

3. ТЕХНОЛОГІЯ ТА УСТАТКУВАННЯ ЛІСОВИРОБНИЧОГО КОМПЛЕКСУ

УДК 674.047

*Проф. І.М. Озарків, д-р техн. наук;
проф. В.С. Джигирей, канд. техн. наук; доц. І.А. Соколовський,
канд. техн. наук; студ. О.І. Озарків – НЛТУ України, м. Львів*

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТРУБНОГО ГЕЛІОТЕРМОКОЛЕКТОРА

Проаналізовано конструкції сучасних геліоколекторів. Наведено формули розрахунку теплових колекторів. Розкрито взаємозв'язки геометричних параметрів колекторів. Проведений аналіз експериментальних даних різних дослідників показує, що завдяки параболоциліндричному рефлектору створюється вищий рівень опромінення, ніж за плоского рефлектора. Проте більшому коефіцієнту відбивання відповідає менша нерівномірність опромінення.

*Prof. I.M. Ozarkiv; prof. V.S. Dzhigirey; assoc. prof. I.A. Sokolovskyy;
stud. O.I. Ozarkiv – NUFWT of Ukraine, L'viv*

Methods of pipe heliothermo collector calculation

The constructions of modern heliothermo manifolds have been analysed. The formulas of thermal collectors calculation represented. Correlation of collectors parameters revealed. The conducted analysis of experimental data of different researchers shows that due to the parabolic surface of cylinder reflector the higher level of irradiation is created, than at a flat reflector. However answered a greater reflectivity is by the less unevenness of irradiation.

Дефіцит традиційних джерел енергії ставив і ставить перед спеціалістами і вченими шляхи ефективного використання сонячної енергії стосовно сушіння пиломатеріалів у промислових сушильних установках, коли останні обладнують додатково нагрівальними пристроями у вигляді сонячних геліотермічних колекторів. Варто відзначити, що наукові дослідження з використання сонячної енергії ведуться з метою підвищення енергетичної та економічної ефективності нагрівальних пристроїв, хоча сонячне випромінювання і раніше успішно використовувалось та використовується для атмосферного сушіння пилопродукції в штабелях на відкритих складах. Крім того, використання спеціальних низькотемпературних сушильних камер для попереднього підсушування хвойних і твердолистяних порід деревини до транспортної вологості в літній період, коли використовують тільки напрямлену циркуляцію атмосферного повітря ($t_c=20\ldots30^\circ\text{C}$), дає змогу певною мірою інтенсифікувати процес сушіння. Проте такий спосіб є не дуже економічно ефективним, оскільки залежить від ступеня нагромадження великих запасів пиломатеріалів на складах, а також пори року і погоди.

Зауважимо, що спроби успішного використання сонячної енергії для сушіння деревини вели і ведуть в Англії, Канаді та Німеччині, Франції, Болгарії, Чехії. За останні роки аналогічні дослідження почали виконувати у Польщі, Україні та Росії. Враховуючи те, що основними конструктивними

елементами будь-якої геліосушарки є поглиначі-акумулятори (колектори) сонячної радіації, тому розглянемо їхні конструкції та розкриємо методику їхнього розрахунку.

Зауважимо лише те, що якщо геліоколектор (сонячний елемент або батарея) перетворює сонячне випромінювання в електричну енергію, то геліотермічний колектор перетворює сонячну енергію в тепло. В останньому випадку повітря прогрівається в колекторі і трубопроводом подається до споживача енергії, де теплоносій (вода, повітря, машинне масло тощо) через теплообмінники (калорифери) віддає тепло і потім повертається до колектора., і цикл повторюється.

Геліотермічний колектор перетворює сонячне випромінювання в теплову енергію. За допомогою такого геліотермічного колектора можна отримати температуру $50...60^{\circ}\text{C}$ теплоносія (атмосферного повітря, оливи, води). Найпоширеніші на сьогодні є такі конструкції геліотермічних колекторів (рис. 1): параболічний обертальний, циліндро-параболічний, плоский, вакуумний, концентрувальний і плоский водяний [1].

