УДК 662.997

Коломієць О.В., Козлов Я.М., Сухий К.М., Сухий М.П., Бєляновська О.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОНЯЧНОГО АДСОРБЦІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА НА ОСНОВІ КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТУ «СИЛІКАГЕЛЬ/Na_2SO_4»

Широкомасштабне використання традиційних енергоресурсів призводить до значного забруднення повітряного, водного басейнів і біосфери в цілому. Крім цього нестабільність цінової політики на енергоносії стимулює розвиток альтернативної енергетики в Україні. Глобальна доступність і екологічність робить найбільш перспективним нетрадиційним поновлюваним джерелом енергії – сонячну енергію. Світовий досвід використання сонячної енергії свідчить про широкі можливості перетворення цього виду енергії як в теплову енергію, з подальшим її застосуванням для опалення, гарячого водопостачання та інших технологічних потреб, так і для кондиціювання повітря. Спроби створення сонячних адсорбційних холодильних машин беруть свій початок з кінця XX століття. Суттєвою перешкодою на їх шляху є висока температура регенерації та низька сорбційна ємність типових сорбентів [1]. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є створення композитних сорбентів [2], які поєднують у одній структурі високу сорбційну ємність, яка характерна для масивних солей, та добрі технологічні властивості стандартних адсорбентів.

Метою роботи є створення та дослідження адсорбційного холодильника на основі композитного сорбенту «силікагель/Na_2SO_4» з температурою регенерації до 70 ^oC та сорбційною ємністю на рівні 0,45 г/г.

Експериментальна частина

Сонячний адсорбційний холодильник (рис. 1) складається з адсорбера (1), на лицьовій стороні якого встановлено прозорий стільниковий полікарбонатний пластик (товщиною 8 мм) з інтегральним коефіцієнтом пропускання на рівні 0,88 (10) [3]. У нижній частині розташований сорбційний композитний матеріал (3) та вмонтовано гідравлічний контур (2) що сполучає адсорбер (1) з теплоакумулювальним баком (11). Холодильник також включає випарник (4), конденсатор (5) та холодильну камеру (6) з водяним акумулятором холоду (7). Випарник (4) та конденсатор (5) з'єднано між собою трубою (8) з краном (9). В якості сорбційного матеріалу використано композитний сорбент на основі системи «силікагель/Na_2SO_4», температура регенерації якого складає 60–70 ^0C що повністю покривається за рахунок енергії сонця. Умови синтезу та результати дослідження основних характеристик сорбенту наведено в [4].

Площа сонячного адсорбера-колектора складала 1 м^2. В адсорбер завантажено 3,5 кг сорбенту, у випарник – 4,5 літри дистильованої води, в теплоакумулювальний бак – 30 літрів звичайної води.

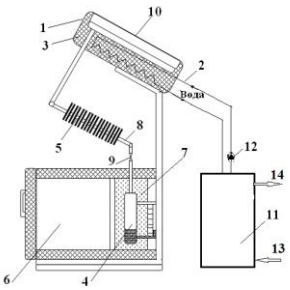

Рисунок 1 – Адсорбційний холодильник: 1 – адсорбер; 2 – змійовик; 3 – сорбційний матеріал; 4 – випарник; 5 – конденсатор; 6 – холодильна камера; 7 – водяний акумулятор холоду; 8 - труба; 9 – кран; 10 – прозорий стільниковий полікарбонатний пластик; 11 – теплоакумулювальний бак; 12 – насос; 13 – підведення холодної води; 14 – відведення нагрітої води до споживача

Адсорбційний холодильник працює згідно з термодинамічним циклом, який зображено на рис. 2. Тиск водяної пари при сорбції складав 9 мбар, при десорбції – 30 мбар. За цикл 1 г композитного сорбенту «силікагель/Na_2SO_4» обмінює 0,24 г води, що відповідає питомій енергії циклу 0,5 кДж/г.

