

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

УДК 658.562

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

© Петро Столярчук, Богдан Микійчук, Василь Яцук, Оксана Шпак, 2014

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації
вул. С. Бандери, 12, 79013, м. Львів, Україна

Наведено методику контролю якості для сонячних колекторів, яка дасть змогу оптимізувати показники якості сонячних колекторів та встановити ефективність їх роботи за коефіцієнтом корисної дії, що виражений як комплексний показник якості.

Приведено методику контролю якості для солнечных коллекторов, которая позволит оптимизировать показатели качества солнечных коллекторов и установит эффективность их работы по коэффициенту полезного действия, который выражен как комплексный показатель качества.

The method of quality control for solar collectors, which will optimize the parameters of quality solar collectors and establish the effectiveness of their work efficiency, which is expressed as a comprehensive indicator of quality.

Вступ. Останні підвищення цін на енергоносії посилили пошуки альтернативних джерел енергії, особливо таких, які відновлюються, не забруднюють довкілля та не залежать від політичного клімату.

Європейська Спільнота вимагає від країн, які прагнуть до неї вступити, збільшення частки відновлювальних джерел енергії в національному виробництві енергії до 6 %, а до 2030 р. – до 20 %. В Україні показник використання альтернативних видів енергії нині на рівні 0,7 %. Використання відновних джерел енергії у середині ХХ ст. було незначним. Енергетична криза 70-х років минулого сторіччя, Чорнобильська катастрофа 1986 р. та катастрофа на АЕС “Фукусіма-1” в Японії 2011 р. докорінно змінили погляди людства на відновлювані джерела енергії. Все це спонукає до інтенсивного використання сонячної енергії, оскільки сонце є досконалим, невичерпним і, передусім, безкоштовним джерелом екологічно чистої енергії. Сонячна енергія може ефективно трансформуватись у теплову та електричну і використовуватись для потреб опалення та гарячого водопостачання. Одним зі способів вирішення цього питання є застосування сонячних колекторів (СК), що являють собою пристрій, до складу якого входить пластина й абсорбувальний елемент, що поглинає енергію Сонця, перетворює її на теплову і передає теплоносію.

Останніми роками на ринку представлено багато реалізацій СК, які відрізняються конструкцією, функціональним призначенням та ціною. Такий стан та відсутність в Україні усталеної практики оцінювання якості СК за споживчими характеристиками стримують широке використання СК у житлово-комунальному господарстві. Тому створення методики оперативного оцінювання якості СК за основними споживчими характеристиками є надзвичайно важливим науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність роботи СК залежить від багатьох умов, однак найважливішими можна вважати умову забезпечення оптимальної орієнтації СК щодо Сонця та забезпечення максимального коефіцієнта перетворення сонячного випромінювання на теплову енергію. Сьогодні існує кілька підходів до забезпечення ефективної роботи СК.

У роботі [1] запропоновано метод визначення оптимальних кутів положення СК у будь-який момент часу, за яких досягається максимальне надходження сонячної енергії, що використовується тільки для плоских сонячних колекторів. Для запропонованого методу розроблена програма моделювання процесу надходження сонячної енергії. Ця програма забезпечує

максимальну ефективність роботи СК, які обладнані автоматизованими системами просторової орієнтації. Однак така система потребує пристроїв автоматичної орієнтації СК, що значно підвищує вартість перетворення сонячної енергії на теплову. Цей недолік зменшено для СК, які спроектовані за принципами, запропонованими в [2]. В цій роботі описано результати теоретичних досліджень надходження сонячної енергії на потрійно-орієнтовану систему тільки для плоских СК, оскільки ефективність стаціонарного плоского СК, орієнтованого на південь у вечірні й ранішні години роботи, незначна. Тому тут визначено, як змінюється ефективність його роботи протягом дня, та знайдено оптимальні кути встановлення системи СК, а також отримано графічну залежність ефективності цієї системи від кутів встановлення СК.

