

ПРОЦЕДУРА РОЗРАХУНКУ ТЕРМІЧНОЇ МАСИ АДСОРБЦІЙНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Беляновська О. А., Литовченко Р. Д., Сухий К. М., Сухий М. П., Сергієнко Я. О.

ПРОЦЕДУРА РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОЙ МАССЫ АДСОРБЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Беляновская Е. А., Литовченко Р. Д., Сухой К. М., Сухой М. П., Сергиенко Я. О.

PROCEDURE OF CALCULATION OF THERMAL MASS OF ADSORPTIVE HEAT-CONVERSION DEVICE

Belyanovskaya E., Lytovchenko R., Sukhyu K., Sukhyu M., Serhiienko Ya.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Дніпро, Україна

e.a.belyanovskaya@gmail.com

Досліджено термічні маси адсорбційних пристроїв для перетворення теплової енергії. Проаналізовано кореляцію адсорбції та складу адсорбента та величини термічної маси. Показано, що термічна маса адсорбційного модуля для перетворення теплової енергії істотно зростає в результаті адсорбції води при розряді пристрою. Встановлено, що її максимальні значення відповідають завершенню стадії розряду, тобто досягненню максимальних значень адсорбції.

Ключові слова: адсорбційне перетворення теплової енергії, термічна маса, композитний адсорбент

Исследованы термические массы адсорбционных устройств для преобразования тепловой энергии. Проанализированы корреляцию адсорбции и состава адсорбента и величины термической массы. Показано, что термическая масса адсорбционного модуля для преобразования тепловой энергии существенно возрастает в результате адсорбции воды при разряде устройства. Установлено, что ее максимальные значения соответствуют завершению стадии разряда, то есть достижению максимальных значений адсорбции.

Ключевые слова: адсорбционное преобразование тепловой энергии, термическая масса, композитный адсорбент

The thermal masses of adsorption devices for the conversion of thermal energy have been studied. The correlation between adsorption and adsorbent composition and thermal mass value was analyzed. It is shown that the thermal mass of the adsorption heat conversion unit increases significantly as a result of water adsorption during the discharge of the device. It is established that its maximum values correspond to the completion of the discharge stage, i.e. the achievement of the maximum values of adsorption.

Keywords: adsorption conversion of heat energy, thermal mass, composite adsorbent

ВСТУП

Адсорбційне перетворення теплової енергії є перспективним технічним рішенням, яке дозволяє не лише корегувати нічне провалля при споживанні електричної енергії, але й компенсувати значну різницю періодів активних

споживання та виробництва енергії при експлуатації вторинних та відновлюваних енергоресурсів. Режим експлуатації більшості адсорбційних модулів та пристроїв для поглинання та акумулювання теплової енергії включає стадії нагрівання та охолодження, які періодично змінюють одне одного. В цих умовах вирішальним фактором, який впливає на експлуатацію подібних пристроїв, є термічна маса, тобто теплоємність пристрою (кДж/К), яка дорівнює добутку його маси та питомої теплоємності [1]. В літературі та дослідницькій спільноті протиставляють термічні маси адсорбенту та інших матеріалів: активна та інактивна (інертна) маси, жива та мертва маси, хазяїн/гість та ін. Відповідно до *Gluesenkamp* та ін. [2], які вважають нелогічним поділ на живу та мертво термічні маси, оскільки власне адсорбент має термічну масу, в даній роботі застосовано термін термічна маса. Існує однозначна кореляція термічної маси та ефективності процесів нагрівання та охолодження. Дана характеристика є однією з ключевих при проектуванні адсорбційних пристроїв.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Представлена робота присвячена розробці процедури розрахунку термічної маси адсорбційних перетворювачів теплової енергії.

Першою стадією розрахунку є встановлення потрібного теплового навантаження за стандартною або традиційною методикою. Далі, слід розрахувати масу адсорбенту, як відношення визначеного теплового навантаження та теплоти адсорбції.

Розрахунок невід'ємних термічних мас адсорбційного модуля проводився відповідно до формул, які наведено в роботі [1]:

$$TM_{inherent} = m_{ads}c_{ads} \quad (1)$$

$$TM_{inherent} = m_{ads}(c_{ads} + Ac_{ad-te}) \quad (2)$$

де $TM_{inherent}$ – невід'ємна термічна маса адсорбційного модуля, m_{ads} – маса адсорбента, кг; c_{ads} – теплоємність адсорбенту; A – адсорбція (кг адсорбата/кг адсорбента), яка змінюється протягом циклу; добуток $m_{ads}Ac_{ad-te}$ – це термічна маса речовина, яка поглинута адсорбентом.

Крім того, слід розрахувати конструкційну термічну масу, що дорівнює сумі термічних мас несорбуючих матеріалів, тобто теплоносія та деталей конструкції.

Загальна термічну адсорбційного пристрою розраховують як суму невід'ємної термічної маси та конструкційної.

Іншою важливою характеристикою є питома термічна маса (STM), за методикою, яку наведено в [2]:

$$STM = \frac{TM}{m_{ads}} \quad \text{кДж / (К·кг сорбента)} \quad (3)$$

де TM – питома термічна маса пристрою, кДж/К, m_{ads} – маса адсорбента, кг.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

За умови невеликих теплоємностей адсорбата або незначної величини адсорбції термічною масою адсорбованої речовини можна знехтувати. В той же час, варт порівняти вплив адсорбції на термічну масу адсорбційного блоку (таблиця).

