

РОЗРОБКА ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ І ПІДТРИМКИ ОПАЛЮВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛОСКИХ КОЛЕКТОРІВ

Катерина Іванова*, Сергій Муровський*, Сергій Іванов **

*Національна академія природоохоронного і курортного будівництва

**Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського

Анотація. У роботі розроблен алгоритм розрахунку оптимальних значень площі плоских сонячних колекторів. Алгоритм реалізований у програмі розрахунку оптимальних параметрів для гарячого водопостачання і підтримки опалювання будівлі.

Ключові слова: сонячний колектор, гаряче водопостачання, опалювання, алгоритм, програма.

ВСТУП

В цей час при дефіциті традиційних джерел енергії та їх високої вартості, одним з актуальних завдань є використання нетрадиційних поновлюваних джерел енергії – сонячних колекторів (СК) для гарячого водопостачання та підтримки опалювання. Для вибору типу СК та розрахунку необхідної площини з метою забезпечення необхідної кількості тепла відомо багато методів розрахунку [1], які, маючи велику кількість значень та параметрів які вводяться, можуть привести до деяких погрешностей: округлення, варіації зміни деяких значень.

З метою спрощення розрахунку значень формул, що є функціями декількох параметрів, автоматизації розрахунку, необхідним є створення алгоритму і розробка програми розрахунку гарячого водопостачання та підтримки опалювання при заданих значеннях вихідних параметрів: складання балансу енергії і визначення долі повного місячного теплового навантаження f , що забезпечується за рахунок сонячної енергії при заданій площини колектора A .

Об'єктом дослідження є система гарячого водопостачання і підтримки опалювання будівлі, схема якої представлена на рис. 1.

Перетворення падаючої сонячної радіації в теплову енергію здійснюється в плоских СК, площею A . У якості теплоносія використовують рідину (вода або розчин антифризу), як акумулююче середовище – вода. Система включає теплообмінник (ТО) і бак-акумулятор (БА). Енергія акумулюється у БА за рахунок теплоємності рідини та використовується для забезпечення теплового навантаження опалювання (ТО2) і гарячого водопостачання (ТО1). Система сонячного тепlopостачання підтримується додатковим дублюючим джерелом енергії, яке включає бак нагріву води (Б1) та нагрівач повітря (Н1).

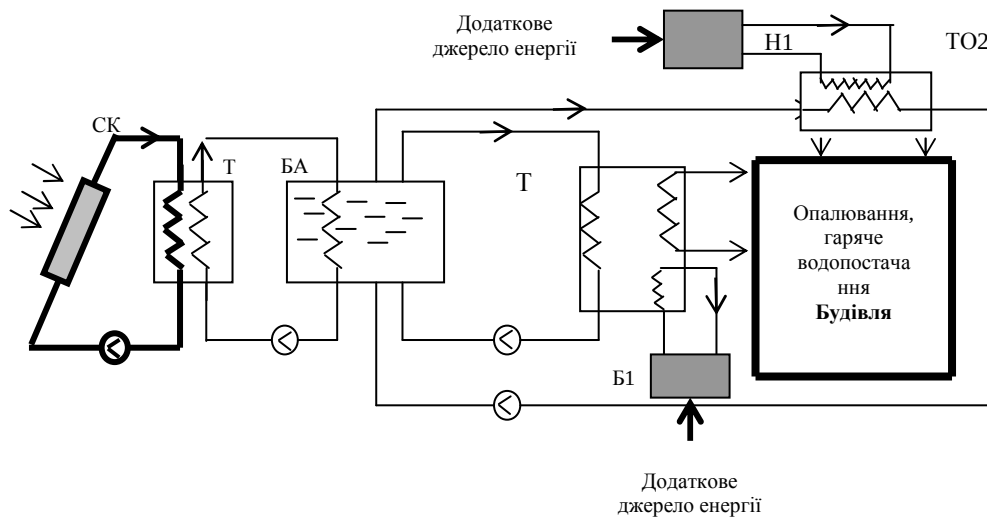


Рис.1. Схема енергопостачання будівлі з використанням плоских сонячних колекторів

Fig.1. Chart of energy supply house with the use of sun collectors

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Предметом розрахунку є: визначення середньої кількості теплової енергії для гарячого водопостачання і опалювання будівлі у вказаному місяці; визначення коефіцієнту впливу теплообмінника; визначення середніх значень поверхневої щільності сонячної енергії у площині колекторів за вказані місяці з врахуванням орієнтації колектора; складання балансу енергії та визначення долі повного місячного теплового навантаження, що забезпечується за рахунок сонячної енергії, при заданій площині колектора.