Аналіз описаних результатів досліджень надходження радіації на СК [3] та максимальне енергопоглинання поверхні СК, що відповідає найвищому значенню коефіцієнта корисної дії і найповнішому використанню сонячної енергії, досягається наданням поверхні положення, перпендикулярного до променів, що падають. Це привело до встановлення залежності ефективності СК від кута падіння теплового потоку. Розглянутий спосіб підвищення ефективності використання сонячної енергії комбінованим геліонагрівником [4], з виконанням комбінованого геліонагрівника із орієнтацією теплопоглинач на південний схід, південь і південний захід, дає можливість ефективніше використовувати сонячну енергію в ранішні та вечірні години.

Дослідження підігрівання води у проточних СК [5] показало, що за малих інтенсивностей сонячного випромінювання (у похмурі дні), коли температура навколишнього середовища вища за температуру води, ефективніше працює пластиковий СК. Геліоустановка, що являє собою СК, який акумулює енергію сонця протягом дня, на даху жилого будинку [6] працює постійно – і влітку, і взимку, і в похмурі дні. Коефіцієнт корисної дії різний, найвищий – із квітня до жовтня. СК накопичує сонячну енергію і взимку, але не так активно.

Однак проаналізовані вище методи контролю та забезпечення ефективності СК мають спільний недолік – відсутність можливості оцінювання якості СК за комплексом споживчих характеристик, що не сприяє розширенню сфери застосування альтернативних джерел енергії.

Постановка задачі дослідження. Оптимізувати методику контролю показників якості СК, що підвищить оперативність та вірогідність оцінювання їх якості та створить умови ефективного інтегрування СК в існуючі системи теплозабезпечення.

Ця методика повинна забезпечувати оцінювання якості СК за розробленими показниками корисності та шкалою оцінювання, що підвищуватиме ефективність використання СК за призначенням.

Виклад основного матеріалу досліджень. У природних умовах процеси надходження сонячної радіації на поверхню СК залежать від низки факторів. Зокрема, інтенсивність сонячної радіації має змінний характер протягом дня, протягом року та у разі зміни погодних умов. Для підвищення вірогідності контролю якості СК під час дослідження ефективності та продуктивності роботи сонячного колектора необхідно правильно його розмістити відносно джерела випромінювання.

Монтажною рамою СК не можна загороджувати апертуру СК та істотно впливати на тильну або бічну ізоляцію. Треба застосовувати відкриту монтажну конструкцію, що забезпечує вільне циркулювання повітря навколо фронтальної та тильної частин СК. СК встановлюють так, щоб кут нахилу апертури щодо горизонтальної поверхні мав відхилення $\pm 5^\circ$, але був не менший за 30° .

Експлуатаційні характеристики деяких СК вкрай чутливі до рівнів теплового потоку випромінювання. Температура поверхонь, суміжних з СК, має бути максимально наближеною до навколишньої температури, щоб мінімізувати вплив теплового випромінювання. Під час випробовування у приміщенні та випробовування з імітатором випромінювання СК треба захистити екранами від гарячих поверхонь, таких, наприклад, як радіатори, канали та оснащення систем кондиціонування повітря, а також від холодних поверхонь, зокрема вікон та зовнішніх стін. Важливо захистити не лише фронтальну, а й тильну поверхні СК.

Оцінюють енергетичну ефективність СК, визначаючи його тепловий коефіцієнт корисної дії (ККД). Імітатор потоку сонячного випромінювання для випробування на визначання ККД СК за усталеного режиму повинен мати наведені нижче характеристики:

– лампи мають бути придатними для утворення середньої поверхневої густини потоку випромінювання на апертурі колектора, що дорівнює щонайменше 800 Вт/м^2 . Для спеціалізованих випробувань можна

також застосовувати значення в діапазоні від 300 Вт/м² до 1000 Вт/м², а значення поверхневої густини потоку випромінення внесено до протоколу випробування;

