

УДК 697.7.

Масюк Ганна Юрїївна

Магістрантка факультету інженерних систем та екології

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Приймак Олександр Вікторович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплотехніки, ORCID: 0000-0002-3081-6057

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

УТОЧНЕННЯ КУТА НАХИЛУ ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ СОНЯЧНОГО ТЕПЛООВОГО КОЛЕКТОРА З УРАХУВАННЯМ ПРОГНОЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ РОБОТИ СИСТЕМИ.

***Анотація.** Вибір раціонального кута нахилу площі поверхні сонячного теплового колектора з метою одержання максимального значення коефіцієнта корисної дії перетворення сонячної енергії у теплову в залежності від призначення сонячної системи теплопостачання та від режимів її роботи протягом доби, місяця, сезону або року є актуальною задачею. Актуальність підтверджується децю різними підходами і відповідно використанням різних методик інженерного розрахунку, які пропонуються різними фірмами-виробниками геліотехнічного обладнання.*

***Ключові слова:** Сонячний тепловий колектор; сонячна енергія; сонячна система гарячого водопостачання*

Постановка проблеми

Використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії (НВДЕ) є нагальним в умовах сучасного світу задля економії традиційних енергоресурсів та запобігання парникового ефекту, забруднень довкілля від їх спалювання. В даний час в Німеччині заміщено близько 30% традиційних джерел енергії за рахунок НВДЕ. Найбільш енергоємним і доступним джерелом енергії з усіх НВДЕ є сонячна енергія (СЕ). Середньорічна кількість сумарної СЕ, що поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах 1000 – 1400 кВт·год/м². Таку кількість можна охарактеризувати, що сонячна енергія, яка надходить за три дні на територію України, перевищує усе річне споживання електроенергії нею. Тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року 1600-2400 годин за рік. Встановлено, що це число з кожним роком зростає. Отже, середньорічна кількість СЕ в Україні на горизонтальну поверхню складає 1250 кВт·год/м² є достатньо високою і вища ніж в європейських країнах (наприклад в Німеччині - 1000 кВт·год/м²). Таким чином, Україна має значні можливості для ефективного застосування сонячних систем теплопостачання (ССТ). Для підвищення теплової та

економічної ефективності сонячних систем гарячого водопостачання (ССГВ) стоїть проблема вибору раціонального кута нахилу площі поверхні сонячного теплового колектора (СТК) з метою одержання максимальної кількості теплоти переданої споживачеві в залежності від режимів роботи системи.

На основі аналізу літературних джерел з кліматичних даних України та кількості ясних днів для м. Києва протягом останніх близько 20 років з метою визначення максимально раціонального кута нахилу площі поверхні СТК для вищої сезонної теплової ефективності встановлено, що дані, які рекомендуються для використання у проектній практиці про пряму, розсіяну та відбиту СЕ на горизонтальну поверхню в безхмарний день можуть знижувати середньосезонну ефективність ССГВ до 5% через визначення не зовсім точних значень кутів нахилу СТК. Крім цього встановлено, що на вказаний показник ефективності ССГВ впливають режими її експлуатації або витрати гарячої води протягом доби, місяця, сезону. Тому дослідження визначення раціонального кута нахилу площі поверхні (ПП) поглинаючого елемента (ПЕ) СТК при проектуванні сонячних систем гарячого водопостачання для конкретних кліматичних умов конкретного місця її функціонування є актуальним.

Аналіз основних досліджень та публікацій

У середньому річна кількість сонячної радіації (СР), що потрапляє на поверхню Землі, складає 2000 – 2500 кВт·год/м² у зонах пустель і 1000 – 1500 кВт·год/м² у районах високих широт. Розрахунки показують, що сучасні світові енергетичні потреби можна було б забезпечити за рахунок СЕ, щорічно одержуваної площею у 20 тис. км², що складає всього 0,005 % земної поверхні. Якщо навіть прийняти до уваги, що річний коефіцієнт корисної дії енергетичних пристроїв, які використовують сонячне випромінювання, не перевищує 10%, то територія, що приблизно дорівнює Україні, могла б забезпечити світові енергетичні потреби за рахунок падаючої на неї СЕ.

Україна розташована у Центрально-Східній Європі, у південно-східній частині Східноєвропейської рівнини, між 44° і 52° північної широти і 22° і 41° східної довготи. Згідно останніх близько 20 років метеорологічних спостережень, на Україну припадає 100-200 сонячних днів в році, в залежності від регіону, і це число з кожним роком постійно зростає.

