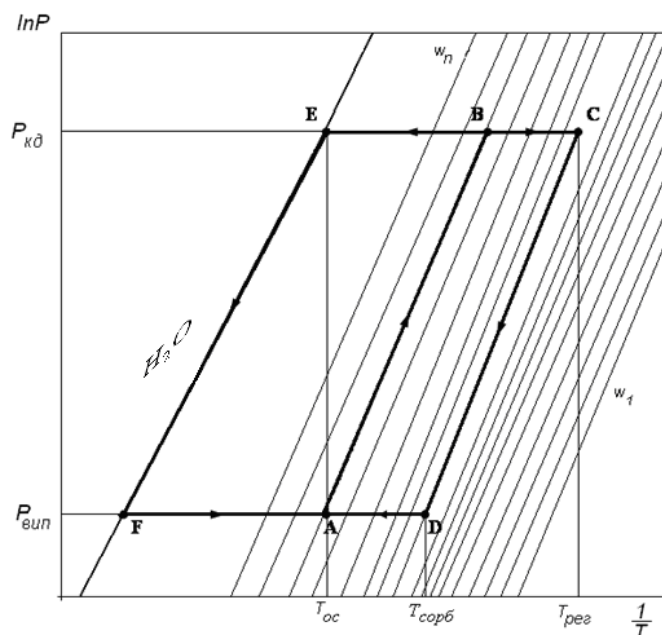


Рис. 1. Діаграма  $\ln P - 1/T$  системи сорбент – вода.

Робочі процеси характеризуються відрізками:

AB – нагрівання насиченого адсорбенту від температури сорбції до температури початку регенерації;

BC – десорбція холодоагенту і регенерація адсорбенту;

BE – охолодження і конденсація десорбуємої пари холодоагенту;

CD – охолодження регенованого адсорбенту до температури початку сорбції;

EF – охолодження конденсату до температури кипіння;

DA – поглинання пари холодоагенту і насичення адсорбенту;

FA – кипіння холодоагенту в випарнику і поглинання парів сорбентом.

Кількість холодоагенту, що бере участь в холодильному циклі, визначається за різницею вологовмісту адсорбенту в точках A і D.

Теоретична величина теплового коефіцієнту циклу становить:

$$\mu_T = \frac{\Delta H + L}{\Delta H} = 1 + \frac{L}{\Delta H} \quad (1)$$

В дійсному циклі на величину теплового коефіцієнту адсорбційного термотрансформатора впливає матеріалоемність адсорбера і тепла інерційність його конструкції. Тепловий

коэффициент при цьому рівний:

$$\mu_D = \frac{Q_{охл} + Q_{адс}}{Q_{нагр} + Q_{дес}} \quad (2)$$

де  $Q_{охл}$  – теплота охолодження адсорбенту від температури регенерації до температури сорбції:

$$Q_{охл} = (C_k \cdot M_k + C_{cop} \cdot M_{cop} + C_{хл} \cdot w_C \cdot M_{cop}) \cdot (T_C - T_D) + (C_k \cdot M_k + C_{cop} \cdot M_{cop}) \cdot (T_D - T_A)$$

$Q_{адс}$  – теплота адсорбції:

$$Q_{адс} = \Delta H \cdot (w_D - w_A) \cdot M_{cop}$$

$Q_{нагр}$  – енергія, витрачена на нагрів адсорбера до температури початку десорбції:

$$Q_{нагр} = (C_k \cdot M_k + C_{cop} \cdot M_{cop} + C_{хл} \cdot w_A \cdot M_{cop}) \cdot (T_A - T_B)$$

$Q_{дес}$  – енергія, витрачена на десорбцію:

$$Q_{дес} = \Delta H \cdot (w_B - w_C) \cdot M_{cop} + (C_k \cdot M_k + C_{cop} \cdot M_{cop} + C_{хл} \cdot \left(\frac{w_B + w_C}{2}\right) \cdot M_{cop}) \cdot (T_B - T_C)$$

З залежності (2) видно, що для збільшення величини  $\mu_D$  потрібно зменшити величину  $Q_{нагр}$ . Це може досягатись за рахунок використання адсорбентів з більшим вологовмістом і широким інтервалом десорбції. Цим вимогам відповідають адсорбенти, сорбційна дія яких базується на ефекті хемосорбції [1].

При використанні хемосорбентів в адсорбері відбувається хімічна реакція між сіллю і холодоагентом в паровій фазі з утворенням твердого кристалогідрату:

$$S + V = S \cdot V \quad (3)$$

Відповідно правилу фаз Гіббса розклад і утворення кристалогідрату відбувається при постійній температурі і не залежить від ступеня проходження реакції. Це дозволяє зменшити непродуктивні втрати тепла на нагрів сорбента і конструкції адсорбера. Порівняння адсорбційних циклів з використанням цеолітів і хемосорбентів показує, що використання нових робочих речовин дозволить значно підвищити енергетичну ефективність адсорбційних термотрансформаторів.

На сьогодні Інститутом технічної теплофізики НАН України спільно з Інститутом високих температур РАН і Інститутом каталіза СВ РАН проводяться дослідження по створенню енергоефективного адсорбційного термотрансформатора на базі нових робочих тіл.

Роботи виконуються за фінансової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень (проект № Ф28.7/033 – 2009).

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Aristov Yu.I., Chalaev D.M., Dawoud B., Heifets L.I., Popel O.S., Restuccia G.* Simulation and design of a solar driven thermochemical refrigerator using new chemisorbents // *Chemical Engineering Journal*. – 2007. – V.134, I.1-3. – P. 58-65.

**Дубровская В.В., Шкляр В.И., Кузьменко Н.В., Винник Ю.А.**

*Национальный технический университет Украины «КПИ»*

### **К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА И СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

В настоящее время в мире и в Украине возрос интерес к использованию теплонасосных установок (ТНУ) в децентрализованных системах теплоснабжения, использующих как природные источники (воздух, вода), так и техногенные (низкопотенциальное тепло коммунально-бытовых и промышленных предприятий) источники для получения теплоты более высокого потенциала. Использование ТНУ способствует экономии то-

плива и защите окружающей среды за счет снижения тепловых загрязнений и количества вредных выбросов продуктов сгорания.

**Цель работы** – выбор мощности теплового насоса (ТН) и дополнительного источника энергии для покрытия тепловой нагрузки здания на основании интегрального графика в различных регионах Украины с учетом изменения климатических условий.