- протягом випробувального періоду не повинно бути відхилень середньої поверхневої густини потоку випромінення на апертурі колектора, більших за ± 50 Вт/м²;

- поверхнева густина потоку випромінення в усіх точках апертури колектора не повинна відрізнятися від середньої поверхневої густини потоку випромінення на апертурі більше ніж на ± 15 %;

- спектральний розподіл імітованого сонячного випромінення повинен бути приблизно еквівалентний спектру сонячного випромінення за повітряної маси 1,5;

- вимірювання спектральних характеристик імітаторів потоків сонячного випромінення треба виконувати у площині колектора в діапазоні довжини хвиль (0,3–3) мкм та визначати у ширині смуги частот 0,1 мкм або менше;

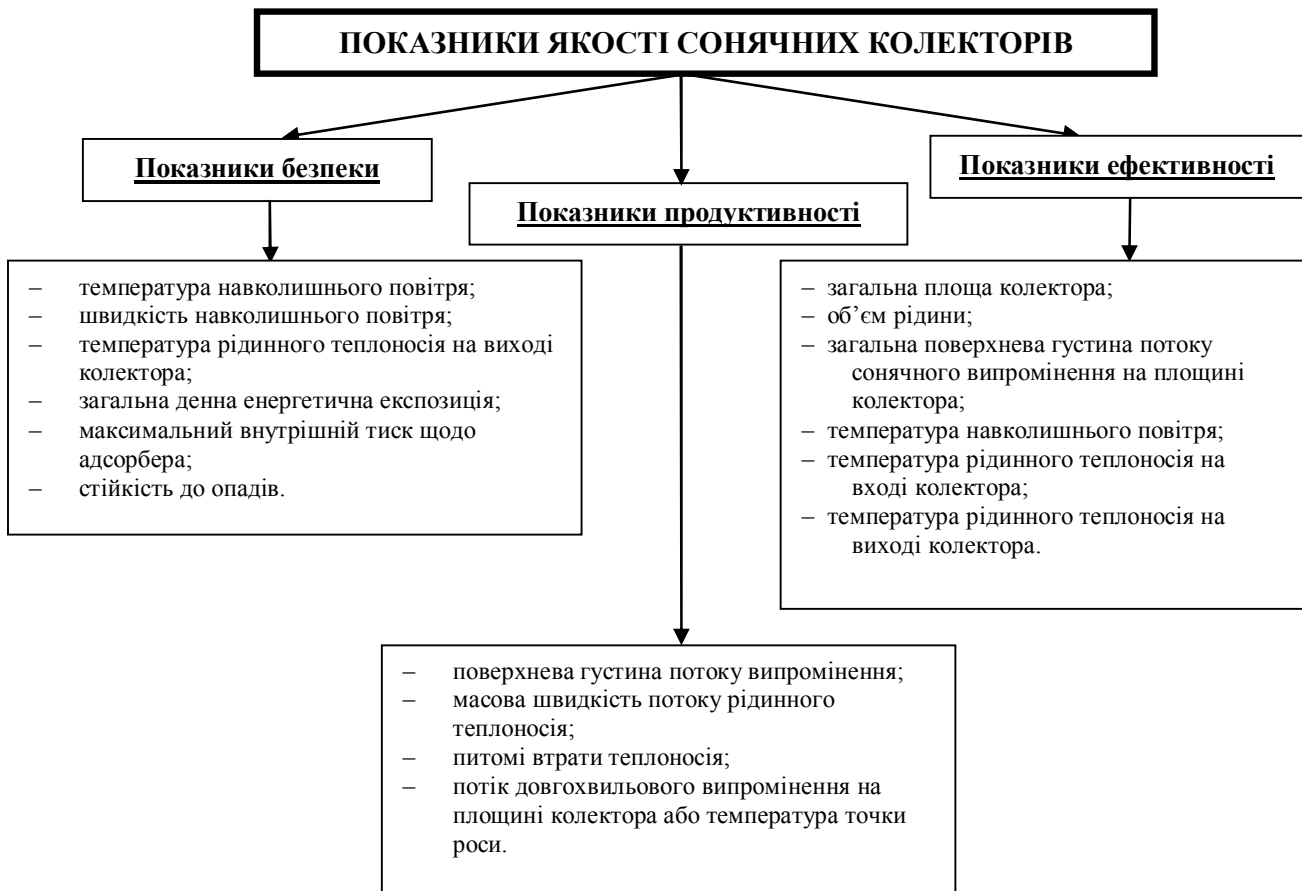
- поверхнева густина потоку теплового випромінення на колекторі не повинна перевищувати ту, що