СР - головний чинник кліматоутворення. Рівень сонячної радіації вимірюється на 1 м² земної поверхні в одиницю часу (МДж/м²). Її розподіл залежить від широти місцевості, якій обумовлений кут падіння сонячного випромінювання, і тривалості дня, що у свою чергу впливає на тривалість і інтенсивність СЕ, показники сумарної сонячної радіації і середню температуру повітря за рік. Близько 20% сонячної радіації, що поступає на поверхню Землі, відбивається атмосферою. Інша її частина досягає земної поверхні - це пряма сонячна радіація. Частина радіації поглинається і розсіюється краплями води, криги, частинками пилу, хмарами. Така радіація називається розсіяною. Пряма і розсіяна складають сумарну радіацію. Частина радіації, яка відбивається від поверхні Землі - це відбита радіація.

На півночі України 4/5 сонячної радіації йде на випаровування води, а 1/5 - безпосередньо на нагрівання повітря. На півдні країни витрати сонячного тепла розподіляються рівномірно на випаровування і нагрівання повітря. Інша частина, яка нагріває поверхню - поглинута радіація. Одним з важливих показників сонячної радіації є радіаційний баланс. Це різниця між сумарною радіацією і відбитою. В Україні радіаційний баланс позитивний.

В результаті обробки статистичних метеорологічних даних [1,2] (табл.1) по

надходженню СР визначено питомі енергетичні показники з надходження СЕ та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної зони України (рис. 1, 2).

Встановлено, що середньорічна кількість сумарної СЕ, яка поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1000кВт·год/м² в північній частині України та в західному регіоні і до 1400кВт·год/м² в південному регіоні. А тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року в північно-західній частині України складає 1600 - 1700 годин. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900 - 2000 годин за рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300 - 2400 годин за рік. Введений термін «ефективне використання» означає, що ССГВ працюватиме з віддачею близько 60% протягом дев'яти місяців в південних областях України (з березня по листопад), та семи - в північних (з квітня по жовтень). Взимку ефективність роботи систем падає, але не зникає. Отже, і в умовах нашого клімату, ССГВ можуть працювати цілий рік із змінною ефективністю.

Для теплових розрахунків ССГВ розроблено ряд методик інженерного розрахунку [3,4], які використовуються для визначення теплової та економічної ефективності при проектуванні систем. Одним із невід'ємних елементів вказаного розрахунку є визначення раціонального кута нахилу ПП СТК до горизонтальної площини.

Величина питомого теплового потоку q' , Вт, який падає на 1 м² похилої поверхні сонячного колектора [3] в кожну годину безхмарного дня, визначається за формулою

$$q' = H_B \frac{\cos(\varphi - s) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - s) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)}$$

$$+ H_D = H_B \cdot \kappa(\varphi, s, \delta, \omega) + H_D,$$

де φ – широта місцевості, град;

s – кут нахилу площини сонячного колектора до горизонту, град;

δ – схилення Сонця, град;

ω – годинний кут, рівний нулю опівдні для колекторів, орієнтованих на південь, через кожну годину значення годинного кута змінюється на 15° зі знаком плюс (від 12 годин до ранку) або мінус (від 12 годин до вечора);

$\kappa(\varphi, s, \delta, \omega)$ – кутовий коефіцієнт, який залежить від вищезазначених кутів.

Питомий тепловий потік q , Вт/м², переданий в ССГВ в кожну годину дня визначається з рівняння

$$q = q' \cdot \eta_0 \cdot \eta_\kappa \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3, \quad (1)$$

де η_0 – коефіцієнт, який враховує реальні умови хмарності;

η_k – коефіцієнт корисної дії СТК, який залежить від його конструкції.

При різниці температур теплоносія в колекторі і навколишнього повітря 20-50 °С ця залежність така:

$$\eta_k = 0,82 - 0,007(t_k - t_0),$$

де t_k – температура підігрітої в колекторі води,

t_0 – температура, оточуючого колектор, повітря.

Температура t_k зазвичай приймається рівною 50 °С.