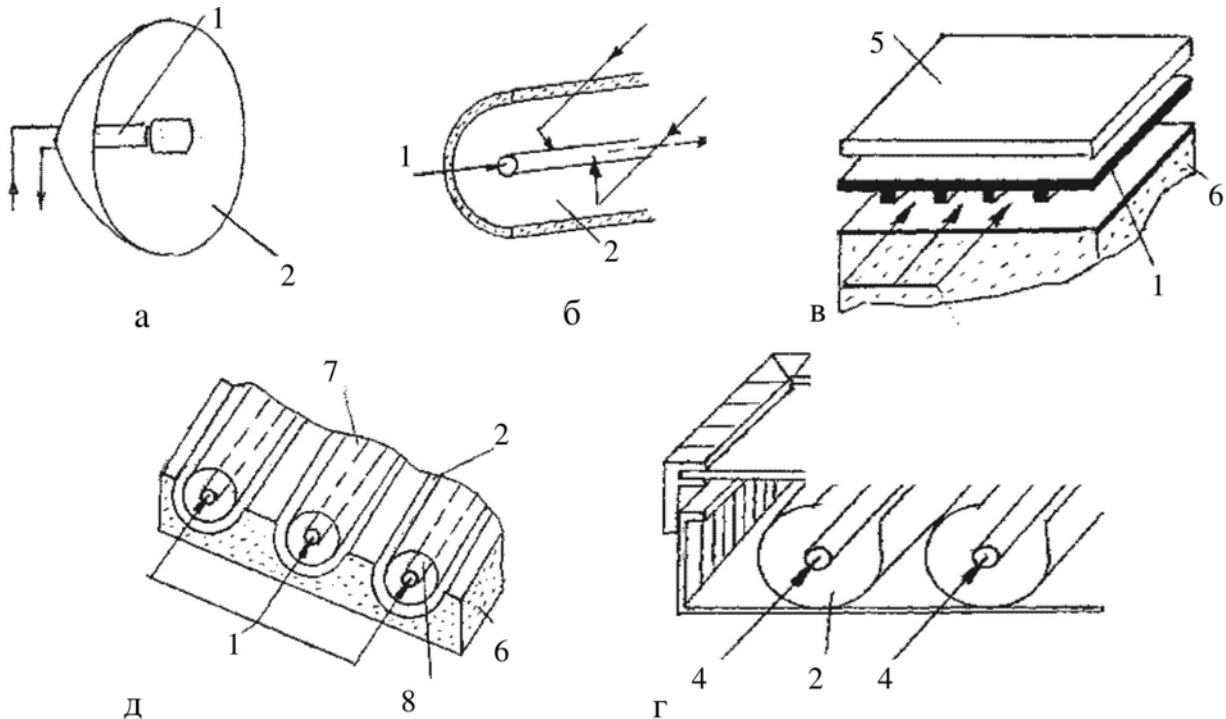


Рис. 1. Схеми колекторів: а – обертальний параболічний; б – циліндрично-параболічний; в – плоский; в – спіральний; 1, 4 – теплоносії; 2 – рефлектор; 3 – нагрівальна камера; 5 – скло; 6 – ізоляційний шар; 7 – поглинаючий елемент; 8 – вакуумна трубка; 9 – вода

Параболоподібні колектори, які за допомогою фотоелементів повертаються за траєкторією руху Сонця, дають змогу досягати температури $300...1000^{\circ}\text{C}$, а напівпараболічні – $80...120^{\circ}\text{C}$. Проте колектори-поглиначі випромінювання такого типу дуже дорогі, оскільки вимагають використання спеціальних автоматичних систем стеження. Плоскі повітряні колектори забезпечують температуру повітря $20...60^{\circ}\text{C}$, а плоский водяний – $40...80^{\circ}\text{C}$. Просте одинарне скло геліоколектора дає змогу вловлювати також розсіяне сонячне випромінювання і забезпечує рівень температури $50...60^{\circ}\text{C}$. Просто-

та конструкції, добрі економічні і технічні показники геліотермічного плоского колектора та підбір відповідного матеріалу для зміщення спектра випромінювання близько 5... 15 мкм дає змогу використати такий колектор у сонячній сушарці.

