

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 дозволить оптимізувати показники якості сонячних колекторів та встановити ефективність їх роботи за коефіцієнтом корисної дії, який виражений як комплексний показник якості.

Приведено методику контролю якості для солнечных коллекторов, которая позволит оптимизировать показатели качества солнечных коллекторов и установить 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 року – до 20 %. В Україні показник використання альтернативних видів енергії знаходиться на рівні 0,7 %. Використання відновних джерел енергії у середині ХХ ст. було незначним. Енергетична криза 70-х років минулого сторіччя, Чорнобильська катастрофа 1986 року та катастрофа на АЕС “Фукусіма-1” в Японії 2011 року докорінно змінили погляди людства на відновлювальні 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 із способів вирішення цього питання є застосування сонячних колекторів (СК), які представляють собою пристрій, до складу якого входить пластина і абсорбуючий елемент, який поглинає енергію Сонця, перетворює її на теплову і передає теплоносію.

В останні роки 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 в 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 по відношенню до Сонця та забезпечення максимального коефіцієнта перетворення сонячного випромінювання в теплову енергію. Сьогодні існує кілька підходів до забезпечення ефективної роботи СК.

В роботі [1] запропонований метод визначення оптимальних кутів положення СК в будь-який момент часу, при яких досягається максимальне надходження сонячної енергії, використовується тільки для плоских сонячних колекторів. Для запропонованого методу розроблена програма моделювання процесу надходження сонячної енергії. Дана програма забезпечує максимальну ефективність роботи СК, які обладнані автоматизованими системами просторової орієнтації. Однак, така система вимагає пристроїв автоматичної орієнтації СК, що значно підвищує вартість перетворення сонячної енергії в 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, є незначною. Тому тут визначено як змінюється ефективність його роботи протягом дня та визначено 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 шляхом надання поверхні положення, перпендикулярного до падаючих променів. Це призвело до встановлення залежності ефективності СК від кута падіння теплового потоку. Розглянутий спосіб підвищення ефективності використання сонячної енергії комбінованим геліонагрівником [4], при якому виконання комбінованого геліонагрівника із орієнтацією теплопоглиначи на південний схід, південь і південний захід дає можливість ефективніше використовувати сонячну енергію в ранішні та вечірні години.

При дослідженнях підігріву води у проточних СК [5] показано, що за малих інтенсивностей сонячного випромінювання (у похмурі дні), у випадку коли температура навколишнього середовища вища за температуру води, більш ефективно є робота пластикового СК. Геліоустановка, яка представляє собою СК, який акумулює енергію сонця протягом дня, на даху жилого будинку [6] працює постійно – і в літку, і взимку, і в похмурі дні. Коефіцієнт корисної дії різний, найвищий – із квітня по жовтень. 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 дозволить підвищити оперативність та вірогідність оцінювання їх якості та створить умови ефективного інтегрування СК в існуючі системи теплозабезпечення.

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

Вклад основного матеріалу досліджень. У природних умовах процеси надходження сонячної радіації на поверхню СК є залежні від ряду факторів. Зокрема інтенсивність сонячної радіації має змінний характер протягом дня, протягом року та при зміні погодних умов. Для підвищення вірогідності контролю якості СК при дослідженні 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 відхили $\pm 5^{\circ}$, але був не менший за 30° .

Експлуатаційні характеристики деяких СК є вкрай чутливими 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.

Оцінювання енергетичної ефективності СК здійснюють шляхом визначення його теплового коефіцієнта 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/м^2 до 1000 Вт/м^2 , а значення поверхневої густини потоку випромінювання занесено до протоколу випробування.

- протягом випробувального періоду не повинно бути відхилів середньої поверхневої густини потоку випромінювання на апертурі колектора, більших за $\pm 50 \text{ Вт/м}^2$.

- поверхнева густина потоку випромінювання в усіх точках апертури колектора не повинна відрізнятися від середньої поверхневої густини потоку випромінювання на апертурі більше ніж на $\pm 15 \%$.

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

- вимірювання спектральних характеристик імітаторів потоків сонячного випромінювання 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 випромінювання на колекторі не повинна перевищувати ту, що надходить до абсолютно чорної порожнини за температури навколишнього повітря, більше ніж на 50 Вт/м^2 .

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

Забезпечення перерахованих вище умов стосовно встановлення СК та вимог до імітатора потоку сонячного випромінювання дозволить оперативно та із високим ступенем вірогідності проводити контроль його основних показників якості.

Для найбільш повного оцінювання споживчих властивостей СК доцільно їх характеризувати трьома групами показників якості. Графічна інтерпретація такого підходу представлена на рисунку 1.



Рисунок 1 – Систематизація показників якості сонячних колекторів.