Температура t_0 – середня температура повітря атмосфери в денні години розрахункового місяця, яку розраховують за формулою

$$t_0 = t_{cp} + 0,3A_t,$$

де t_{cp} і A_t відповідно середньодобова температура повітря і максимальна амплітуда коливань добових температур розрахункового місяця;

η_1 – коефіцієнт, який враховує ступінь прозорості атмосфери, величина якого коливається від 0,8 в промислових районах до 1 в курортній зоні;

η_2 – коефіцієнт, який враховує втрати теплоти при транспортуванні теплоносія від сонячного колектора до споживача. Величина цього коефіцієнту коливається від 0,85 для крупних централізованих систем гарячого водопостачання до 0,98 для локальних водопідігрівачів;

η_3 – коефіцієнт, який враховує втрати, обумовлені нестационарним теплообміном при мінливій хмарності. Рекомендується $\eta_3 = 0,9$.

Проте у розглянутій методиці не враховується оптичний ККД СТК $\overline{\tau\alpha}$, а також конкретні режими експлуатації конкретної ССТ.

В роботі [4] розрахунок теплової потужності СТК визначають через кількість СЕ q' , що надходить на його похилу світлопрозору поверхню, поглинаючу здатність колектора $\overline{\tau\alpha}$ та ефективний коефіцієнт тепловтрат колектора η_k .

Величина питомого теплового потоку q' , Вт, що падає на 1м² похилої площини поверхні сонячного колектора в кожну годину безхмарного дня, визначається за формулою

$$q' = H_B \cdot P_B + H_D \cdot P_D$$

де H_B і H_D – питомий тепловий потік, Вт/м², прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню на широті φ , град

даної місцевості (з довідника кліматичних даних);

P_B і P_D – коефіцієнти положення сонячного колектора відносно прямої і розсіяної сонячної радіації, відповідно.

Коефіцієнти положення сонячного колектора можна розрахувати з виразу

$$P_B = \frac{\cos i}{\sin \alpha},$$

$$P_D = \frac{\cos^2 \beta}{2},$$

де α – кут висоти сонцестояння (кут у вертикальній площині між сонячним променем і його проекцією на горизонтальну площину). Величину P_B можна визначити за наступним співвідношенням

$$P_B = \frac{\cos Q_i}{\cos Q_z} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)},$$

де Q_i , Q_z – кути падіння, відповідно, для похилої і горизонтальної поверхонь.

Добуток коефіцієнта пропускання сонячного випромінювання світлопрозорої ізоляції τ і коефіцієнта поглинання абсорбера α прийнято називати оптичним ККД або приведеною поглинальною здатністю $\overline{\tau\alpha}$, яка розраховується за формулою

$$\overline{\tau\alpha} = \frac{\tau\alpha}{(1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d)},$$

де α – коефіцієнт поглинання абсорбера (наводиться виробником в технічних даних СТК);

τ – пропускання здатність світлопрозорого покриття;

ρ_d – дифузна відбиваюча здатність. Для системи прозорого покриття з одного шару листа скла ρ_d приблизно дорівнює 0,16.

Залежність пропускання здатності світлопрозорого покриття сонячного колектора τ від кута і зручно представити за допомогою виразу

$$\tau = \tau_0 \cdot K$$

де τ_0 – пропускання здатність прозорого покриття при $i=0^\circ$ (наводиться виробником в технічних даних СК);

K – коефіцієнт, що визначається співвідношеннями

$$K=1, \text{ якщо } i < 400,$$

$$\kappa = 2.42691 - 0.08591i + 0.00172i - 1.18432 \cdot 10^{-5},$$

якщо $i \geq 400$.

Враховуючи вищевказані залежності вираз для питомого потоку сонячної радіації, що падає на абсорбер колектора, можна записати у вигляді

$$q' = H_B \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)} \cdot \frac{\tau \alpha}{(1 - (1 - \alpha) \cdot \rho_d)} + H_D \cdot \frac{\cos^2 \beta}{2}$$

Таким чином, інтенсивність теплового потоку являє собою функцію пори року n , часу доби τ , кута нахилу β і азимута сонячного колектора α_n . Залежить від питомого теплового потоку, який несе з собою пряме H_B і розсіяне H_D сонячне випромінювання, яке падає на широті φ даної місцевості на горизонтальну площину.