Плоский колектор – це рамна конструкція, в якій з одного боку знаходиться одинарне або подвійне скло, а з другого – поглинач сонячної енергії. У зимовий період його встановлюють таким чином, щоб сонячні промені падали на нього під прямим кутом. У літній період нахил колектора відносно сонячних променів залежить від географічної широти. Сонячні промені, що проникають крізь скло, завдяки повітряному прошарку між поверхнями нагрівають його. Основна перевага плоского колектора полягає в тому, що він поглинає пряме та розсіяне сонячне випромінювання.

Несприятливим чинником під час використання сонячної енергії є залежність густини потоку сонячного випромінювання від пори року і погодних умов. Тому у разі застосування сонячної енергії для нагрівання повітря, як агента сушіння, не варто ставити мету повної заміни традиційних технічних джерел енергії. Інакше кажучи, сонячні сушильні камери потрібно поєднувати із пароповітряними камерними установками.

Для створення ефективних плоских колекторів для нагрівання газоподібного середовища використовують теплообмінник із входним та вихідним патрубками для об'єкта нагрівання (повітря). Теплообмінник (рис. 2) складається із поглинача, що знаходиться в середині його з боку робочої поверхні (остання разом із прозорою верхньою стінкою корпусу утворює канал для проходження теплоносія).

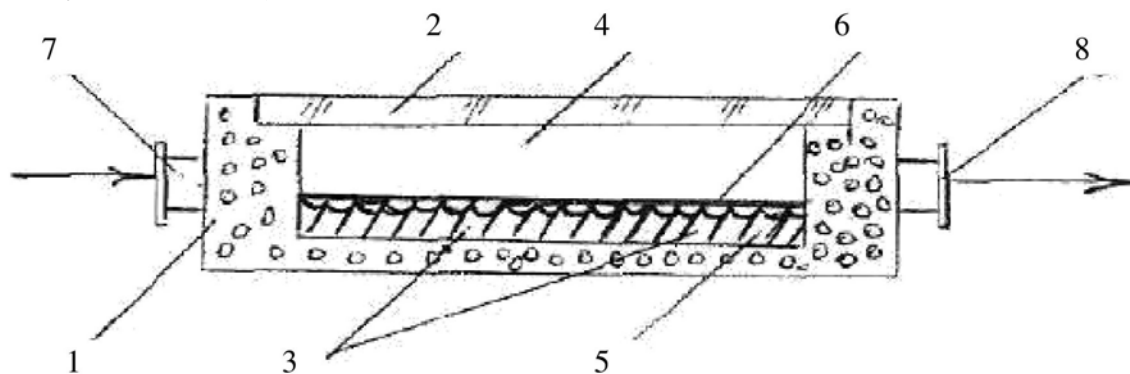


Рис. 2. Сонячний повітрянагрівач: 1 – корпус; 2 – прозора стінка; 3 – поглинач; 4 – робочий канал; 5 – робоча поверхня; 6 – заглиблення; 7,8 – патрубки

Поглинаючі елементи виконані у заглибленнях у формі кульових сегментів, центральний кут яких обмежений діапазоном 45...180°, що дає змогу підвищити ККД нагрівача завдяки виникненню смерчкових утворень над заглибленнями.

Для підігрівання води автор роботи [4] пропонує геліоколектор, що складається із поглинальної труби, окремо розташованих світлопроникних порожнинних циліндричних елементів і з'єднаних між собою кільцеподібних виступів (рис. 3).

