

**Р.Й. Мусій, Г.Г. Мідяна, Р.Г. Макітра,
Я.М. Васютин, Г.І. Хованець, А.Б. Заборовський**

Відділення фізико-хімії горючих копалин
Інституту фізико-органічної хімії і вуглекімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України, Львів

СОНЯЧНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПОВІТРЯНИЙ КОЛЕКТОР НА ОСНОВІ НОВОГО ТИПУ СЕЛЕКТИВНОГО ПОКРИТТЯ



На основі найкращого селективного покриття за оптичними та експлуатаційними характеристиками сконструйовано сонячний тепловий повітряний колектор, що працює виключно від сонячної енергії за принципом одночасної вентиляції приміщення та обігріву. Його можна застосовувати для будинків відпочинку, музеїв, дерев'яних церков, складів, гаражів, дач, теплиць і т.п.

Ключові слова: селективне покриття, золь-гель метод, сонячний тепловий повітряний колектор.

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Потреба в дешевих, ефективних та екологічно чистих джерелах енергії швидко зростає. Використання газу та інших традиційних джерел енергії для нагрівання приміщень в Україні стає дуже дорогим, в результаті збільшується тенденція до екологічності принципів життєдіяльності та зростають потреби у використанні екологічно чистої сонячної енергії.

Сонячна енергія є безкоштовною, ефективною, безпечною для навколишнього середовища, не дає викидів вуглекислого газу в атмосферу. Широке використання геліосистем з сонячними тепловими колекторами стримується високою вартістю таких систем, які є недоступними за ціною для більшості потенційних споживачів. Тому при сучасному значному подорожчанні енергоносіїв та різкому скороченні їх запасів розробка нових конструкцій сонячних колекторів з високими експлуатаційними характеристиками та суттєво меншою

вартістю відносно аналогів — задача актуальна.

Сонячний тепловий повітряний колектор відноситься до теплотехнічного і вентиляційного обладнання, що працює виключно від сонячної радіації, є нетоксичним та безпечним для навколишнього середовища. Колектор задуває свіже повітря у будинок; виводить вологу; вивітрює сморід; зменшує ризик виникнення сухої гнилизни. Сонячна система ідеальна для будівель, що заселяються періодично. Сонячний колектор після встановлення працює автоматично, цілком безкоштовно та цілорічно.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ПОКРИТТЯ

Головним конструктивним елементом, який впливає на теплову ефективність сонячного колектора, є теплопоглинаюча поверхня. Для підвищення частки сонячної енергії, що поглинається, використовують спеціальні селективні покриття з високим коефіцієнтом поглинання сонячних променів α в короткохвильовій області і незначним коефіцієнтом випромінювання ϵ у довгохвильовій області. Їх отримують з використанням сучасних складних та високовартісних технологій вакуумно-

го напилення. Але існують проблеми з використанням таких покриттів, які пов'язані з: доступністю, складністю чи неможливістю їх використання в більшості конструкцій сонячних колекторів та дуже великою вартістю. Це робить неможливим виготовлення власних сонячних теплових колекторів в Україні.

Нами створено селективне покриття нового типу, де використано вуглецево-кремнієвий наноккомпозит, одержаний золь-гель методом [1–4]. Золь-гель метод простий і зручний для одержання матеріалів, які мають в поверхневому шарі функціональні групи. Використання такого методу дає широкі можливості для створення як самих матеріалів з наперед заданими властивостями, так і їх поверхні. Таке покриття дозволить досягти високого поглинання сонячного випромінювання, що необхідно для ефективного функціонування сонячних колекторів.