надходить до абсолютно чорної порожнини за температури навколишнього повітря, більше ніж на 50 Вт/м²;

- під час випробування потрібно контролювати поверхневу густину потоку випромінення, яка протягом випробувального періоду не повинна змінюватися більше ніж на 3 %. Метод для вимірювання поверхневої густини потоку випромінення під час випробувального періоду має передбачати визначання середньої поверхневої густини потоку випромінення, що збігається зі значенням, отриманим за просторовим інтегруванням з похибкою до ± 1 %.

Забезпечення перерахованих вище умов стосовно встановлення СК та вимог до імітатора потоку сонячного випромінення дасть змогу оперативної та із високим ступенем вірогідності проводити контроль його основних показників якості.

Для найповнішого оцінювання споживчих властивостей СК доцільно їх характеризувати трьома групами показників якості. Графічну інтерпретацію такого підходу зображено на рисунку.



Систематизація показників якості сонячних колекторів

Подання показників СК у вигляді трьох груп показників: безпеки, продуктивності та ефективності – дасть змогу структурувати процедури вибору раціональних рішень під час створення сучасних систем теплозабезпечення в промисловості та комунальному господарстві.

Очевидно, що згідно із сучасними підходами до оцінювання якості важливу роль відіграють показники безпеки, визначення відповідності яких встановленим нормам є першочерговим завданням. На другому етапі оцінювання якості СК важливу роль відіграють показники продуктивності, від правильної оцінки яких залежить надалі рівень функціональної відповідності роботи СК у складі систем теплозабезпечення. На завершальному етапі оцінювання якості СК важливу роль відіграють показники ефективності СК, які великою мірою визначатимуть ступінь відповідності експлуатаційних переваг цього типу СК у процесі їх експлуатації.

Під час оцінювання якості СК за показниками безпеки у споживача можуть виникнути певні труднощі, оскільки проведення випробувань за цією групою показників часто ведуть до погіршення надійності конкретного СК або і до виникнення значних дефектів. В такій ситуації для оцінювання якості СК за показниками безпеки важливо мати достовірну інформацію про результати випробувань від виробника чи відповідних акредитованих лабораторій.

В оцінюванні якості СК за показниками продуктивності важливу роль відіграє достовірна інформація про відповідні показники від виробника та відповідних акредитованих лабораторій. Однак не меншу роль може відіграти інформація про показники продуктивності, яку надають споживачі, що експлуатують конкретний тип СК у своїх системах теплозабезпечення. Концентрація такої інформації, відповідне її опрацювання та представлення стане ефективним інструментом сприяння усвідомленому вибору споживачем конкретного типу СК.

Згідно з чинним нормативним забезпеченням [7–9] для оцінювання ефективності СК використовують багато характеристик. Однак споживачеві, вибираючи тип СК, важливо оперувати одним основним показником, значення якого буде вирішальним для обґрунтування вибору. Для СК таким основним показником ефективності є коефіцієнт корисної дії (ККД) – показник, який характеризує відношення кількості перетвореної теплової енергії теплоносія до кількості отриманої сонячної енергії.

