

АДСОРБЦІЙНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕПЛОТИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Чаласьв Д.М., канд. техн. наук, пров. наук. співр.,
Грабов Л.Н., канд. техн. наук, пров. наук. співр., Данько І.О., аспірант
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

Представлено конструкцію та принцип роботи розробленого в ІТТФ НАН України адсорбційного перетворювача теплоти (АдПТ) періодичної дії. Визначені енергетичні показники апарату при використанні різних робочих тіл.

Presented design and working principle of periodic action adsorption heat transformer, developed in the Institute of Engineering Thermophysics, NAS of Ukraine. Defined energy performance of machine using different working fluids.

Ключові слова: адсорбція, десорбція, адсорбент, холодоагент, адсорбційний перетворювач теплоти

В усьому світі швидко зростає споживання енергії необхідної для охолодження і кондиціонування повітря. Зростання споживання електроенергії на кондиціонування повітря в літній час приводить до великих перенавантажень електричних мереж. У зв'язку з цим питання переходу в літній час на тепловикористовуючі холодильні системи гостро стоїть в Європі [1]. Останнім часом виріс інтерес до адсорбційних систем охолодження завдяки їх здатності використовувати низькотемпературне тепло та екологічно чисті холодоагенти. Вони не створюють загрози навколишньому середовищу та не сприяють глобальному потеплінню на відміну від традиційних теплових насосів з електричним приводом компресора. Також до переваг можна віднести відсутність рухомих частин і, як наслідок, простоту в експлуатації та технічному обслуговуванні, малощумність та відсутність вібрацій. А ті, що в якості джерела енергії використовують сонячне випромінювання, зручні ще й тим, що потреба в охолодженні та кондиціонуванні значним чином збігається з сонячною активністю.

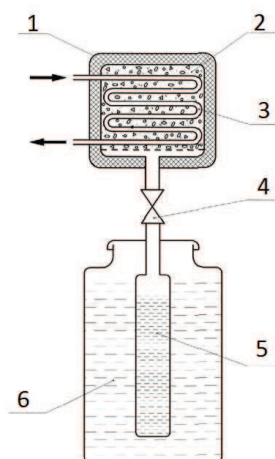
Нині більшість АдПТ використовують адсорбери з гранульованими сорбентами, такими як цеоліт, силікагель, NaX, солі лужних металів, тощо. Одним з напрямів роботи Інституту технічної теплофізики НАН України є пошук та дослідження природних цеолітів таких як клиноптилоліт, морденіт, та ін., які в значній кількості залягають в родовищах Закарпаття [2]. Також велика увага дослідників зосереджена на розробці композитних сорбентів типу сіль в пористій матриці [3]. Результати досліджень показали, що сорбенти такого типу мають значно вищу поглинаючу здатність, що є однією з визначальних характеристик загальної енергетичної ефективності агрегату. Не менш важливим фактором є оптимізація конструкції апаратів АдПТ. Для інтенсифікації процесів тепломасообміну в шарі адсорбенту та більш інтенсивного підводу/відводу тепла до нього необхідна розробка розвинених теплообмінних поверхонь, які ефективно передають тепло і забезпечують рівномірну подачу пару до адсорбенту.

В ІТТФ НАН України розроблено АдПТ періодичної дії, який може бути застосований для виробництва холоду в польових умовах та у місцях, віддалених від джерел централізованого енергопостачання [4].

Апарат (рис. 1) складається з послідовно з'єднаних паропроводом адсорбційно-десорбційного реактора з адсорбентом, який насичений холодоагентом, конденсатора і випарника, зануреного в ємність з рідиною. Адсорбційно-десорбційний реактор виконаний у вигляді теплоізолюваного контейнера з адсорбентом і має теплообмінну поверхню з гідравлічним контуром для циркуляції гріючого теплоносія і рідини, що нагрівається. Теплообмінна поверхня розташована в шарі адсорбенту в тепловому контакті з ним, а конденсатор і випарник об'єднані в єдиний об'ємний апарат, занурений в ємність з рідиною і з'єднаний з адсорбційно-десорбційним реактором через запірний вентиль.