Робота здійснюється в два етапи. Перший етап – отримання холоду (лінія 3-4-1 – адсорбція та випаровування води). Відкривають кран (8). Пари води починають дифундувати через конденсатор до адсорбера. За рахунок сорбції води сорбційним матеріалом відбувається її випаровування у випарнику (4), що створює холодильний ефект в холодильній камері (6). Оскільки в стінках холодильника міститься

великий об'єм води холод в камері (6) підтримується на рівні 5–10 ^{0}С протягом 10–20 годин, до наступного циклу. При поглинанні води сорбційним матеріалом (3) температура в адсорбері (1) істотно підвищується за рахунок виділення теплоти сорбції. Для відбору цієї теплоти по змійовику (2) пускають холодну воду. При сприятливих погодних умовах нагріта вода догрівається в теплоакумулювальному баку (11) після чого подається споживачу в систему гарячого водопостачання або опалювання. Якщо погодні умови не сприятливі – використовується для регенерації сорбційного матеріалу на другому етапі роботи холодильника.

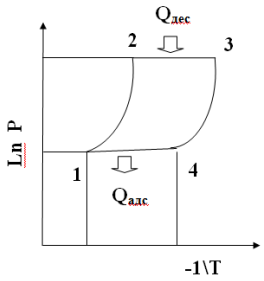

Рисунок 2 – Робочий цикл адсорбційного холодильника

Другий етап – регенерація адсорбенту (лінія1-2-3 – десорбція та конденсація води). Закривають кран 4. Нагрівають сорбційний матеріал (3), використовуючи сонячну енергію або пропускаючи по змійовику (2) гарячу воду, нагріту на першому етапі. Це дозволило зменшити вплив погодних умов на час регенерації матеріалу. Вода збирається в конденсаторі (5) далі зливається у випарник (4) і починається процес отримання холоду.

Згідно з [5] середньодобова питома холодильна потужність прямо пропорційна різниці максимального нічного та мінімального денного вологовмісту ΔW

$$P = \frac{H \cdot \Delta W}{\tau}, \tag{1}$$

де H = 2420 кДж/кг – теплота випару води; τ = 8 – час циклу роботи установки; ΔW = 44 %.

Холодильний коефіцієнт сонячного адсорбційного холодильника розраховується за формулою [5]:

$$\eta = \frac{\Delta H \cdot \Delta W}{C \cdot (T_1 - T_2) + \Delta H_{дес} \cdot \Delta W}, \tag{2}$$

де C = 1,4 кДж/(кг·^{0}С) – ефективна теплоємність адсорбента, води та елементів конструкції; T_1 – максимальна температура, що досягається при десорбції сорбційного матеріалу, ^{0}С; T_2 – мінімальна температура в адсорбері, ^{0}С; $\Delta H_{дес.}$ = 2850 кДж/кг – теплота десорбції води.

Результати та їх обговорення

Результати дослідження сонячного адсорбційного холодильника з водяним акумулятором холоду представлені на рис. 3 у вигляді графічної залежності зміни температури в холодильній камері від часу. Мінімальна температура, яку було отримано через 6 годин після початку сорбції, склала 3 ^{o}С. Протягом майже 14 годин підтримувалася температура в холодильній камері нижче 10 ^{o}С. Користуючись рекомендаціями [5], температура в конденсаторі підтримувалася на рівні 30 ^{o}С. При середньодобовій питомій потужності в 15,125 кВт було отримано холодильний коефіцієнт 0,849.

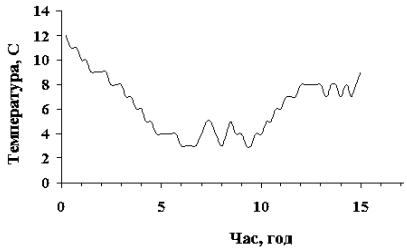

Рисунок 3 – Графік зміни температури в холодильній камері під час випаровування води у випарнику

Висновки

Було розроблено та досліджено сонячний адсорбційний холодильник з адсорбером на основі прозорого стільникового полікарбонатного пластику та композитного сорбційного матеріалу «силікагель/Na_2SO_4». Представлений холодильник зовсім не споживає електроенергію та є цілком екологічно безпечним за рахунок використання водяного акумулятору холоду. При цьому розроблена конструкція не містить рухомих деталей, а тому практично безшумна. Введення в конструкцію теплоакумулювального баку дозволило зменшити вплив погодних умов на час регенерації сорбційного матеріалу, та дає можливість будь-коли використовувати нагріту воду для побутових або технологічних потреб. Середньодобова холодильна потужність склала 15,13 кВт, а холодильний коефіцієнт – 0,85. Протягом 14 годин в холодильній камері підтримується температура на рівні 3–9 ^{0}С. Отримані результати роблять даний пристрій привабливим для використання в промисловості і побуті.