Сьогодні значення ККД визначається за формулою згідно з [7]:

$$h = \frac{m c_f (t_e - t_{in})}{A_p G}, \quad (1)$$

де m – масова швидкість потоку рідинного теплоносія; c_f – ефективна теплоємність рідинного теплоносія; t_e – температура на виході сонячного колектора; t_{in} – температура на вході сонячного колектора; A_p – загальна площа колектора або площа абсорбера; G – поверхнева густина потоку випромінювання.

Сьогодні визначення ККД згідно з [7] передбачає проведення тривалих та затратних випробувань, які можуть здійснюватися в умовах спеціалізованих випробувальних лабораторій. Очевидно, що для пересічного споживача провести весь комплекс нормованих випробувань важливо. Тому актуальне завдання – створення методики оцінювання якості СК, яка за результатами використання достовірної інформації про значення показників якості СК, отриманої з різних джерел, дозволить споживачу оперативно та із достатнім ступенем достовірності визначити рівень якості конкретного типу СК.

Для зменшення затрат часу на визначення ефективності та продуктивної роботи СК пропонуємо оптимізовану методику, яка дасть змогу оцінювати якість конкретних типів СК за показниками корисності, які доцільно визначати за запропонованою шкалою оцінювання.

Зіставлення споживчих характеристик СК та показників корисності за окремими показниками ефективності, безпеки і продуктивності наведено в табл. 1.

Враховуючи показники, які необхідні для визначення ККД СК, а також споживчі характеристики СК з показниками ефективності, продуктивності та безпеки (табл. 1), бачимо, що показники, потрібні для визначення ККД, тотожні з показниками, які належать до споживчих характеристик СК і які в нашому випадку, назовемо показниками корисності.

Показники корисності розглядатимемо як показники якості СК для оцінювання контролю якості СК. Позначимо всі показники корисності як x_i , де $i = 1 \dots n$, $n = 6$ [10]. Присвоїмо коефіцієнти вагомості q_i кожному показнику x_i . Тоді показники корисності з урахуванням коефіцієнтів вагомості виглядатимуть як $a_i = x_i \cdot q_i$. ККД СК представимо як комплексний показник якості, який визначатимемо із виразу:

$$K_i = \sum_{i=1}^n a_i.$$

Таблиця 1

Зіставлення споживчих характеристик СК та показників корисності за окремими показниками ефективності, безпеки і продуктивності

Споживчі характеристики СК	Показники корисності (за окремими показниками ефективності, безпеки та продуктивності)
– кількість прийнятого (вхідного) сонячного випромінювання за нормований час	c_f – ефективна теплоємність сонячного колектора;
	G – загальна поверхнева густина потоку сонячного випромінювання на площині колектора;
– кількість сонячної енергії перетвореної на теплову енергію (ККД?)	\dot{m} – масова швидкість потоку рідинного теплоносія;
	t_{in} – температура рідинного теплоносія на вході колектора;
	t_e – температура рідинного теплоносія на виході колектора;
– тип і габарити СК	A_p – загальна площа колектора.

Таблиця 2

Класифікація ефективності роботи сонячних колекторів за коефіцієнтом корисної дії

Класифікація	Оцінка роботи	Призначення
(0,2...0,36)	Робота СК малоефективна	Цей колектор можна використовувати для нагрівання води у басейні.
(0,37...0,62)	Робота СК помірно ефективна	Цей колектор можна використовувати влітку для підтримки підігрівання теплої ужиткової води до температури 40 °С.
(0,63...0,79)	Робота СК ефективна	Цей колектор можна використовувати для центрального низькотемпературного опалення для домашнього господарства, будинків, готелів, лікарень тощо в осінню і весняну пори року.
(0,8...1]	Робота СК дуже ефективна	Цей колектор можна використовувати для центрального низькотемпературного опалення для домашнього господарства, будинків, готелів, лікарень тощо взимку.