Важливою характеристикою сонячного колектора є його ефективний коефіцієнт тепловтрат, η , який визначається як відношення теплопродуктивності сонячного колектора до падаючого на абсорбер потоку сонячної радіації. Залежність ефективного коефіцієнта тепловтрат колектора від різниці температур теплоносія, який нагрівається в ньому і зовнішнього повітря при розрахункових умовах визначається за формулою

$$\eta_\kappa = \eta_0 - \frac{\kappa_1 \cdot (t_\kappa - t_0)}{q'} - \frac{\kappa_2 \cdot (t_\kappa - t_0)^2}{q'}$$

η_0 – коефіцієнт ефективності або внутрішньої конверсії колектора, характеризує ефективність перенесення поглиненого абсорбером сонячного випромінювання до потоку теплоносія в трубах, що залежить головним чином від конструкції колектора;

κ_1 – лінійний коефіцієнт теплопередачі;

κ_2 – квадратичний коефіцієнт теплопередачі (η_0 , κ_1 , κ_2 наводяться виробником в технічних даних СК);

t_κ – середня температура теплоносія в колекторі (визначається при проектуванні геліоустановки);

t_0 – середня температура навколишнього повітря в денні години розрахункового місяця, визначається за формулою

$$t_0 = t_{cp} + 0,5A_t,$$

де t_{cp} и A_t – середньодобова температура

повітря і максимальна амплітуда коливань добових температур розрахункового місяця.

Питомий тепловий потік, що сприймається абсорбером колектора за кожну годину безхмарного дня q , Вт/м², визначається за формулою

$$q = q' \cdot \eta_0 \cdot \eta_\kappa \cdot \eta_1 \cdot \eta_2, \quad (2)$$

де η_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь прозорості атмосфери, його величина коливається від 0,8 у промислових районах до 1 в курортній зоні, для гірських курортів $\eta_1 = 1,1$;

η_2 – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти від сонячного колектора до споживача, величина цього коефіцієнта коливається від 0,85 для великих централізованих систем до 0,98 для локальних систем, або визначається розрахунком в залежності від теплоізоляції трубопроводів і температури теплоносія.

Середньодобовий питомий тепловий потік розрахункового місяця при безхмарному небі W_c , сприйнятий геліоустановкою, дорівнює сумі значень теплових потоків, Вт / м², розрахованих за формулою для кожної години:

$$W_c = \sum q_i,$$

Кількість теплової енергії W_m , кВт·год/м², виробленої одним квадратним метром сонячного колектора при реальних умовах хмарності, обчислюється окремо для кожного місяця роботи за формулою:

$$W_m = z \cdot W_c \cdot \eta_0 \cdot \eta_3 \cdot 10^{-3},$$

де η_3 – коефіцієнт, що враховує втрати, зумовлені нестаціонарним теплообміном при мінливій хмарності рекомендується приймати = 0,9;

z – кількість днів в місяці;

η_0 – коефіцієнт, що враховує реальні умови хмарності, обчислюється за формулою:

$$\eta_0 = \frac{\sum H_p}{\sum (H_B + H_D)},$$

де $\sum H_p$ – сумарна енергія прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню в населеному пункті за добу при реальних умовах хмарності (дані наводяться в кліматичних довідниках);

$\sum (H_B + H_D)$ – сумарна енергія прямого і розсіяного сонячного випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню на широті населеного пункту за добу при безхмарному небі.

Річне питоме вироблення тепла W_G , кВт·год/м², конкретні режими експлуатації конкретної ССТ. визначається як сумарна кількість теплової енергії, виробленої в кожному місяці:

$$W_G = \sum W_M$$

Проте у розглянутій методиці не враховуються



Рисунок 1 – Кліматичні дані з приходу СЕ та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної зони України