Для досягнення селективності необхідно застосовувати тонке поглинаюче покриття на сильно відбиваючій металічній підкладці. Нами розроблені спектрально-селективні композитні покриття з вуглецевих наночастинок, дисперговані в діелектричні матриці SiO_2 та NiO . Інші дослідники [5–7] використовували подібні селективні покриття, застосовуючи в основному наночастинок нікелю або кобальту, дисперговані в Al_2O_3 . Основним недоліком при використанні такого типу селективних поглиначів є те, що металеві частинки з часом окислюються, особливо в умовах високих температур. Тому необхідно використовувати напівметалічні та неметалічні наночастинок з температурною стабільністю від -40 до $+250$ °C. З цієї причини нами використовуються вуглецеві наночастинок. Вибір оксидних матриць пояснюється потребою використання оксидів з мінімальним інфрачервоним поглинанням. Вуглець та кремній широко розповсюджені, нешкідливі для навколишнього середовища та стабільні матеріали, особливо в умовах високих температур та високої вологості, при яких експлуатуються сонячні колектори. Вуглецево-кремнієвий композит можна легко синтезувати ме-

тодом золь-гель технології. Запропонована нами технологія дешева, ефективна та дає можливість легко контролювати параметри покриття, такі, як розмір поглинаючих частинок, їх розподіл за розмірами, гомогенність та товщину.

При отриманні експериментальних зразків використовували золь-гель метод на основі тетраетоксисилану, метилтриметоксисилану та різних органічних і неорганічних добавок [8], контролюючи температуру, концентрацію, в'язкість, товщину та інші параметри. Покриття наносили на алюмінієві та мідні зразки розмірами 40×40 мм методами *spin coating* та поливу пластин з подальшою сушкою при різних температурах.

У результаті проведених досліджень розроблено декілька типів селективних покриттів для сонячних колекторів, виготовлених золь-гель методом. Було проведено їх початкові порівняльні дослідження зі зразком фірми SunSelect (Німеччина). Даний зразок отримано за технологією вакуумного напилення, яка широко використовується за кордоном при виготовленні сонячних колекторів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЛЕКТИВНОГО ПОКРИТТЯ

Метою наших досліджень було визначення найбільш ефективного типу селективного покриття при застосуванні різних варіантів його одержання. Оцінку ефективності засвоєння сонячної енергії отриманими нами зразками проведено різними методами.

Вимірювання температури зразків при опроміненні їх природною сонячною енергією

Отримані експериментальні зразки покриттів необхідно оцінювати за багатьма параметрами. При порівнянні ефективності різних типів селективних покриттів одним з таких параметрів може бути прийнята максимальна температура нагрівання пластини з нанесеним досліджуваним покриттям при опроміненні її природною сонячною енергією. Для цього бу-

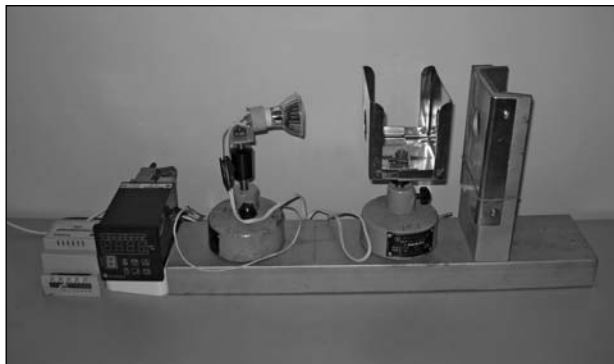


Рис. 1. Вимірювальна установка

ли проведені порівняльні дослідження ефективності різних типів покриттів за величиною досягнутих рівноважних температур.

Результати вимірювань показали стабільні відхилення значень рівноважної температури одного зразка відносно іншого при різних показниках щільності сонячного теплового потоку [9]. Температура нагріву найкращого нашого зразка, одержаного золь-гель методом, практично не відрізняється від значень для високо селективного покриття фірми SunSelect (Germany).

Використана методика дослідження практично виключає похибки вимірювання температур. Вона виконується одночасно всіма термомпарами з наступним виходом на багатоканальний аналого-цифровий перетворювач.

Вимірювання температури зразків при опроміненні їх імітатором сонячного випромінювання

Додатково тестування отриманих покриттів проводили методом порівняння при нагріванні імітатором неперервного сонячного спектра. Як джерело світла використовувалися галогенні лампи з температурою нитки розжарювання близько 2900 °С. З метою стабілізації світлового потоку лампу-імітатор живили через стабілізатор напруги 220 В. Галогенна лампа з алюмінієвим відбивачем за температури нитки розжарювання 2900 °С має неперервний спектр з максимумом інтенсивності на до-

вжині хвилі 0,90 мкм проти 0,55 мкм у природного сонячного світла. Внаслідок неперервності обох спектрів фізичні механізми поглинання променистої енергії Сонця та галогенної лампи розжарювання практично однакові. Тому при порівняльних дослідженнях заміна сонячного випромінювання штучним однакової інтегральної інтенсивності також істотно не впливає на механізми та режими енергетичних перетворень опромінюваних зразків [10, 11].