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

Так величина невід'ємної термічної маси буде істотно змінюватися протягом циклу навіть за умови при невеликих значень граничної адсорбції, тобто збільшуватись не менш ніж в 2,5 рази протягом циклу за умови досягнення граничних значень адсорбції. В результаті більш високих значень адсорбції, для композитних адсорбентів зміна подібної величини є більш значною в порівнянні з традиційними адсорбентами. Вочевидь, найбільш висока зміна протягом циклу є типовою для композитів, які містять 20 % силікагелю та 80 % солі, яка утворює кристалогідрат.

Таблиця. Порівняння термічних мас за умови маси сорбенту 100 кг Адсорбат – вода

Матеріал	Питома теплоємність (kJ/kg·K)	$TM_{inherent} = m_{sorbent}(c_{sorbent} + Ac)$		$TM_{inherent} =$ кДж/К
		Початок циклу	Кінець стадії розряду A_{lim}	
Силікагель КСМ № 6п (ГОСТ 3956-76)	0,92	92	175,8	90
Адсорбент SAPO-34 кристалізований напряму [3]	0,90	90	194,75	90
AQSOA FAM Z02 гранули [3]	0,69	69	173,75	69
AQSOA FAM Z02 порошок [3]	0,822	82,2	186,95	82,2
Силікагель 80 % – натрій сульфат (20 %) [4]	0,9152	91,52	293,478	91,52
Силікагель 60 % – натрій сульфат (40 %) [4]	0,9104	91,04	414,089	91,04
Силікагель 40 % – натрій сульфат (60 %) [4]	0,9056	90,56	534,7	90,56
Силікагель 20 % – натрій сульфат (80 %) [4]	0,9008	90,08	655,311	90,08
Силікагель 80 % – натрій ацетат (20 %) [4]	0,9308	93,08	231,35	93,08
Силікагель 60 % – натрій ацетат (40 %) [4]	0,9416	94,16	287,738	94,16
Силікагель 40 % – натрій ацетат (60 %) [4]	0,9524	95,24	344,964	95,24
Силікагель 20 % – натрій ацетат (80 %) [4]	0,9632	96,32	413,084	96,32

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано вплив адсорбції на зміну термічної маси протягом експлуатаційного циклу адсорбційних пристроїв для перетворення теплової енергії.

Порівняно термічні маси та характер їх змін при протягом циклу експлуатації адсорбційних теплоакумуючих пристроїв на основі традиційних адсорбентів та композитів «силікагель – кристалогідрат».

Встановлено, що максимальних значень термічної маси досягають при вмісті в композиті солі 20 % силікагелю та 80 % солі, зокрема, натрій сульфату або натрій ацетату. При тому ж складі адсорбенту встановлені найбільші зміни термічної маси для композитів «силікагель – натрій сульфат», що корелює з максимальними значеннями граничної адсорбції.

Найбільші значення термічні маси встановлені при використанні композитних адсорбентів «силікагель – натрій сульфат», що відповідає максимальним значенням граничної адсорбції та теплоти адсорбції, що сприяє зменшенню розмірів адсорбційного модуля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sangwon S., Kawakami H., Mikšík F., Takata N., Thu Kyaw, Miyazaki T. Thermodynamic analysis and impact of thermal masses on adsorption cycles using MaxsorbIII/R245fa and SAC-2/R245fa pairs. *International Journal of Refrigeration*, 2021. Vol. 123. P. 52–62
2. Gluesenkamp K. R., Frazzica A., Velte A., Metcalf S., Yang Z., Rouhani M., Corey B., Ming Q., Laurenz E., Rivero-Pacho A., Hinners S., Critoph R., Bahrami M., Földner G., Hallin I. Experimentally Measured Thermal Masses of Adsorption Heat Exchangers. *Energies*, 2020. Vol. 13. P. 1150
3. Freni A., Maggio, G., Sapienza A., Frazzica A., Restuccia G., Vasta S. Comparative analysis of promising adsorbent/adsorbate pairs for adsorptive heat pumping, air conditioning and refrigeration. *Applied Thermal Engineering*, 2016. Vol. 104. P. 85–95
4. Sukhyu K. M., Belyanovskaya E. A., Sukhyu M. P. Technology Development for Adsorptive Heat Energy Converters: *Emerging Research and Opportunities*. San Francisco: IGI-GLOBAL, USA. 2020 328 p.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПИНЧ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РЕКТИФІКАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Бабак Т. Г., Биканов С. М., Пономаренко Є. Д.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПИНЧ-АНАЛИЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Бабак Т. Г., Быканов С. Н., Пономаренко Е. Д.

APPLICATION OF THE PINCH ANALYSIS TECHNIQUES FOR THE RECTIFYING PLANT ENERGY EFFICIENCY IMPROVING

Babak T., Bykanov S., Ponomarenko Ye.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Харків, Україна

tgbabak@gmail.com

sergiobyk1980@gmail.com

yevgeniya.ponomarenko@gmail.com