Виражаючи поверхневі густини потоків тепла, що виділяються в окремих шарах прозорої ізоляції та на поверхні приймача сонячного випроміню-

вання через добутки поверхневої питомої густини сонячного випромінювання на відповідні коефіцієнти поглинання, автор [4] розглянув рівняння теплового балансу окремого елемента шару теплоприймача (рис. 4), тобто

$$q_p = \sum \frac{A_T}{A_{o.c.}} q_{o.c.} - (A_T + A_{\delta i})(t_T - t_{o.c.}) - \sum C_{o.c.} m_{o.c.} \frac{A_T}{A_{o.c.}} \frac{dt_{o.c.}}{d\tau} - \sum C'_{o.c.} m'_{o.c.} \frac{A_T}{A'_{o.c.}} \frac{dt'_{o.c.}}{d\tau}, \quad (1)$$

де: q_p – результуючий потік випромінювання; A_T , $A_{o.c.}$, $A_{\delta i}$ – відповідно коефіцієнти поглинання теплоносія, оточуючого середовища, шару ізоляції; t_T , $t_{o.c.}$ – температура теплоносія та оточуючого середовища відповідно; C – питома теплоємність; $m_{o.c.}$ – маса шару оточуючого середовища. Поверхневі густини потоків тепла, що виділяються в окремих шарах прозорої термоізоляції та на поверхні приймача (трубки з водою), можна подати як

$$\Sigma A_T / A_{o.c.} \cdot q_{o.c.} = \gamma \cdot E, \quad (2)$$

де γ – коефіцієнт вловлювання променевої радіації

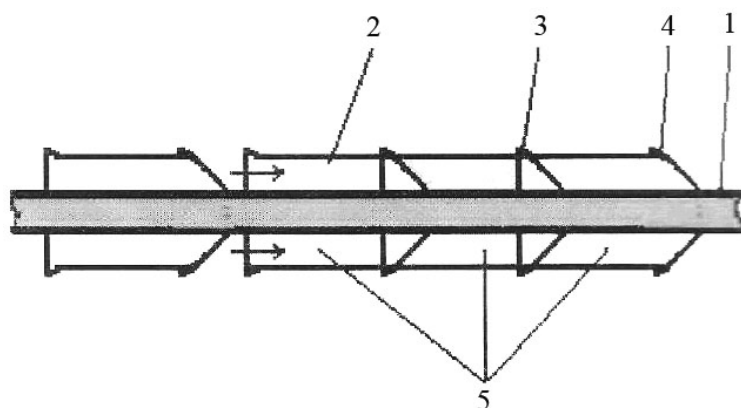


Рис. 3. Схема трубного геліоколектора: 1 – поглинальна труба; 2 – циліндричний світлопроникний елемент; 3, 4 – кільцеві виступи; 5 – повітряні порожнини