Приймаючі поверхні сонячних теплових колекторів покривають тонкими плівковими селективними матеріалами з високим коефіцієнтом поглинання в області довжин хвиль оптичної частини сонячного спектра від 0,38 до 3,0 мкм [12]. На цю область, яка складається з видимих та інфрачервоних променів, припадає близько 98 % променистої енергії Сонця, яка пронизує земну атмосферу і досягає її поверхні.

Для реєстрації сигналів вимірювальної термомпары використано багатоканальний регулятор-вимірювач РТ-0102 [1] виробництва НВО «Термоприлад» з функціями багатоканального автоматичного вимірювання, архівування, регулювання і сигналізації. Для вимірювання температури зразків при опроміненні їх імітатором сонячного випромінювання була створена вимірювальна установка, яка складається з оптичної, термометричної, реєстраційної та керуючої частин (рис. 1).

До складу оптичної частини входить освітлювальна лампа, система діафрагми вимірювальної комірки, змонтовані на оптичній лаві, а також допоміжні вимірювальні прилади — піранометр М80м (П ЗХЗ) та портативний актинометр «Електроника ИКИМ-79», призначені для градуювання світлового пучка за інтенсивністю та її поперечним розподілом. Термометрична частина складається з термомпары типу ХА, холодні кінці якої заведені у комутаційну коробку багатоканального регулятора-вимірювача РТ-0102.

Інформаційна частина складається з комп'ютера, сполученого через послідовний інтерфейс RS232 трипровідною лінією, гальванічно роз-

в'язаною від інших кіл. РТ-0102 підтримує протокол MODBUS і видає по ньому всі параметри регулювання та архівування. Інформаційно-вимірювальна частина працює за алгоритмом ліцензованого програмного забезпечення TRaG8, яка дає змогу знімати дані з приладу візуально або архівувати у цифровій формі чи графічного зображення, а також змінювати уставки вимірювального термометричного блоку.

На вимірювальній установці проведено цілий ряд досліджень багатьох зразків з селективним покриттям, одержаним золь-гель методом. Усереднені результати вимірювань температури досліджуваних зразків при опроміненні лампою розжарювання з інтенсивністю пучка 1000 Вт/м^2 подані в таблиці.

Таким чином, у всіх випадках еталонний зразок німецької фірми SintSolar має вищу рівноважну температуру в порівнянні з нашими зразками. Різниця складає до $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (зразок № 8). Проте рівноважна температура зразка № 6 практично не відрізняється від показників німецького еталонного зразка (№ 9). Виявлена різниця практично дорівнює амплітуді випадкових відхилень температури еталонного зразка. Відповідно склад, методика приготування і нанесення зразка № 6 можуть вважатися перспективними для подальшого вдосконалення. Цей зразок можна використовувати для застосування при виготовленні сприймаючої панелі сонячного колектора, яка перетворює сонячну енергію в теплову.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОНЯЧНОГО ТЕПЛОГО КОЛЕКТОРА

На основі найкращого за оптичними та експлуатаційними характеристиками селективного покриття нами сконструйовано сонячний



Рис. 2. Загальний вигляд сонячного теплового повітряного колектора

тепловий повітряний колектор (рис. 2). Він працює за принципом одночасної вентиляції приміщення та обігрівання. В комплект колектора входить:

- ✦ герметичний корпус;
- ✦ сприймаюча панель з селективним покриттям, яка буде перетворювати сонячну енергію в теплову;
- ✦ сонячний фотоелектричний модуль для генерування необхідної напруги, яка буде використовуватись для роботи вентилятора;
- ✦ система подачі повітря.

