

УДК 662.997

*М.П. Сухий, К.М. Сухий, Я.Н. Козлов, О.В. Коломієць, О.А. Беяновська,
Р.С. Аміруллоєв*

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ КОМПЛЕКС ПОГЛИНАННЯ, ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА АКУМУЛЮВАННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Досліджено енергетичний комплекс поглинання, трансформації та акумулювання сонячного випромінювання на основі полімерних сонячних колекторів і теплоаккумулявальних матеріалів сорбційного типу. Виконано термодинамічний аналіз замкненого циклу трансформації сонячного випромінювання та оптимізовані його параметри.

Вступ

Зростання енергетичних потреб, збільшення масштабів та темпів споживання викопних видів палива призводить до появи паливного дефіциту [1–2]. Ця ситуація стимулює крупномасштабне впровадження новітніх технологій ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів і максимальне використання поновлюваних джерел енергії [3].

Найбільш перспективним нетрадиційним поновлюваним джерелом енергії є сонячна енергія, теоретичний запас якої на порядок більший у порівнянні з іншими відновлювальними джерелами енергії (вітру, припливів, геотермальної та ін.) [4–7].

Масштабне використання сонячного випромінювання можливе за умов створення новітніх енергетичних комплексів з терміном окупності на рівні 1–2 роки, створених на основі доступних матеріалів та здатних ефективно працювати незалежно від метеорологічних умов. Виконання цих вимог можливе за рахунок створення полімерних сонячних колекторів, які б працювали з пристроями акумулювання енергії.

У роботі досліджений енергетичний комплекс поглинання, трансформації та акумулювання сонячного випромінювання з високою густиною запасання енергії для підвищення ефективності роботи геліоустановок.

Експериментальна частина

У роботі створений лабораторний комплекс поглинання, трансформації та акумулювання сонячного випромінювання, який складається з полімерного сонячного колектора (I, рис. 1), у якому відбувається трансформація сонячної енергії в теплову та теплоаккумулявальний модуль (II, рис. 1), де відбувається накопичення теплової

енергії та передача для використання за межами комплексу. В якості теплоаккумулявального середовища використані композитні сорбенти на основі системи «силікагель – Na_2SO_4 », умови синтезу та характеристики яких детально описані в [9].

У роботі використані полімерні сонячні колектори типу ПСЧ-ВС1-2, описані в [10]. Абсорбер даної конструкції виконано на основі одноярусного прозорого стільникового полікарбонатного пластику товщиною 10 мм, з прозорою ізоляцією товщиною 4 мм. Поглинач сонячного випромінювання в даній конструкції виконано на основі вуглецевої стрічки, яка розташована в прохідних каналах абсорбера таким чином, щоб робоча рідина циркулювала над поглиначем сонячного випромінювання.

Площа сонячного колектора складає 1 м^2 . Оптичний ККД колекторів становить 0,75, приведені теплові втрати – $4,11 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Середня годинна потужність колектору при інтенсивності сумарного сонячного випромінювання від 477 до $934 \text{ Вт}/\text{м}^2$ протягом світлового дня, згідно з [11] складає $488 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Теплоаккумулявальний модуль складається з порожнистої теплоізолюваної труби (1), у якій розміщений теплоаккумулявальний матеріал (2), крізь який, за допомогою компресора (3), подається повітря. За компресором розташований резервний нагрівач (4) для регулювання температури повітря, яке подається в модуль. Для вимірювання температури повітря на вході та виході в теплоаккумулявальний модуль по зонах теплоаккумулятора та ззовні, а також для вимірювання температури теплоносія в теплообміннику (5) використовуються термометри. Теплообмінник з'єднаний з полімерним сонячним колектором (6) тру-

бопроводами, по яких насосом (7) здійснюється циркуляція теплоносія. Труба з теплоакмулювальним матеріалом розміщена на терезах (8) для вимірювання зміни маси в процесі досліджень. Витрату повітря підтримували на рівні 50 м³/год. Вологість повітря, яке подавалося до установки, підтримували на рівні 80–90%. Маса теплоакмулювального матеріалу до сорбції складає 3,5 кг.

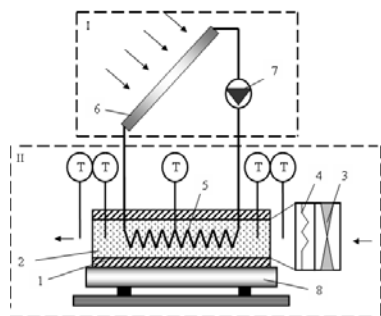


Рис. 1. Експериментальний енергетичний комплекс поглинання, трансформації та акумулювання сонячного випромінювання: 1 – теплоізолювана труба; 2 – теплоакмулювальний матеріал; 3 – компресор; 4 – резервний нагрівач; 5 – теплообмінник; 6 – полімерні сонячні колектори; 7 – циркуляційний насос; 8 – терези; Т – термопара

Робота енергетичного комплексу відбувається у два етапи: адсорбція (розрядка) та десорбція (зарядка). На першому етапі сухий сорбент адсорбує вологу з повітря, що подається компресором з навколишнього середовища. Під час сорбції пари води виділяється певна кількість теплоти, яку можна в подальшому використовувати за межами комплексу.