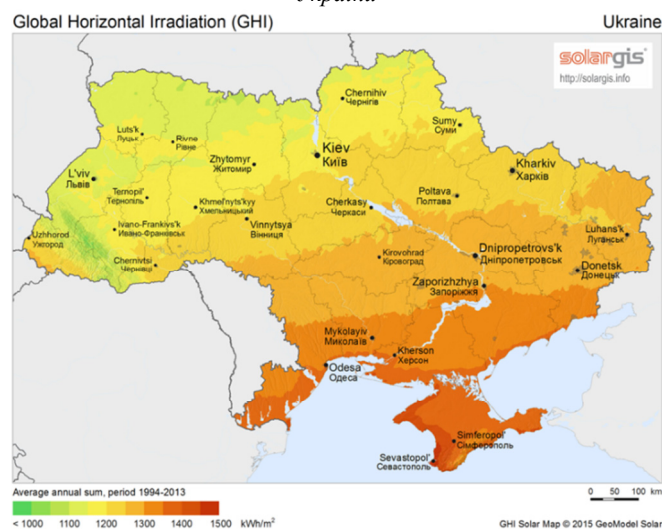


Рисунок 2 Прихід СЕ на горизонтальну поверхню

Формулювання мети статті

Основною метою є аналіз кліматичних даних з метою виявлення шляхів підвищення довготривалості (місяць, сезон, термін експлуатації) теплової та економічної ефективності ССГВ в залежності від режимів її експлуатації та прогнозних змін кліматичних даних на основі використання даних про кількість ясных днів за близько 20 останніх років спостережень (м. Київ). Уточнення визначення прогнозної кількості енергії, падаючої на похилу поверхню протягом конкретних режимів роботи ССГВ та місця її будівництва. Уточнення розрахунку раціонального кута нахилу площі поверхні ССК з метою одержання максимально точної кількості теплоти переданої споживачеві в

залежності від конкретних режимів роботи ССГВ у м. Києві.

Основна частина

На основі аналізу статистичних даних наведених у табл. 1,2 [5] для м. Києва встановлено, що в період з 1998 по 2016 рік максимальна кількість сонячних днів склала - 271 в 2014 році, мінімальна – 152 в 1998 р. та середня – 198. Отримано лінію тренду (рис.3), яка описується відповідним рівнянням регресії. Аналіз вказує на те, що будівництво ССГВ в м. Києві є перспективним через щорічне деяке збільшення сонячних ясных днів в даному регіоні.

Таблиця 1 - Кількість ясних днів в році

| Місяць/рік | 1998 | | 1999 | | 2000 | | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | |
|------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|----|
| | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | |
| січень | 1 | 4 | 5 | 6 | 2 | 4 | 3 | 5 | 3 | 1 | 1 | 3 | 6 | 0 | 3 |
| лютий | 2 | 3 | 8 | 0 | 5 | 4 | 7 | 5 | 5 | 4 | 8 | 4 | 2 | 2 | 6 |
| березень | 3 | 3 | 6 | 7 | 8 | 0 | 8 | 8 | 7 | 9 | 7 | 7 | 5 | 0 | 12 |
| квітень | 4 | 3 | 10 | 2 | 11 | 1 | 11 | 4 | 14 | 5 | 9 | 3 | 10 | 8 | 13 |
| травень | 5 | 1 | 12 | 7 | 10 | 6 | 19 | 4 | 18 | 2 | 18 | 3 | 22 | 0 | 15 |
| червень | 6 | 1 | 14 | 3 | 21 | 5 | 14 | 0 | 12 | 0 | 18 | 1 | 13 | 0 | 21 |
| липень | 7 | 3 | 13 | 4 | 16 | 0 | 16 | 4 | 21 | 6 | 20 | 0 | 22 | 0 | 21 |
| серпень | 8 | 6 | 13 | 2 | 19 | 7 | 15 | 7 | 15 | 9 | 12 | 1 | 17 | 5 | 12 |
| вересень | 9 | 8 | 8 | 5 | 13 | 4 | 8 | 2 | 6 | 2 | 12 | 6 | 15 | 6 | 11 |
| жовтень | 10 | 2 | 5 | 6 | 6 | 6 | 15 | 7 | 4 | 2 | 14 | 3 | 10 | 7 | 7 |
| листопад | 11 | 4 | 6 | 2 | 8 | 1 | 4 | 2 | 6 | 4 | 4 | 4 | 6 | 0 | 8 |
| грудень | 12 | 7 | 7 | 3 | 7 | 2 | 3 | 7 | 7 | 8 | 7 | 3 | 6 | 4 | 5 |
| Всього | 13 | 152 | | 173 | | 163 | | 173 | | 182 | | 172 | | 166 | |