Результати порівняльних вимірювань поглинальної здатності досліджуваних покриттів

Досліджуваний зразок	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	Еталон (№ 9) SintSolar	№ 10	№ 11
Температура, $^\circ\text{C}$	54,2	56,3	46,8	51,6	47,7	63,4	48,4	42,2	67,5	55,8	47,3

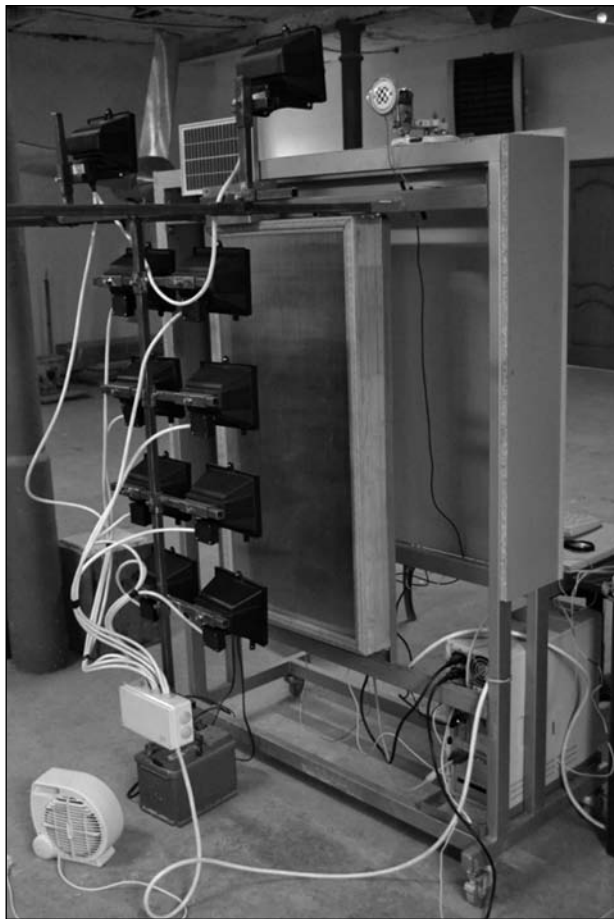


Рис. 3. Тильна сторона експериментального стенда для дослідження теплотехнічних характеристик сонячного теплового повітряного колектора

Для дослідження теплотехнічних характеристик сонячного теплового повітряного колектора був сконструйований спеціальний стенд. Конструктивно стенд виконаний на каркасній конструкції, звареній з профільного металу. Для зручності експлуатації стенд оснащений роликowymi опорами. На лицевій панелі розміщено елементи вимірювального обладнання, щит керування електроживленням та схема стенда. На тильній стороні стенда (рис. 3) розміщено каркас кріплення досліджуваного повітряного колектора та імітатор сонячного випромінювання, виконаний з використанням восьми галогенних прожекторів з потужністю

500 Вт кожен. Для контролю параметрів рівня випромінювання вмонтовано піранометр. Електричне живлення вентилятора для продування повітряного колектора здійснюється фотоелектричною панеллю потужністю 5В, встановленою під прозорим покриттям колектора. Фотопанель обдувається потоком холодного вхідного повітря, завдяки чому вона не перегрівается та видає стабільну електричну потужність для живлення вентилятора.

Об'єктом випробування обрано повітряний колектор, розміром $88 \times 47,5$ см з полікарбонатним прозорим покриттям і світлопоглинаючою поверхнею (див. рис. 2). В середину колектора під його прозорим покриттям встановлено невеликий фотоелектричний модуль для живлення вентилятора, який забезпечує стабільну подачу теплоносія.

Результати порівняння однозначно дають підставу стверджувати, що в області типових значень енергетичної освітленості і робочих температур характеристики досліджуваного повітряного колектора близькі до промислових водяних колекторів з селективним покриттям сприймаючої поверхні. У результаті численних експериментів при зміні різних параметрів сонячних повітряних колекторів встановлено, що максимальна температура повітря, яке поступає у приміщення, складає 70°C .

ВСТАНОВЛЕННЯ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОВИХ ПОВІТРЯНИХ КОЛЕКТОРІВ

Сонячні теплові повітряні колектори займають широкий спектр застосування в різних галузях народного господарства. Їх можна застосовувати для дач, будинків відпочинку, гаражів, складів, музеїв, дерев'яних церков, теплиць і т. п.