Методика розрахунку для учбових цілей розроблена в [2] на основі методу « f -функцій» [1]. По даній методиці проводилися розрахунки робочих параметрів геліосистеми з імітатором сонячного випромінювання [3].

Для розрахунку представленої системи опалювання і гарячого водопостачання об'єкту з використанням плоских сонячних колекторів розроблена програма, яка написана на мові програмування «Java». Алгоритм програми представлений у вигляді алгоритмів поетапних обчислень шуканих величин.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

На першому етапі виконується розрахунок коефіцієнту впливу теплообмінника K_F (мал. 2). Нагрів теплоносія (води або антифризу) в контурі циркуляції рідини у сонячному колекторі відбувається за рахунок корисної енергії потужністю Q_i (Вт), що відводиться з сонячного колектора в даний момент часу. Корисна енергія потужністю, що відводиться з колектора в даний момент часу, є

різниця кількості сонячної енергії, поглиненою пластиною колектора, і кількості енергії, що втрачається в довкілля. Рівняння (1), яке застосовне для розрахунку майже всіх існуючих конструкцій плоского колектора [1], має вигляд:

$$Q_I = F_R A [I_T (\tau\alpha) - U_L (T_{\text{до}} - T_{\text{н}})], \quad (1)$$

де: Q_I - корисна енергія, що відводиться з колектора в одиницю часу, Вт; A - площа колектора, м^2 ; F_R - коефіцієнт відведення тепла з колектора; I_T - щільність потоку сумарної сонячної радіації в площині колектора $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; τ - пропускательна здатність прозорого покриття колектора по відношенню до сонячного випромінювання; α - поглинальна здатність пластини колектора по відношенню до сонячного випромінювання; U_L - повний коефіцієнт теплових втрат колектора $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$; $T_{\text{до}}, T_{\text{н}}$ - температура рідини на вході у колектор та температура навколишнього середовища $^\circ\text{C}$.

У процесі випробувань вимірюють щільність потоку падаючої сонячної радіації, температуру рідини на вході та виході з колектору. Корисна енергія колектора визначається виразом (2):

$$Q_{II} = A G_1 c_p (T_{\text{вих}} - T_{\text{вх}}), \quad (2)$$

де: G_1 - витрата рідини на 1м^2 площі колектора; c_p - теплоємність рідини $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C}}$; $T_{\text{вих}}, T_{\text{вх}}$ - температура рідини на виході та вході у колектор $^\circ\text{C}$.

Коефіцієнти F_R , $(\tau\alpha)$, U_L залежать від конструкції сонячного колектора та витрати рідини через колектор, ці величини визначаються при стандартних випробуваннях колекторів, у яких потік сумарної радіації падає вертикально на поверхню сонячного колектора. Визначені за таких умов, коефіцієнти мають індекс N. У районах, де можливе замерзання рідини у колекторі, сонячні установки виконуються з проміжним теплообмінником, який розділяє колектор та бак-акумулятор. Хоча цей теплообмінник не є частиною колектора, доцільно ввести поняття ефективного коефіцієнту відведення тепла, підстановка якого в рівняння (1) замість F_R дозволяє розрахувати характеристики колектора з врахуванням теплообмінника. Відношення $\frac{F'_R}{F_R}$ називають поправочним коефіцієнтом, що враховує вплив теплообмінника. Цей коефіцієнт характеризується зменшенням корисної енергії колектора унаслідок вживання двоконтурної схеми відведення тепла з проміжним теплообмінником. Таким чином, коефіцієнт впливу теплообмінника розраховується по формулі (3)

$$K_F = \frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{F_R U_L}{G_1 c_p}\right) \left(\frac{1}{K_{\text{oi}}}\right) - 1\right)}, \quad (3)$$

де: $\hat{E}_{\text{oi}}$ - коефіцієнт ефективності теплообмінника.

При розрахунку вводяться значення $F_R U_L$, K_{oi} , G_1 та c_p . При наведенні курсору миші на назву перемінної програма виводить текстову «підказку», що містить опис даної перемінної (рис. 2). Для величин, що вводяться, вказані їх одиниці виміру.