Продовження Таблиці 1 - Кількість ясних днів в році

| Місяць/рік | 2005 | | 2006 | | 2007 | | 2008 | | 2009 | | 2010 | | 2011 | | |
|------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|----|
| | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | |
| | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | |
| січень | 1 | 1 | 10 | 8 | 4 | 0 | 8 | 4 | 10 | 9 | 6 | 4 | 4 | 7 | 7 |
| лютий | 2 | 5 | 1 | 5 | 3 | 6 | 5 | 2 | 14 | 6 | 7 | 0 | 6 | 5 | 8 |
| березень | 3 | 4 | 11 | 1 | 8 | 5 | 15 | 1 | 12 | 1 | 10 | 0 | 16 | 11 | 14 |
| квітень | 4 | 6 | 5 | 3 | 15 | 2 | 14 | 3 | 7 | 12 | 14 | 0 | 8 | 7 | 20 |
| травень | 5 | 2 | 14 | 3 | 15 | 6 | 18 | 0 | 18 | 3 | 23 | 1 | 19 | 7 | 20 |
| червень | 6 | 0 | 16 | 1 | 17 | 0 | 20 | 3 | 17 | 4 | 23 | 5 | 22 | 0 | 27 |
| липень | 7 | 1 | 19 | 2 | 23 | 2 | 24 | 1 | 24 | 3 | 21 | 2 | 27 | 6 | 22 |
| серпень | 8 | 4 | 15 | 6 | 13 | 3 | 21 | 7 | 21 | 3 | 24 | 6 | 22 | 8 | 18 |
| вересень | 9 | 7 | 17 | 3 | 20 | 5 | 13 | 4 | 10 | 3 | 20 | 6 | 18 | 10 | 20 |
| жовтень | 10 | 10 | 6 | 4 | 12 | 4 | 11 | 4 | 15 | 0 | 19 | 3 | 15 | 6 | 15 |
| листопад | 11 | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 6 | 6 | 3 | 7 | 4 | 10 | 6 | 5 |
| грудень | 12 | 5 | 3 | 4 | 6 | 3 | 1 | 4 | 2 | 1 | 5 | 4 | 9 | 5 | 8 |
| Всього | 13 | 172 | | 185 | | 194 | | 195 | | 227 | | 211 | | 262 | |

Продовження Таблиці 1 - Кількість ясних днів в році

| Місяць/рік | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | | |
|------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|----|
| | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | ясні | перемінна хмарність | |
| | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | |
| січень | 1 | 5 | 8 | 2 | 7 | 6 | 8 | 6 | 6 | 4 | 6 |
| лютий | 2 | 9 | 7 | 7 | 6 | 9 | 6 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| березень | 3 | 6 | 16 | 5 | 11 | 16 | 6 | 8 | 8 | 4 | 5 |
| квітень | 4 | 4 | 17 | 12 | 12 | 6 | 17 | 9 | 12 | 10 | 7 |
| травень | 5 | 6 | 20 | 9 | 19 | 6 | 21 | 6 | 15 | 4 | 11 |
| червень | 6 | 5 | 22 | 1 | 27 | 0 | 28 | 7 | 17 | 1 | 20 |
| липень | 7 | 5 | 23 | 2 | 25 | 5 | 24 | 7 | 15 | 7 | 13 |
| серпень | 8 | 6 | 16 | 1 | 24 | 2 | 28 | 15 | 11 | 9 | 14 |
| вересень | 9 | 8 | 18 | 0 | 16 | 13 | 15 | 11 | 9 | 7 | 16 |
| жовтень | 10 | 3 | 13 | 3 | 16 | 18 | 10 | 14 | 9 | 1 | 10 |
| листопад | 11 | 5 | 10 | 5 | 6 | 6 | 3 | 4 | 2 | 2 | 5 |
| грудень | 12 | 3 | 10 | 8 | 4 | 8 | 10 | 7 | 4 | 4 | 6 |
| Всього | 13 | 245 | | 228 | | 271 | | 211 | | 176 | |



Рис 3. Лінія тренду щодо кількості безхмарних днів у році для м. Києва

За вище представленими методиками проведено розрахунки визначення раціонального кута нахилу площі поверхні ССКВ для досягнення максимальної теплової ефективності ССКВ у м. Києві за увесь термін її експлуатації (прийнято 20 років), та з урахуванням режимів експлуатації з квітня по жовтень і з червня по серпень. Встановлено що для довготривалої прогнозу експлуатації системи необхідно враховувати прогнозу зміну кількості ясних сонячних днів протягом терміну та режимів експлуатації ССКВ. Така зміна має враховуватись поправковим коефіцієнтом для розрахункової величини η_0 – коефіцієнта, який враховує реальні умови хмарності (рівняння 1,2) і для м. Києва розраховується з урахуванням рівняння регресії

$$y = 156,35 e^{0,0221x}.$$

Розрахунки показали, що в залежності від терміну експлуатації ССКВ (протягом 20 років і зростанням середньої щорічної кількості сонячних днів), а також режимів експлуатації (квітень-жовтень, червень-серпень) в середньому розрахункова теплова ефективність системи зростає до 5-7%. А уточнення кута нахилу ПП ССК з урахуванням вказаних умов експлуатації (термін експлуатації протягом прогнозу зміни кліматичних даних, місце будівництва з аналізом положення ПП ССК відносно оточуючих об'єктів із врахуванням збільшення відбитої та прямої складових СЕ та режимів експлуатації) може додатково збільшити теплову ефективність системи до 3-5% без збільшення

вартості системи та із зменшенням терміну її окупності.