На другому етапі відбувається процес десорбції парів води з композитного сорбенту. Прогрів матеріалу здійснюється мідним теплообмінником (5), по якому циркулює теплоносій з температурою 55–60°C, що нагрівається у сонячному колекторі. Щоб десорбована волога не залишалася в шарі сорбенту компресор (3) працює весь час.

Результати та їх обговорення

Встановлено, що процес сорбції при температурі нижче 30°C, практично не відбувається, отже спочатку системі необхідно передати певну кількість теплоти. Аналізуючи процес сорбції (рис. 2), можна помітити, що після нетривалого прогріву теплоакмулювального матеріалу (15 хв) відбувається сорбція вологи з повітря, яке подається до системи з виділенням теплоти. Температурний градієнт сорбції переміщується через матеріал, виходячи на рівень насичення через дві години. Це добре ілюструється залежностями температури матеріалу на вході та виході із системи. При цьому, температура повітря на виході з системи підтримується в межах 90–115°C протягом двох годин. Це дає змогу розрахувати параметри

теплоакмулювальної здатності використаних композитних сорбентів.

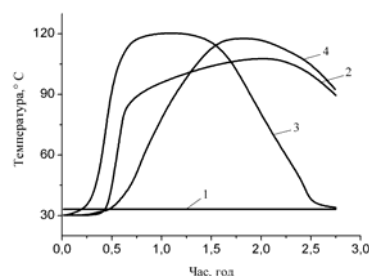


Рис. 2. Залежності температури композитного сорбенту “силікагель – сульфат натрію” в процесі сорбції води та температури повітря на вході та виході з енергетичного комплексу від часу: 1 – температура повітря на вході в комплекс; 2 – температура повітря на виході із комплексу; 3 – температура теплоакмулювального матеріалу на вході в комплекс; 4 – температура теплоакмулювального матеріалу на виході із комплексу

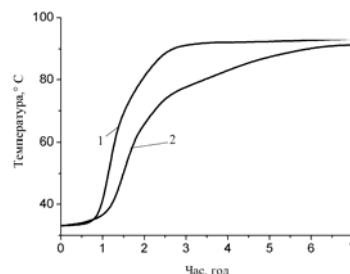


Рис. 3. Залежності температури композитного сорбенту “силікагель – сульфат натрію” в процесі десорбції води на вході та виході з енергетичного комплексу від часу: 1 – температура теплоакмулювального матеріалу виході із комплексу; 2 – температура теплоакмулювального матеріалу на вході в комплекс

Аналогічні заміри виконувалися на другому етапі протягом семи годин. Отримані результати наведено на рис. 3. На початковому етапі відбувається прогрів матеріалу (1,5 год) за рахунок мідного теплообмінника, по якому циркулює теплоносій з температурою 55–60°C, з повільним видаленням води. Після чого відбувається швидке видалення сорбованої води, а процес десорбції закінчується через 5,5 год.

В процесі сорбції вологого повітря маса матеріалу збільшується на 80%, тобто вологовміст у композитному сорбенті складає 44%, що практично збігається з даними попередніх досліджень вимірювання вологовмісту композитних сорбентів після сорбції для лабораторних зразків.

Теплоакмулювальна здатність композитного сорбенту води теоретично може бути розрахована за формулою [12]

$$Q = \Delta h \cdot \rho \cdot C \cdot \left(\frac{1000}{M_w} \right) \cdot \left(\frac{1}{3600} \right), \quad (1)$$

де $\Delta h \approx 60$ – теплота адсорбції водяної пари, кДж/моль [13–14]; $\rho = 720$ – насипна густина композитного сорбенту, кг/м³; $C = 44\%$ – максимальна водяна поглинальна здатність; $M_w = 18$ – молярна маса води, г/моль.

Підставляючи вихідні дані до рівняння (1), ми отримуємо теоретичну теплоакумулювальну здатність композитного сорбенту води:

$$Q = 60 \cdot 720 \cdot 0,44 \cdot \left(\frac{1000}{18}\right) \cdot \left(\frac{1}{3600}\right) = 293, \text{ (кВт·год)/м}^3. \quad (2)$$

Кількість теплоти, яка виділилася під час сорбції композитним сорбентом води, можна розрахувати за формулою

$$Q_{\text{сорбції}} = C_p \cdot \rho \cdot \Delta T \cdot V, \quad (3)$$

де $C_p = 1,012$ – середня ізобарна теплоємність сухого повітря, кДж/(кг·К); $\rho = 0,825$ – середня густина повітря, кг/м³; $\Delta T = 60$ – перепад температур повітря на вході та на виході труби з теплоакумулювальним матеріалом, К; $V = 90$ – об'єм повітря, що прокачується через композитний сорбент, м³.