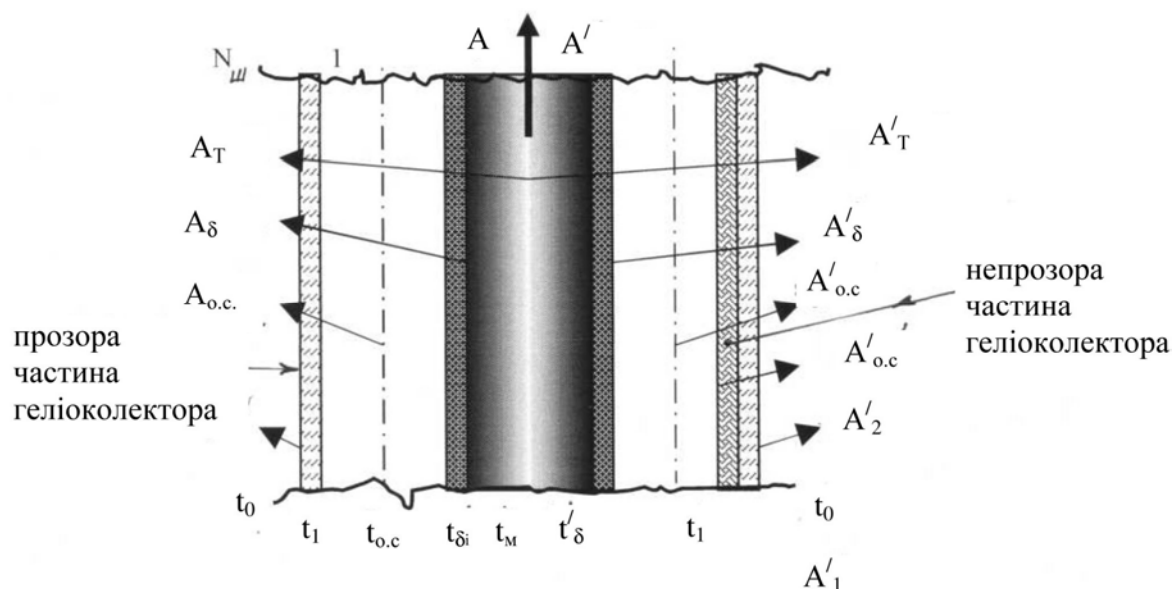


Рис. 4. Схема елемента трубчастого геліоколектора із прозорою та непрозорою термоізоляцією, розбитого умовно на довільну кількість шарів

$$\gamma = \frac{1}{E} \left(q_p + A(t_T - t_{o.c.}) - e^{-\frac{\tau \cdot A}{C}} \right), \quad (3)$$

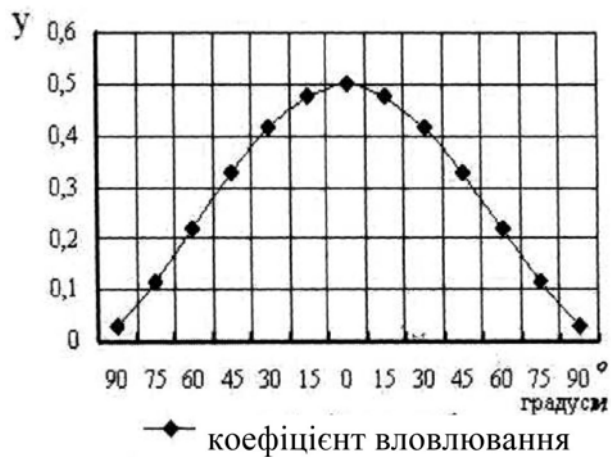


Рис. 5. Залежність коефіцієнта вловлювання випромінювання від кута падіння променів на поверхню трубчастого теплоприймача від точки зеніту

трубу під кутом α ; γ_λ – коефіцієнт вловлювання променів, які падають нормально на приймач; y – показник ступеня, який залежить від конструкції прозорої ізоляції і змінюється у межах 0,5...1,5 (для одношарового прозорого приймача $y = 1,5$). На рис. 5 показано залежність коефіцієнта вловлювання від показника ступеня. Ця залежність дає змогу визначити коефіцієнт вловлювання для будь-якого заданого розподілення за напрямками енергетичної яскравості сонячну радіацію, що падає на приймач-аккумулятор, і густину теплового потоку.

Відомо [1], що до поверхні Землі через атмосферу доходить випромінювання Сонця із довжиною хвиль 0,3...3,0 мкм. При цьому 49 % сонячного спектра припадає на інфрачервоні хвилі ($\lambda = 0,78 \dots 3,0$ мкм), 2 % – на ультрафіолетове випромінювання, а решта – на видиме світло. Річна величина густини опромінення становить для території України 900...1150 кВт/(м²·рік). Для географічних широт України падаюче сонячне випромінювання вловлюється за допомогою плоских або трубчастих із параболічним дефлектором сонячних колекторів (рис. 6). У сонячних параболічних колекторах (концентраторах) та аккумуляторах сонячної енергії використовують параболоїдні відбивачі (рефлектори), які є параболічними дзеркалами (лотками). Дзеркала відбивають сонячні промені із точністю більше 98 % на абсорбційну трубу (ресивер), яка проходить по фокальній лінії колектора. В абсорбційних трубах знаходиться рідкий теплоносіє (вода із додаванням протизамерзальних речовин або синтетичних олив). Рідина-теплоносіє нагрівається майже до 400°C і прокачується через ряд теплообмінників. Для зниження теплових втрат трубку-приймач сонячної енергії може оточувати прозора скляна трубка, що розміщена вздовж фокусної лінії циліндра. Зауважимо, що завдяки використанню рефлекторів різного профілю можна отримати будь-який розподіл опромінення на об'єкті. Проте для створення зон рівномірного опромінення найчастіше використовують параболоциліндричні рефлектори.