Література

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники / Кельцев Н.В. – М.:Химия, 1984. – 592 с.
2. Аристов Ю.И. Композитные сорбенты «соль в порах матрицы»: синтез свойства применение. /Аристов Ю.И., Гордеева Л.Г., Токарев. М.М. – Новосибирск: СО РАН, 2008. – 362 с.
3. Фотометричні дослідження стільникових полікарбонатних пластиків з метою їх ефективного використання в якості конструктивних елементів сонячних колекторів / Я.М. Козлов, М.П. Сухий, К.М. и др // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – 2010. – № 4 – С. 17.
4. Structure and adsorption properties of the composites ‘silicagelesodium sulphate’, obtained by solegel method/ Kostyantyn M. Sukhyy, Elena A. Belyanovskaya, Yaroslav N. Kozlov, Elena V. Kolomiyets, Mikhaylo P. Sukhyy // Applied Thermal Engineering. – 2014. – № 64. – p. 408–412.
5. Анализ цикла работы солнечных адсорбционных холодильных установок /О.С. Попель, С.Е. Фрид, С.С. Шаронов// Теплоенергетика. – 2007. – № 8. – с. 24–29.

Bibliography (transliterated)

1. Keltsev N.V. Osnovyi adsorbtsionnoy tehniki. Keltsev N.V. – M.: Himiya, 1984. – 592 p.
2. Aristov Yu.I. Kompozitnyie sorbentyi «sol v porah matritsyi»: sintez svoystva primenenie. Aristov Yu.I., Gordeeva L.G., Tokarev. M.M. – Novosibirsk: SO RAN, 2008. – 362 p.
3. Fotometrichni doslidzhennya stilnikovih polikarbonatnih plastikiv z metoyu yih efektivnogo vikoristannya v yakosti konstruktivnih elementiv sonyachnih kolektoriv. Ya.M. Kozlov, M.P. Suhiy, K.M. i dr. Tehnichna teplofizika ta promislova teploenergetika. – 2010. – # 4 – P. 17.
4. Structure and adsorption properties of the composites ‘silicagelesodium sulphate’, obtained by solegel method. Kostyantyn M. Sukhyy, Elena A. Belyanovskaya, Yaroslav N. Kozlov, Elena V. Kolomiyets, Mikhaylo P. Sukhyy. Applied Thermal Engineering. – 2014. – # 64. – P. 408–412.
5. Analiz tsikla rabotyi solnechnyih adsorbtsionnyih holodilnyih ustanovok. O.S. Popel, S.E. Frid, S.S. Sharonov. Teploenergetika. – 2007. – # 8. –P. 24–29.

УДК 662.997

Коломиец Е.В., Козлов Я.Н., Сухой К.М., Сухой М.П., Беляновская Е.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОГО АДСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНИКА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО СОРБЕНТА «СИЛИКАГЕЛЬ/ NA_2SO_4»

Создан и исследован адсорбционный холодильник на основе композитного сорбента «силикагель / Na_2SO_4» с водяным аккумулятором холода. Регенерация адсорбента осуществляется только за счет солнечной энергии. Среднесуточная холодильная мощность составила 15,13 кВт, а холодильный коэффициент – 0,85. В течение 14 часов в холодильной камере поддерживается температура на уровне 3–9 ^{0}С.

Kolomiyets E.V., Kozlov J.N., Sukhyy K.M., Sukhyy M.P., Belyanovskaya E.A.

THE STUDY OF THE SOLAR ADSORPTION CHILLER BASED ON A COMPOSITE SORBENT «SILICA /NA_2SO_4»

The adsorption refrigerator based on a composite sorbent «silica / Na_2SO_4» with water cold accumulator was developed and studied. Regeneration of the adsorbent is carried out only by means of solar energy. Daily average cooling power is 15,13 kW and cooling coefficient is 0,85. A temperature in the refrigerator compartment is maintained to be 3–9 ºC during 14 hours.