Рис. 2. Перше діалогове вікно

Fig.2. First dialog box

Після введення даних необхідно натиснути кнопку «Розрахувати». Якщо введені дані є числовими, програма виконує обчислення та виводить форматоване значення коефіцієнту впливу теплообмінника K_F з чотирма знаками після коми. Даний формат використовується у всій програмі. Якщо одне або декілька введених значень не є числовими, то відповідні поля введення значень підсвічуватимуться червоним кольором та у верхній частині вікна буде виведено повідомлення про некоректність даних. Програма не дозволить виконати обчислення до тих пір, поки не будуть виправлені некоректні дані. Перехід до наступного етапу розрахунку виконується при натисненні кнопки «Далі». Дана кнопка активується програмою лише за умови, що на поточному етапі були завершені обчислення.

На другому етапі виконується розрахунок приходу сонячної радіації на похилу поверхню колектора з врахуванням його орієнтації (рис. 3).

Программа расчета системы отопления и горячего водоснабжения объекта с использованием...

Расчет прихода солнечной радиации на наклонную поверхность коллектора с учетом его ориентации

Данные рассчитаны!

$\beta = 40^\circ$ $K_a = 1$

	ρ	$\bar{E}$	E_p	$\bar{R}_b$	R	E_T
Май	0.2	27.81	5.26	1.12	1,0986	30,5513
Июнь	0.2	29.47	5.84	1	1,0002	29,4763
Июль	0.2	27.81	5.8	1	0,999	27,7822
Август	0.2	24.16	5.4	1.25	1,1914	28,7836
Сентябрь	0.2	19.04	3.61	1.45	1,3659	26,0067

$\frac{MJ}{m^2 \cdot сут}$ $\frac{MJ}{m^2 \cdot сут}$ $\frac{MJ}{m^2 \cdot сут}$

Рассчитать

Назад Далее

Рис. 3. Друге діалогове вікно

Fig.3. Second dialog box

Сонячна енергія, падаюча на сонячний колектор, складається з трьох частин: прямій радіації, дифузній (розсіяною) радіації та радіації, відбитій від поверхні землі або навколишніх предметів. Аби визначити відношення середньомісячних денних приходів сумарної радіації на похилу і горизонтальну поверхню R потрібно знати складові сонячної радіації. Передбачаючи, то дифузне випромінювання ізотропне, R можна представити у вигляді рівняння (4) [1]:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{\bar{E}}\right) \bar{R}_b + \frac{E_p}{\bar{E}} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (4)$$

де: R - коефіцієнт відношення середньомісячних денних приходів сумарної радіації на похилу і горизонтальну поверхню; β - кут нахилу сонячного колектора до горизонту; ρ - відбивна здатність землі (змінюється від 0,2 до 0,7); $\bar{E}$ і E_p - середньомісячні значення сумарної та розсіяної сонячної енергії, що поступає на 1 м^2 поверхні землі за добу; $\bar{R}_b$ - коефіцієнт пропускну здатності атмосфери.

Величину можна знаходити або за допомогою методу, запропонованого Клейном [1], або скористатися даними, приведеними в довідкових матеріалах.

Для визначення середньомісячної денної щільності потоку сонячної енергії E_T на похилу поверхню колектора необхідно врахувати кут установки колектора до горизонту β та азимут - напрям орієнтації сонячного колектора по відношенню до напрямку на південь. Величина E_T розраховується по формулі (5) [1]:

$$E_T = R \cdot \bar{E} \cdot K_a, \quad (5)$$

де: K_a – коефіцієнт азимута, залежний від орієнтації сонячного колектора.

Для розрахунку вводяться значення: β , K_a , а також ρ , $\bar{E}$, E_{δ} і $\bar{R}_b$ для кожного місяця з травня по вересень. Усій програмі для величин, які вводяться, вказані одиниці їх виміру, при наведенні курсору миші на назву перемінної програма виводить текстову «підказку», що містить опис даної перемінної.

Після введення даних та натиснення кнопки «Розрахувати» програма виконує обчислення відношення середньомісячних денних приходів сумарної радіації на похилу і горизонтальну поверхні R та середньомісячний денний прихід радіації на похилу поверхню E_T . Дані значення виводяться для кожного даного місяця. Як і раніше програма виводить форматовані значення розрахованих даних з чотирма знаками після коми та перевіряє, чи є введені значення числовими. Перехід до наступного етапу обчислень також можливий лише за умови, що обчислення на даному етапі закінчені. Відмітимо, що поля на яких виводяться відповідні значення, не є редагованими, тобто неможливо змінювати розраховані дані.