Підставляючи до рівняння (2) отримані дані можна розрахувати кількість теплоти, яке виділилося при сорбції композитним сорбентом волого повітря:

$$Q_{\text{сорбції}} = 1012 \cdot 0,825 \cdot (90 - 30) \cdot 90 = 1,25, \text{ (кВт·год)}. \quad (4)$$

Таким чином, можна розрахувати теплоакумулювальну здатність використаних композитних сорбентів, яка складає 0,36 (кВт·год/кг) або враховуючи густину композитного сорбенту (720 кг/м³) – 258 (кВт·год)/м³.

Густини накопиченої енергії для композитних сорбентів які розраховані теоретично та знайдені під час експерименту, практично співпадають, що свідчить про обґрунтованість зроблених припущень, щодо механізмів теплоакумулювальної здатності. Отже теплоакумулювальна здатність розробленого комплексу складає 1,26 кВт·год.

Для випару сорбованої вологи потрібно затратити 4967,4 кДж енергії, яка повністю покривається сонячним колектором площею 1 м² впродовж 4–5 год. Слід зауважити, що наведені дослідження відтворювалися протягом десяти циклів, причому не спостерігалися негативні зміни фракційного складу композитних сорбентів.

Висновки

Виконано термодинамічний аналіз замкненого циклу трансформації сонячного випромінювання у енергетичному комплексі на основі полімерних сонячних колекторів у теплову енергію та її акумулювання у теплоакумулювальному модулі сорбційного типу на основі композитного сорбенту типу „силікагель-сульфат натрію”. По-

тужність полімерних сонячних колекторів ПСЧ-ВС1-2 загальною площею 1 м² складала 0,35 кВт, що повністю задовольняє потреби енергії на регенерацію теплоакумулювального матеріалу дня впродовж світлового дня. Температура повітря на виході з комплексу протягом 2-х годин підтримується в межах 90–115°C, що дозволяє використовувати його для обігріву приміщень. Процес десорбції триває 4–5 годин. Густина акумулювання тепла складає 0,36 кВт·год/кг, температура регенерації 55–60°C, зміни зовнішнього вигляду сорбенту та погіршення його сорбційних властивостей протягом десяти циклів не спостерігається, що свідчить про високу перспективність енергетичних комплексів на основі полімерних сонячних колекторів та досліджуваних композитних сорбентів. Проведені дослідження показали, що даний комплекс є ефективним та надійним і можлива подальша його модернізація в залежності від завдань експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.В. Альтернативные энергоносители / Ред. Г.С. Голицын. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
2. Ляшков В.И., Кузьмин С.Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2003. – 96 с.
3. Пугач Л.И., Серант Ф.А., Серант Д.Ф. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 347 с.
4. Використання сонячної енергії в бродильній промисловості / В.А. Домарецький, П.Л. Шиян, М.В. Білько, Р.Г. Кириленко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2007. – № 1. – С.196-200.
5. Боярчук В., Корбка С. Огляд і оцінка ефективності використання сонячної енергії в аграрному виробництві // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2010. – № 14. – С.87-90.
6. Ковальчук О.В., Зінченко Г.М. Про альтернативні джерела енергії // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2009. – № 2. – С.162-164.
7. Позитивний досвід використання геліосистем в житловому фонді України / Н.М. Лантух, Г.І. Онишук, Г.М. Агєєва, В.С. Щербатий // Реконструкція житла. – 2005. – № 6. – С.304-311.
8. Влияние состава и условий синтеза золь-гель силикофосфатных ионенсодержащих нанокмполитов на особенности их структуры и протонной проводимости / Сухой К.М., Шилова О.А., Гомза Ю.П. и др // Вопр. химии и хим. технологии. – 2010. – № 4. – С.64-68.
9. Синтез и свойства осажденных силикагелей для создания теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом / Сухий К.М., Бурмистр М.В., Козлов Я.Н. и др. // Полімери спеціального призначення: Тези допов. VI

українсько-польської наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ. – 2010. – С.96-97.

10. Пат. 53855 А Україна, МПК F 24 J 2/00, F 24 J 2/04, F 24 J 2/06. Сонячний колектор // М.П. Сухий, Я.Н. Козлов, К.М. Сухий (Україна); – № u 201002823; Заявл. 12.03.2010; Опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20 – 4 с.

11. Козлов Я.М. Підвищення ефективності процесів теплообміну та перетворення сонячної енергії у теплову в полімерних сонячних колекторах: Дис...канд. техн. наук: 05.14.06. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 127 с.

12. Осажденные силикагели для создания теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом / К.М. Сухой, М.В. Бурмистр, Я.Н. Козлов, М.П. Сухой // «ВМС-2010»: Матеріали XII української наук.-практ. з високомолекулярних сполук. – К.: Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 2010. – С.152.

13. Yang R.T. Gas separation by adsorption processes. – London: Imperial College Press, 1997. – 352 p.

14. VDI-Wärmeatlas. Recherchieren Berechnen Konstruieren / Verein Deutscher Ingenieure. – 8. Aufl. – Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 1997. –1445 p.

Надійшла до редакції 22.03.2013