У результаті виконання проекту сонячні теплові повітряні колектори встановлені в лабораторії відновлювальної енергетики Львівського національного аграрного університету (м. Дубляни, Жовківський район, Львівська обл.; див. рис. 4). Вони будуть використовуватися для проведення довготривалих випробувань в природних умовах, подальшого удосконален-



Рис. 4. Встановлення сонячних теплових повітряних колекторів на будинку лабораторії відновлювальних джерел енергії Львівського національного аграрного університету



Рис. 5. Встановлення сонячних теплових повітряних колекторів на будинку Катехитичної школи (сmt Делятин, Надвірнянський р-н, Івано-Франківська обл.)

ня конструкцій колекторів та для підготовки фахівців з напрямку «енергетика і електротехнічні системи агропромислового комплексу та популяризація використання відновлювальних джерел енергії». Такі колектори встановлені також у катехитичній школі (сmt Делятин, Надвірнянський р-н, Івано-Франківська обл., див. рис. 5), де в позаурочний час навчається молодь. Фактично – це центр молодіжної просвіти за різними напрямками.

Установка сонячних колекторів на вищезгадані об'єкти стане основою для інформаційних та освітніх заходів, які допоможуть залучити більше зацікавлених людей до використання екологічно чистих технологій. Обрані об'єкти будуть служити демонстраційними центрами екотехнологій. В майбутньому виготовлені повністю з української сировини сонячні колектори ввійдуть до комбінованої системи енергозабезпечення об'єктів господарювання з використанням відновлюваних джерел енергії.

ВИСНОВКИ

Проведено науково-технічні дослідження та одержано такі результати:

- 1) одержано покриття на основі вуглецево-кремнієвого нанокмполімеру методом золь-гель технології;
- 2) проведено дослідження оптичних та експериментальних характеристик селективних покриттів; визначено найбільш ефективне селективне покриття з використанням лампи-імітатора сонячного випромінювання;
- 3) на основі найкращого за оптичними та експлуатаційними характеристиками селективного покриття сконструйовано сонячний тепловий повітряний колектор;
- 4) проведено дослідження теплотехнічних та експлуатаційних характеристик сонячного теплового колектора на спеціально сконструйованому стенді;
- 5) встановлено сонячні теплові повітряні колектори на двох соціальних об'єктах.

ПРОГНОЗ СТОСОВНО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

На основі розробленого нового типу селективного покриття можливий цілий ряд інноваційних рішень в розробці різних сонячних теплових повітряних колекторів:

- ✦ модифікація колекторів за формами та розмірами;
- ✦ виготовлення нових моделей колекторів для сушки трав, ягід, грибів.

Також можуть бути виготовлені сонячні колектори з додатковими елементами:

- ✦ водяний колектор для нагрівання води та опалення будівель;
- ✦ з акумулятором електрики для резервного джерела живлення;
- ✦ з літнім варіантом охолодження приміщення за допомогою підземного повітропроводу;
- ✦ з використанням концентраторів сонячного випромінювання та систем слідкування за сонцем, які в значній мірі підвищують коефіцієнт корисної дії колекторів.

Попит на розробку і дослідження нових поглинаючих покриттів та сонячних теплових повітряних колекторів формується виробниками геліоколекторів. В Україні за умов відсутності державного сприяння широкому впровадженню побутових систем нагрівання та гарячого водопостачання необхідно налагодити виробництво сонячних теплових колекторів, які працюють виключно на сонячній енергії, і зайняти тим самим поки що вільний сегмент ринку геліотехніки.