Оскільки формули розрахунків містять операцію ділення, у програмі передбачено сповіщення про помилку ділення на нуль. У разі виникнення помилки, рядок, в якому вона виникла, буде виділений червоним кольором та буде виведено відповідне повідомлення. На усіх етапах, окрім першого, передбачена функція повернення «Назад», яка дає можливість проглянути раніше розраховані дані та внести, при необхідності, зміни.

На третьому етапі проводиться розрахунок витрат теплової енергії на гаряче водопостачання та підтримку опалювання будівлі (рис. 4).

Рассчет затрат тепловой энергии на горячее водоснабжение и отопление здания
Данные рассчитаны!

$c_p = 4190 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$ $G_{1B} = 100 \frac{л}{час}$ $N = 100$

$T_{Г.В.} = 50 ^\circ C$ $T_{Х.В.} = 12 ^\circ C$

	d	$\bar{Q}_{Г.В.}$	Доля	$\bar{Q}_{от}$	$\bar{Q}$
Май	31	49,3582	10	4,9358	54,294
Июнь	30	47,766	0	0	47,766
Июль	31	49,3582	0	0	49,3582
Август	31	49,3582	0	0	49,3582
Сентябрь	30	47,766	10	4,7766	52,5426

ГДж % ГДж ГДж

Рассчитать

Назад Далее

Рис. 4. Третє діалогове вікно

Fig.4. Third dialog box

На відміну від звичайних систем опалювання, що використовують газ, нафту або електричну енергію, ефективність і економіка системи сонячного теплопостачання в значній мірі залежать від того, яка доля навантаження опалювання і (або) навантаження гарячого водопостачання забезпечується за рахунок сонячної енергії. Фактичне навантаження гарячого водопостачання залежить від споживачів і для оптимальних розрахунків необхідно брати середньостатистичні значення.

Місячне навантаження гарячого водопостачання обчислюється за формулою (6):

$$\bar{Q}_{\bar{A}\bar{A}} = NG_{1\bar{A}}(T_{\bar{A}\bar{A}} - T_{\bar{O}\bar{A}})c_p, \quad (6)$$

де: $G_{1\bar{A}}$ - витрата води на людину в день; N - кількість чоловік; $T_{\bar{A}\bar{A}}$ і $T_{\bar{O}\bar{A}}$ - температура гарячої та холодної води відповідно.

Оскільки величина $\bar{Q}_{\bar{A}\bar{A}}$ досить велика, її зручно розраховувати в ГДж. Середнє місячне теплове навантаження системи опалювання - кількість теплової енергії в місяць для опалювання будівлі $\bar{Q}_{\bar{I}\bar{O}}$, обчислюється як відсоток від місячного навантаження гарячого водопостачання $\bar{Q}_{\bar{A}\bar{A}}$ залежно від місяця. Сумарна середня за місяць спожита теплова енергія $\bar{Q}$ складає:

$$\bar{Q} = \bar{Q}_{\bar{A}\bar{A}} + \bar{Q}_{\bar{I}\bar{O}}, \quad (7)$$

Для розрахунку необхідно ввести значення: $G_{1\bar{A}}$, N , $T_{\bar{A}\bar{A}}$, $T_{\bar{O}\bar{A}}$ та долю теплопостачання будівлі у відсотках від гарячого водопостачання для травня і вересня місяців.

На четвертому етапі проводиться складання балансу енергії та визначення долі повного місячного теплового навантаження f , що забезпечується за рахунок сонячної енергії, при заданій площини колектора (рис.5).

Определение параметров
Данные рассчитаны

$F_0(\cos\alpha)_c = 0.8$ $F_0 U_L = 5$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ $K_{HP} = 0.96$ $V = 75$ $\frac{\text{л}}{\text{м}^2}$ $K_F = 0.9883$