Представлення показників СК у вигляді трьох груп показників: безпеки, продуктивності та ефективності дозволить структурувати процедури вибору раціональних рішень при створенні сучасних систем теплозабезпечення в промисловості та комунальному господарстві.

Очевидно, що згідно сучасних підходів 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 в подальшому залежить рівень функціональної відповідності роботи СК в складі систем теплозабезпечення. На завершальному етапі оцінювання якості СК важливу роль відіграють показники ефективності СК, які в значній мірі визначатимуть ступінь відповідності експлуатаційних переваг даного типу СК в процесі їх експлуатації.

При оцінюванні 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, а часто 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.

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

Згідно існуючого нормативного забезпечення [7-9] для оцінювання ефективності СК використовуються багато характеристик. Однак, для споживача, при виборі типу СК важливо оперувати одним основним показником значення якого буде вирішальним при обґрунтуванні 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]:

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

де \dot{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 випромінення.

На сьогоднішній день визначення ККД здійснювати згідно з [7] передбачає проведення ряду тривалих та затратних випробувань, проведення яких можуть здійснюватися в умовах спеціалізованих випробувальних лабораторій. Очевидно, що для пересічного споживача провести весь комплекс нормованих випробувань є важкою задачею. Тому важливим завданням є 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 нами пропонується оптимізована методика, яка дозволить оцінювати якість конкретних типів СК за показниками корисності, які доцільно визначати за запропонованою шкалою оцінювання.

Співставлення споживчих характеристик СК та показниками корисності за окремими показниками ефективності, безпеки і продуктивності представлено в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Співставлення споживчих характеристик СК та показниками корисності за окремими показниками ефективності, безпеки і продуктивності.

СПОЖИВЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СК	ПОКАЗНИКИ КОРИСНОСТІ (ЗА ОКРЕМИМИ ПОКАЗНИКАМИ ЕФЕКТИВНОСТІ, БЕЗПЕКИ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ)
- кількість прийнятого (вхідного) сонячного випромінення за нормований час	c_f - ефективна теплоємність сонячного колектора; G - загальна поверхнева густина потоку сонячного випромінення на площині колектора.
- кількість перетвореної сонячної енергії у 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.

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

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

Для забезпечення умови суперпозиції показників необхідно здійснити їх нормалізацію шляхом перетворення значень 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 для того, 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 стандарту.

Шкала оцінювання якості роботи СК представлена проміжком $[0,2..1]$. Розіб'ємо даний проміжок на чотири відрізки також згідно класифікації за функцією бажаності Харрінгтона (таблиця 2). Тоді можна здійснити ідентифікацію ефективності роботи сонячних колекторів за коефіцієнтом корисної дії згідно запропонованої в таблиці 2 класифікації.

Таблиця 2 – Класифікація ефективності роботи сонячних колекторів за коефіцієнтом корисної дії

Класифікація	Оцінка роботи	Призначення
(0,2...0,36)	Робота СК малоефективна	Даний колектор можна використовувати при нагріванні води у басейні.
(0,37...0,62)	Робота СК помірно ефективна.	Даний колектор можна використовувати у літню пору року для підтримки підігріву теплої ужиткової води до температури 40 °С.

(0,63...0,79)	Робота СК ефективна.	Даний колектор можна використовувати для центрального низькотемпературного опалення для домашнього господарства, будинків, готелів, лікарень і т.п. в осінню і весняну пори року.
(0,8...1]	Робота СК дуже ефективна.	Даний колектор можна використовувати для центрального низькотемпературного опалення для домашнього господарства, будинків, готелів, лікарень і т.п. в зимову пору року.

Дана класифікація, яка представлена шкалою оцінювання, дозволить спростити вибір сонячних колекторів за потребами споживачів, враховуючи значення ККД, який виражений як комплексний показник якості. В залежності від своїх потреб споживач може скористатися даною класифікацією при виборі 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 зростаючого попиту на альтернативні джерела енергії та наявності широкого спектру 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 запропонованої класифікації 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. – Випуск 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. Теплогазопостачання і вентиляції - Режим доступу: [http:// vlp.com.ua/node/10025](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 2010р. - 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. – 56с. – (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. – 36с. – (Національний стандарт України).
9. Колектори сонячні. Методи випробування. Частина 9. Теплові характеристики (лише відчутне теплопередавання) та перепад тиску незаскслених сонячних колекторів для нагрівання рідини (ISO 9806-3:1995, IDT): ДСТУ ISO 9806-2:2005. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 30с. – (Національний стандарт України).
10. Кваліметрія: навч. посібник / В.Р. Куць, П.Г. Столярчук, В.М. Дружок. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 256с.