де E – величина потоку на поверхні труби ($E = \sigma_o \cdot T^4$, $\sigma_o = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴).

Як видно з останнього рівняння (3), залежність коефіцієнта вловлювання сонячної радіації приймачем (трубою з водою) має експоненціальний характер. Індикатриса вловлювання для більшості трубчастих приймачів із прозорою термоізоляцією залежить від кута α падіння променів на поверхню труби-аккумулятора, тобто

$$\gamma_\lambda = \gamma_o \cdot \cos^y \alpha, \quad (4)$$

де: γ_o – коефіцієнт вловлювання випромінювання, що падає на приймач-

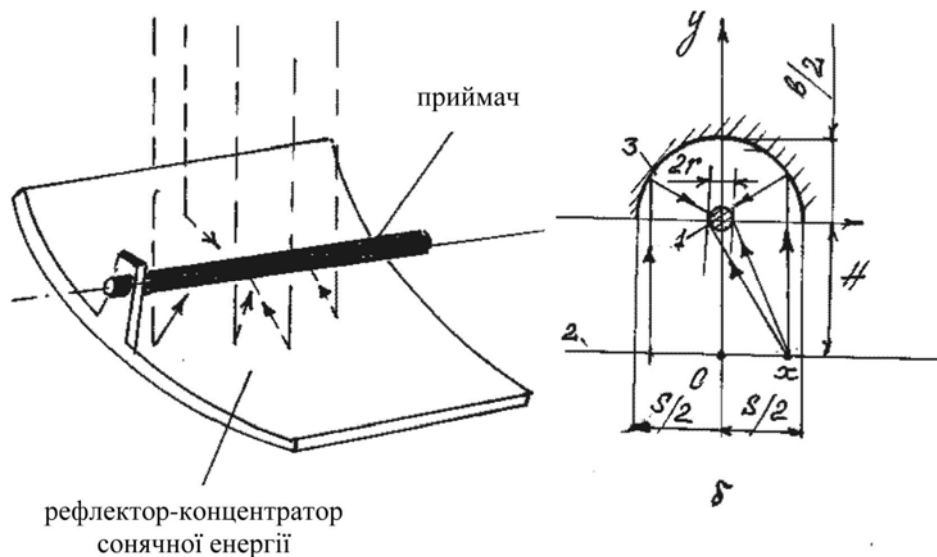


Рис. 6. Схема трубного колектора із параболічним рефлектором:
 1 – трубоподібний геліоколектор; 2 – поверхня нагрівання; 3 – параболоподібний рефлектор (концентратор сонячної енергії)

Опроміненість труби-ресивера дорівнюватиме сумі прямої сонячної енергії E_{np} , і випромінювання, відбитого рефлектором $E_{відб}$, тобто

$$E_{заг} = E_{np} + E_{відб} \quad (5)$$

Величина потоку прямого опромінення дорівнюватиме

$$E_{np} = (E_{Т.Н}/\pi) \cdot r/h, \quad (6)$$

де: $E_{Т.Н}$ – густина опромінення поверхні труби за температури нагрівання труби абсорбера $t_{Т.Н}$; r – радіус труби-нагрівача; h – віддаль від осі труби абсорбера до поверхні ОХ

$$E_{Т.Н} = E_{0-\infty}(T_{Т.Н}) \cdot \varepsilon_{t_{Т.Н}}(T_{Т.Н}), \quad (7)$$