Висновки

Встановлено, що в залежності від терміну експлуатації ССКВ (протягом 20 років та із прогнозованим зростанням середньої щорічної кількості сонячних днів на прикладі м. Києва), а також режимів експлуатації (квітень-жовтень, червень-серпень) в середньому розрахункова теплова ефективність системи зростає до 5-7%. А уточнення кута нахилу ПП ССК з урахуванням вказаних умов експлуатації (термін експлуатації протягом прогнозу зміни кліматичних даних, місце будівництва з аналізом положення ПП ССК відносно оточуючих об'єктів із врахуванням збільшення відбитої та прямої складових СЕ та режимів експлуатації) може додатково збільшити теплову ефективність системи до 3-5% без збільшення її вартості та із зменшенням терміну окупності. На основі подальших теоретичних досліджень необхідно розробити конкретну методику інженерного розрахунку раціонального кута нахилу і орієнтації площі поверхні поглинаючого елемента сонячного теплового колектора системи гарячого водопостачання в залежності від прогнозу зміни кліматичних даних місця будівництва системи, її взаємодії з відбитою складовою сонячної енергії і променистою складовою теплової енергії з оточуючими об'єктами та режимами експлуатації.

Література

1. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639 – назва з екрану.
2. Global horizontal irradiation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/ukraine> – назва з екрану.

3. Кравченко С. В. Визначення оптимального кута нахилу сонячного колектора в залежності від тривалості роботи протягом року / С. В. Кравченко, В. П. Кравченко, О.Н. Ткачова. – О: ОНПУ, 2016. – 41 с.
4. Производительность гелиоколлектора при различных режимах эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://docplayer.ru/43085179-Proizvoditelnost-geliokollektora-pri-razlichnyh-rezhimah-ekspluatacii.html>– назва з екрану.
5. Дневник погоды в Киеве [Электронный ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gismeteo.ru/diary/>

Стаття надійшла в редколегію 18.04.2017

Масюк Анна Юрьевна

*Магістрантка факультета инженерных систем и экологии
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*
Приймак Александр Викторович
*Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры теплотехники
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

УТОЧНЕНИЕ УГЛА НАКЛОНА ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОВОГО КОЛЛЕКТОРА С УЧЁТОМ ПРОГНОЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ.

***Аннотация.** Выбор оптимального угла наклона площади поверхности (ПП) солнечного теплового коллектора (СТК) с целью получения максимального значения коэффициента полезного действия преобразования солнечной энергии (СЭ) в тепловую в зависимости от назначения солнечной системы теплоснабжения (ССТ) и от режимов ее работы в течение суток, месяца, сезона или года для г. Киева является актуальной задачей. Актуальность подтверждается несколько разными подходами и соответственно использованием различных методик инженерного расчета, которые предлагаются различными фирмами-производителями гелиотехническая оборудования.*

***Ключевые слова:** Солнечный тепловой коллектор; солнечная энергия; солнечная система горячего водоснабжения*

Masiuk Anna

*The second level student of the Faculty of Engineering and Ecology
Kyiv National University of Construction and Architecture (KNUCA), Kiev*

Priymak Olexander

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the department of Thermal Physics
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

UPDATE OF THE ANGLE OF THE TILT SQUARE TREATMENT OF THE SOLAR HEATER WITH THE FORECASTING CLIMATE AND OPERATIONAL CONDITIONS OF THE SYSTEM WORKS

***Abstract.** The choice of an optimum angle of an inclination of the surface area (SA) of the solar thermal collector (STC) for the purpose of obtaining the maximum value of efficiency of transformation of the solar energy (SE) in thermal depending on purpose of the solar system of heat supply (SSHS) and from the modes of her work within a day, month, a season or year for Kiev is an urgent task. Relevance is confirmed by a little different approaches and respectively use of various techniques of engineering calculation which are offered by various manufacturing firms heliotechnical the equipment.*

***Keywords:** Solar thermal collector; solar energy; solar systems of hot water supply*