Енергоносії, що працюють на екологічно чистих, нетоксичних матеріалах і не забруднюють атмосферу, є величезною необхідністю в наш час. Використання сонячної енергії наразі стало реальністю, перевіреною повсякчасною практикою. З врахуванням значного подорожчання традиційних видів енергоносіїв і невпинного скорочення їх запасів використання відновлювальних джерел енергії є безальтернативним варіантом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гусев А.І. Наноматеріали, наноструктури, нанотехнології. — М.: Наука-Фізматгіз, 2007. — 416 с.
2. Шилова О.А., Шилов В.В. Наноконпозиційні оксидні і гібридні органо-неорганічні матеріали, одержані золь-гель методом. Синтез. Властивості. Застосування //

- Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. Nano-systems, Nanomaterials, Nanotechnologies. — 2003. — Т. 1, № 1. — С. 9—83.
3. Zhifeng Liu, Zhengguo Jin, Wei Li and Jijun Qiu Preparation of ZnO porous thin films by sol-gel method using PEG template // Materials Letters. — 2005. — V. 59. — P. 3620—3625.
 4. Armelao L., Fabrizio M., Gialanella S. and Zordan F. Sol-gel synthesis and characterisation of ZnO-based nano-systems // Thin Solid Films. — 2001. V. 394. — P. 90—96.
 5. Morris C., Rolison D., Swider-Lyons K., Osburn-Atkinson E. and Merzbacher C. Modifying nanoscale silica with itself: a method to control surface properties silica aerogels independently of bulk structure // Journal of Non-Crystalline Solids. — 2001. — V. 285. — P. 29—36.
 6. Mwamburi M., Hoel A., Wackelgard E. Surface morphologies of spectrally selective and polarization-dependent angular optical reflectors of SnO_x:F-coated anodized aluminium // Solar Energy Materials & Solar Cells. — 2004. — V. 84, № 1—4. — P. 381—394.
 7. Bostroem T., Westin G., Waackelgard E. Optimization of a solution-chemically derived solar absorbing spectrally selective surface // Solar Energy Materials & Solar Cells. — 2007. — V. 91, № 1. — P. 38—43.
 8. Musiy R., Khayrnasov S., Zinchenko A. and Semenyuk I. Investigation selective coatings via the method of sol-gel technology for solar collectors // International Symposium devoted to the 80th anniversary of Academician O.O.Chuiko «Modern problems of surface chemistry and physics» Kyiv (Ukraine). — 2010. — P. 318—319.
 9. Мусий Р.И., Хованец Г.И., Хайрнасов С.М. и др. Органо-неорганические золь-гель композиты для селективных покрытий солнечных коллекторов // Международная конференция «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «Золь-гель 2012» Севастополь (Украина). — 18—20 сентября 2012 г. — С. 59.
 10. Моделирование тепловых режимов космического аппарата и окружающей среды / Под ред. Г.И. Петрова — М.: Машиностроение, 1971. — 382 с.
 11. Вугман С.М., Волков В.И. Галогенные лампы накаливания. — М.: Энергия, 1980. — 136 с.
 12. Даффи Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. — М.: Мир, 1987. — 420 с.

*Р.И. Мусий, Г.Г. Мидяна, Р.Г. Макитра,
Я.М. Васютин, Г.И. Хованец, А.Б. Заборовский*

СОЛНЕЧНЫЙ ТЕПЛОВОЙ ВОЗДУШНЫЙ
КОЛЛЕКТОР НА ОСНОВЕ НОВОГО ТИПА
СЕЛЕКТИВНОГО ПОКРЫТИЯ

На основе лучшего селективного покрытия по оптическим и эксплуатационным характеристикам сконструирован солнечный тепловой воздушный коллектор, работающий исключительно от солнечной энергии по принципу одновременной вентиляции помещения и обогрева. Его можно применять для домов отдыха, музеев, деревянных церквей, складов, гаражей, дач, теплиц и т.д.

Ключевые слова: селективное покрытие, золь-гель метод, солнечный тепловой воздушный коллектор.

*R.Y. Musiy, G.G. Midyana, R.G. Makitra,
J.M. Vasyutin, G.I. Khovanets, A.B. Zaborowskiy*

SOLAR THERMAL AIR COLLECTOR BASED
ON NEW TYPE SELECTIVE COATING

Based on the best for optical performance and selective coating solar thermal air collector, which operates by solar power on the principle of simultaneous ventilation and heating facilities, is designed. It can be used for vacation homes, museums, wooden churches, warehouses, garages, houses, greenhouses etc.

Key words: selective coating, sol-gel method, thermal solar air collector.

Стаття надійшла до редакції 20.06.13