де: $E_{0-\infty}(T_{Т.Н})$ – густина випромінювання абсолютно чорного тіла за температури $T_{Т.Н}$; $\varepsilon_{t_{Т.Н}}$ – ступінь чорноти (випромінювальна здатність) поверхні труби при температурі $T_{Т.Н}$. Зауважимо, що значення $E_{0-\infty}(T_{Т.Н})$ вибирають за таблицями М.А. Брамсона [5, 6]. Якщо умовно розглядувана площадка нагрівання віддалена від перпендикуляра до осі труби абсорбера на віддаль x , то формулу (6) запишемо так:

$$E_{np} = [E_{Т.Н}/\pi] \cdot [r \cdot h / (h^2 + x^2)]. \quad (8)$$

Згідно з рис. 6,б, профіль дзеркального параболоподібного рефлектора опишемо рівнянням параболи, тобто

$$x^2 = \frac{y^2}{2b}. \quad (9)$$

Величина потоку випромінювання Сонця, що надходить завдяки перевідбиванню від параболічного рефлектора, визначимо на площадці ОХ за формулою

$$E_{відб} = \frac{2E_{Т.Н}\rho_\lambda}{\pi} \cdot \frac{r}{b}, \quad (10)$$

де ρ_λ – інтегральний коефіцієнт відбивання рефлектора.

Ввівши безрозмірну координату $\bar{v}$ ($\bar{v} = v/H$), можна записати для будь-якого значення рівняння (10) таким чином:

$$E_{відб} = \frac{2E_{TH}\rho_{\lambda}}{\pi} \cdot \frac{\bar{r}}{\bar{v}} k(\bar{x}), \quad (11)$$

де $k(x)$ – частка густини відбитого потоку променів у центрі ($x = 0$).

Опустивши виведення розрахункових виразів, нижче наведемо значення $k(x)$ для різних значень x (табл. 1).

Табл. 1. Значення величини $k(\bar{x})$

$\bar{x}/\bar{S}$	0,044	0,088	0,138	0,187	0,238	0,294	0,350	0,425	0,500
$k(\bar{x})$	1,0	0,983	0,956	0,911	0,856	0,787	0,714	0,630	0,544

Зауважимо, що важливим елементом концентраторів сонячної енергії, який визначає їхній коефіцієнт корисної дії, теплову інерційність та рівномірність опромінення об'єктів нагрівання (у нашому випадку труби-абсорбера) є відбивач (рефлектор). Виходячи з міркувань щодо міцності, стінки-рефлектори зазвичай виготовляють із металів та їхніх сплавів. Загалом теорію відбивання-випромінювання викладено у роботах [3, 7].

Зауважимо, що взаємодія чистих металів із інфрачервоним випромінюванням з довжиною хвилі $\lambda > 1$ мкм добре описується за допомогою електромагнітної теорії. Зокрема, величину нормальної інтегральної відбивальної здатності $\rho_{\lambda n}$ гладких поверхонь чистих металів визначають за формулою Хагена-Рубенса, тобто

$$\rho_{\lambda n} = 1 - 0,576\sqrt{\Re T} + 0,124 \Re T, \quad (12)$$

де: $\Re$ – питомий електричний опір, Ом·см; T – температура поверхні, К.