Для забезпечення умови суперпозиції показників необхідно нормалізувати їх, перетворивши значення K_i так, щоб вони належали проміжку $[0...1]$, беручи до уваги, що $\sum_{i=1}^n q_i = 1$. Змінимо проміжок $[0...1]$ на проміжок $[0,2...1]$ за функцією бажаності Харрінгтона, позбувшись при цьому поганої якості. Обмеження до 0,2 вибрано тому, що якщо значення комплексного показника K_i дорівнює нулю, то це означає малий ККД сонячного колектора і робота такого колектора не відповідає встановленим вимогам згідно зі стандартом.

Шкала оцінювання якості роботи СК представлена проміжком $[0,2...1]$. Розділимо цей проміжок на чотири відрізки також згідно з класифікацією за функцією бажаності Харрінгтона (табл. 2). Тоді можна здійснити ідентифікацію ефективності роботи сонячних колекторів за коефіцієнтом корисної дії відповідно до запропонованої в табл. 2 класифікації.

Ця класифікація, представлена шкалою оцінювання, спростить вибір сонячних колекторів за потребами споживачів, враховуючи значення ККД, вираженого як комплексний показник якості. Залежно від своїх потреб споживач може скористатися цією класифікацією для вибору СК за його призначенням.

Висновок. Важливим мотиваційним моментом розширення сфери застосування сонячних колекторів як альтернативних джерел енергії є покращення екологічного стану, а також підвищення енергетичної незалежності України. На фоні зростання попиту на альтернативні джерела енергії та наявності широкого спектра типів СК на ринку впровадження запропонованої методики оперативного контролю їх якості дозволить значно підвищити ступінь обґрунтованості їх вибору споживачами.

Здійснення ідентифікації ефективності роботи сонячних колекторів за коефіцієнтом корисної дії згідно із

запропонованою класифікацією стане важливим елементом популяризації альтернативних джерел енергії, підвищення ступеня довіри до них від споживачів та важливим регулятором конкуренції на ринку сонячних колекторів.

1. Сидорчук Б.П. Оптимізація параметрів сонячного колектора // *Технічні науки*. – 2012. – Вип. 1 (57). – С. 98–104. 2. Шаповал С. П. Математичне моделювання надходження сонячної енергії на потрійно-орієнтовану систему сонячних колекторів / С.П. Шаповал, О.Т. Возняк // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2010. – Вип. 20.10. – С. 313–316. 3. Шаповал С. П. Ефективність геліоустановки за різних кутів падіння теплового потоку на сонячний колектор // *Науковий вісник НЛТУ України*. – 2009. – Вип. 19.6. – С. 117–120. 4. Математичне моделювання акумуляції сонячної енергії комбінованим геліонагрівником [Електронний ресурс] / С.П. Шаповал // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Теплогазопостачання і вентиляція”*. – Режим доступу: <http://vlp.com.ua/node/10025>. 5. Дослідження підігріву води у проточних сонячних колекторах [Електронний ресурс] / В.М. Гудь, В.С. Мельник, В.А. Труш // Режим доступу: <http://esmo.kdu.edu.ua/statti/129.doc>. 6. Замість газу –

сонце [Електронний ресурс] / В. Ісаєв // *Експрес/ №104 (5390)* / – 23-30 вересня 2010 р. – Режим доступу: <http://www.volfoto.inf.ua/pagesi/istomist/statti/tsikavo/dm230910/gazsonts.htm>. 7. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 1. Теплові характеристики та перепад тиску закслених сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-1:1994, IDT): ДСТУ ISO 9806-1:2005. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 56 с. – (Національний стандарт України). 8. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 2. Кваліфікаційні випробування (ISO 9806-2:1995, IDT): ДСТУ ISO 9806-2:2005. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 36 с. – (Національний стандарт України). 9. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 9. Теплові характеристики (лише відчутне теплопередавання) та перепад тиску незакслених сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-3:1995, IDT): ДСТУ ISO 9806-2:2005. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 30 с. – (Національний стандарт України). 10. Кваліметрія: навч. посіб. / В.Р. Куць, П.Г. Столярчук, В.М. Друзюк. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 256 с.