В традиційній схемі АдПТ, де конденсатор і випарник становлять два різні апарати, кожен з них працює лише половину циклу – конденсатор під час десорбції і накопичення холодоагенту, а випарник під час сорбції і отримання холоду. Запропонована нами конструкція конденсатора-випарника у вигляді єдиного апарату дозволяє зменшити його металоємність та габарити. Також забезпечується підвищення енергетичної ефективності агрегату за рахунок корисного використання теплоти конденсації, яка при традиційній схемі роботи АдПТ розсіюється в навколишнє середовище.

Робота АдПТ періодичної дії здійснюється у дві стадії – регенерація адсорбенту і виробництво холоду, які полягають у наступному.



1 – адсорбер/десорбер, 2 – адсорбент, 3 – гідравлічний контур, 4 – запірний вентиль, 5 – конденсатор-випарник, 6 – ємність з рідиною

Рис. 1 – Схема адсорбційного перетворювача теплоти

На стадії регенерації адсорбенту ємність 6 заповнюють водою, яку необхідно нагріти, встановлюють у ємність випарник 5 і відкривають запірний вентиль 4. Після цього в гідравлічний контур 3 подають гріючий теплоносіє. При цьому адсорбент 2, що знаходиться в адсорбційно-десорбційному реакторі 1, нагрівається за рахунок теплообміну з гріючим теплоносієм і з нього виділяються пари холодоагенту, які через запірний вентиль 4 надходять у випарник 5 і конденсуються в ньому, а теплота конденсації холодоагенту йде на нагрівання води в ємності 6. Нагріта вода може використовуватись для побутових потреб. Після завершення регенерації адсорбенту припиняють подачу гріючого теплоносія в гідравлічний контур 3 і закривають запірний вентиль 4. Стадія регенерації закінчується висушенням адсорбенту та накопиченням холодоагенту в конденсаторі-випарнику в рідкому стані. Таким чином «заряджений» агрегат може тривалий час знаходитись в стані готовності до виробництва холоду.

При переході до стадії вироблення холоду ємність 6 заповнюють рідиною, яку необхідно охолодити, і встановлюють у неї випарник 5. Після чого в гідравлічний контур 3 подають воду, яку необхідно нагріти, і відкривають запірний вентиль 4. При цьому регенований адсорбент 2 починає інтенсивно поглинати пари холодоагенту з випарника 5, а теплота сорбції, яка виділяється при поглинанні адсорбентом парів холодоагенту, відводиться водою, що циркулює в гідравлічному контурі. Нагріту воду, так само як і в попередньому циклі, можна використовувати для побутових потреб. Одночасно сконденсований холодоагент кипить у випарнику, відбираючи теплоту від охолоджуваної рідини в ємності 6.

Таким чином даний адсорбційний агрегат дозволяє отримувати холод без вживання електричної енергії і може працювати в польових умовах за рахунок використання теплоти сонячного випромінювання, або органічного палива. Періодичний характер роботи агрегату дозволяє рознести в часі процеси регенерації сорбенту і вироблення холоду. Після «зарядки» агрегат може транспортуватися на великі відстані і включатись на вироблення холоду в потрібному нам місці. За допомогою запірних вентилів процес охолодження може бути призупинений та поновлений в будь-який час. Це забезпечує ефективне використання корисної холодопродуктивності.

Термодинамічний цикл АдПТ в координатах діаграми Клапейрона $\ln P - 1/T$ показано на рис. 2.

Ця діаграма зручна для представлення і розрахунку енергетичних показників теоретичного адсорбційного циклу. Робочі процеси характеризуються відрізками:

1-2 – нагрівання насиченого адсорбенту від температури сорбції до температури початку регенерації,

2-3 – регенерація (осушення) адсорбенту і конденсація десорбуємої пари холодоагенту при температурі $T_{\text{конд}}$

3-4 – охолодження регенованого адсорбенту до температури початку сорбції,

4-1 – адсорбція пари холодоагенту, що утворюється при його кипінні в випарнику при температурі $T_{\text{вип}}$.