Табл. 2. Нормальні коефіцієнти відбивання для свіжонанесених у вакуумі дзеркальних покриттів

Довжина хвилі λ , мкм	Матеріал покриттів			
	<i>Ag</i>	<i>Cu</i>	<i>Au</i>	<i>Al</i>
0,75	98,6	97,9	97,4	88,0
0,80	98,6	98,1	97,7	86,3
0,89	98,7	98,3	97,8	86,0
0,90	98,7	98,4	98,0	89,0
0,95	98,8	98,4	98,1	91,8
1,00	98,9	98,5	98,2	94,0
1,50	98,9	98,5	98,2	96,8
2,00	98,9	98,6	98,3	97,2
3,00	98,9	98,6	98,4	98,0
4,00	98,9	98,7	98,5	98,2

У табл. 2. наведено значення нормальних коефіцієнтів відбивання для свіжонапишених у вакуумі дзеркальних покриттів у спектральному діапазоні $\lambda = 0,75 \dots 3,0$ мкм, що відповідає 95 % енергії випромінювання за $T_{гр.н} = 2500$ К. Для монолітних та електрично нанесених металів значення коефіцієнтів плівок завжди будуть нижчими на 6...8 %.

Відомо [1], що величина шорсткості впливає на повну величину коефіцієнта відбивання і на індикатрису розсіювання та відбивання. У випадку,

коли розміри мікронерівностей значно перевищують довжину хвилі падаючого випромінювання, то має місце зменшення повного відбивання завдяки локальним перевідбиванням від елементарних дзеркал, які утворені нерівностями. А у випадку, коли нерівності за розмірами є порівнянними з довжиною хвилі падаючого випромінювання, то тут починають грати роль дифракційні ефекти. Зменшення дзеркального відбивання $\rho_{\lambda, \partial z}$ завдяки шорсткості поверхні σ визначають за формулою Девіса [3, 6], тобто

$$\rho_{\lambda, \partial z} = \rho_0 \cdot \exp \left(- 4\pi \cdot \frac{\delta}{\lambda} \cos \beta_1 \right)^2, \quad (13)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання, що падає під кутом β_1 до нормалі поверхні.

Варто зауважити, що чистий алюміній швидко вкривається плівкою окису товщиною 0,010...0,015 мкм, яка надалі не збільшується. Тому для тих випадків, коли не потрібно збільшувати потужність нагрівання, доцільно використовувати рефлектори із чистих марок алюмінію, коли вміст Al > 99,7 %, тобто без спеціального захисного шару або із шаром Al₂O₃ мінімальної товщини.

Аналіз експериментальних даних різних дослідників показує, що при $\bar{v} \leq 0,5$ завдяки параболоциліндричному рефлектору, створюється вищий рівень опромінення, ніж за плоского рефлектора. Проте більшому коефіцієнту відбивання b відповідає менша нерівномірність опромінення.

Література

1. Озарків І.М., Мисак Й.С., Копинець З.П. Використання сонячної енергії у промисловості : навч. посіб. / за ред. д-ра техн. наук І.М. Озарківа. – Львів : Вид-во "Українські технології", 2008. – 276 с.
2. Озарків І.М., Олійник В.В. Розроблення акумуляторів сонячної енергії на основі теплоакумуючих хімічних складів для геліосушарок для деревини // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ УкрДЛТУ. – 1999. – Вип. 9.9. – С. 98-101.
3. Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.А. Теплообмен излучением : справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
4. Умбетов Е.С. Обоснование параметров и разработка трубчатого гелиоколлектора с сотовым прозрачным покрытием : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – Алматы, 2007. – 19 с.
5. Брамсон М.А. Инфракрасное излучение нагретых тел. – М. : Изд-во "Наука", 1965. – 223 с.
6. Излучательные свойства твердых материалов / под ред. А.Е. Шейндулина. – М. : Энергия, 1974. – 472 с.
7. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М. : Изд-во "Сов. радио", 1978. – 400 с.

УДК 674.76.41

*Проф. В.Ф. Проскура, канд. екон. наук;
І.В. Сімонова – Мукачівський технологічний інститут*

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОДУКЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ ЯК СКЛАДНИК ЕФЕКТИВНОЇ ЙОГО ДІЯЛЬНОСТІ

Ключові слова: якість продукції, споживач, системи комплексного (тотального) управління якістю, міжнародні стандарти якості, персонал, управління, технічний контроль, використання ресурсів, стандарти підприємства, життєвий цикл продукції.