Кількість холодоагенту, що бере участь в холодильному циклі, визначається за різницею вологовмісту насиченого і осушеного адсорбенту.

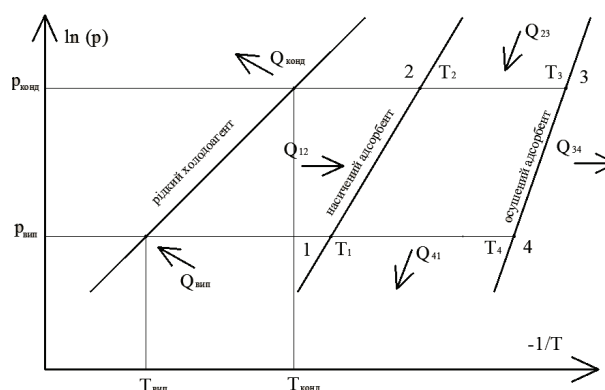


Рис. 2 – Термодинамічний цикл адсорбційного перетворювача теплоти

Теплота конденсації і холодопродуктивності:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{вип}} = r \cdot (a_2 - a_3),$$

де r – теплота паротворення холодоагенту при температурі випаровування;

a_2 і a_3 – вологовміст адсорбенту на початку і в кінці процесу сорбції.

Теплота сорбції і десорбції:

$$Q_{23} = Q_{41} = \Delta H \cdot (a_2 - a_3),$$

де ΔH – теплота десорбції.

Відповідно до наведених залежностей було визначено кількість холоду і тепла, яке може бути отримано в адсорбційному перетворювачі теплоти при використанні різних адсорбентів (табл. 1). При розрахунку термодинамічного адсорбційного циклу прийнято: температура десорбції 90°C, температура конденсації 30°C, температура сорбції 40°C, температура випаровування 5°C.

Таблиця 1 – Енергетичні показники робочих пар адсорбційного перетворювача теплоти

Робоча пара	$Q_{\text{сор/дес.}}$ кДж/кг	$Q_{\text{конд/вип.}}$ кДж/кг
Синтетичний цеоліт NaX - вода	113,9	75,6
Природний цеоліт клиноптилоліт – вода (родовище Сокирниця, Закарпаття)	67,3	41,8
Природний цеоліт морденіт – вода (родовище Липча, Закарпаття)	46,7	29,1

Робота виконується за підтримки програми спільних наукових проєктів НАНУ - СО РАН (проєкт 04-08-12 НАНУ).

Висновки

АдПТ є ефективним засобом отримання холоду за допомогою низькопотенційної теплової енергії і може працювати в польових умовах за рахунок використання теплоти сонячного випромінювання, або органічного палива. Ефективними робочими тілами АдПТ, що по своїм характеристикам практично не поступаються синтетичним цеолітам, є природні цеоліти клиноптилоліт і морденіт, родовища яких наявні в Україні (селища Сокирниця, Липча в Закарпатті).

Література

1. Jakob U, P. Kohlenbach. Recent Developments of Sorption Chillers in Europe. 9th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants held in Sydney, Australia, on April 12-14, 2010.
2. Чалаев Д.М., Шаврин В.С., Дабижа Н.А., Трошенко Ю.Н. Сорбционные термотрансформаторы на базе природных цеолитов. Тезисы V Международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», 22-25 мая 2007г., Киев, С. 261-262
3. Ю.И. Аристов, Л.Г. Гордеева, М.М. Токарев. Композитные сорбенты «соль в порах матрицы»: синтез свойства применения. Изд. СО РАН, Новосибирск 2008. 362 стр.
4. Пат. 105155 UA, F25B 17/00. АДСОРБЦІЙНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕПЛОТИ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ/Долінський А.А., Чалаєв Д.М., Грабов Л.М., Данько І. О.– № а 2013 13204; заяв. 13.11.2013; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7