$A_1 = 10$ м^2 $A_2 = 25$ м^2 $T_{\text{вот}} = 100$ $^\circ\text{C}$ $K_B = 1$

	$T_{\text{вот}}$	$\frac{X}{A}$	$\frac{Y}{A}$	X	Y	f_1	$f_1 \bar{Q}$	X	Y	f_2	$f_2 \bar{Q}$
Май	16.3	0.0204	0.0132	0.204	0.1324	0.1188	0.4505	0.5101	0.331	0.2818	15.3027
Июнь	21.5	0.021	0.0141	0.2105	0.1405	0.1262	0.5095	0.5262	0.3513	0.2985	14.2565
Июль	24.7	0.0202	0.0132	0.2019	0.1324	0.119	0.4727	0.5048	0.3311	0.2823	13.9323
Август	24.2	0.0203	0.0137	0.2033	0.1372	0.1235	0.4956	0.5081	0.343	0.2925	14.435
Сентябрь	19.3	0.0197	0.0113	0.1967	0.1127	0.1002	0.4634	0.4918	0.2818	0.2394	12.5803

$^\circ\text{C}$ м^{-2} м^{-2} ГДж ГДж ГДж ГДж ГДж ГДж ГДж ГДж ГДж

$\sum f_1 \bar{Q} = 29.7108$ ГДж $\sum f_2 \bar{Q} = 70.5068$ ГДж

$\bar{f}_1 = 0.1175$ $\bar{f}_2 = 0.2789$

$f = 1$ при $A = 92.0341$ м^2

Рассчитать

Назад Выход

Рис. 5. Четверте діалогове вікно

Fig.5. Fourth dialog box

Енергетичний баланс системи сонячного теплопостачання за місячний період часу можна представити у вигляді:

$$Q_T - \bar{Q} + E = \Delta U, \quad (8)$$

де: Q_T - місячна тепловиробництво сонячної установки; $\bar{Q}$ - сума місячних навантажень опалювання і гарячого водопостачання; E - загальна кількість енергії, отримана протягом місяця від дублюючого джерела; ΔU - зміна кількості енергії в акумулюючій установці.

При розмірах акумуляторів, які постачаються з сонячними системами, різниця ΔU мала в порівнянні з Q_T , $\bar{Q}$ та E , і може бути прийнята рівною нулю. Тоді рівняння (7) переписується у вигляді:

$$f = (\bar{Q} - E) / \bar{Q} = Q_T / \bar{Q}, \quad (9)$$

де: f - доля повного місячного теплового навантаження, що забезпечується за рахунок сонячної енергії.

Величина f визначається на основі обчислювання двох безрозмірних параметрів X та Y по рівнянням (10, 11) [2]:

$$X = A F_R U_L K_F K_A \frac{(\dot{Q}_{\text{ââç}} - \dot{Q}_{\text{î.ñ}}) \Delta t}{\bar{Q}}, \quad (10)$$

$$Y = A K_F K_{\text{îð}} F_R (\tau \alpha)_N \frac{E_T d}{\bar{Q}}, \quad (11)$$

де: Δt - кількість секунд у місяці; d - кількість днів в місяці; $K_{\text{îð}}$ - коефіцієнт впливу орієнтації сонячного колектора в просторі на пропускну та відбиваючу здатність покриття сонячного колектора; $T_{\text{ââç}}$ - базисна температура; K_A - коефіцієнт впливу бака.

Величина X представляє відношення місячних теплових втрат колектора при базисній температурі до повного місячного навантаження, а величина Y характеризує відношення кількості енергії, яка поглинається пластиною колектора протягом місяця, до повного місячного теплового навантаження. Залежність між f , X та Y можна апроксимувати рівнянням (12) [1]:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3. \quad (12)$$

Оскільки величини X та Y повинні розраховуватися для місяців року при кожному заданому значенні площини колектора, то формули (10) та (11) можна переписати у вигляді:

$$\frac{X}{A} = F_R U_L K_F K_A \frac{(\dot{Q}_{\text{ââç}} - \dot{Q}_{\text{î.ñ}}) \Delta t}{\bar{Q}}, \quad (13)$$

$$\frac{Y}{A} = A K_F K_{\text{îð}} F_R (\tau \alpha)_N \frac{E_T d}{\bar{Q}}, \quad (14)$$

Після чого визначається середня за місяць доля навантаження за рахунок сонячної енергії та сума теплового навантаження, що забезпечується за рахунок сонячної енергії.

Для розрахунку необхідно ввести значення: $F_R (\tau \alpha)$, $K_{\text{îð}}$, A_1 , A_2 , V та

$T_{i,n}$. Відзначимо, що коефіцієнт $F_R U_L$ раніше використовувався для розрахунку на першому етапі, а коефіцієнт K_F був розрахований програмою, тому не треба вводити їх заново, програма сама заповнює поля потрібними значеннями. Розрахунок коефіцієнта впливу бака K_A та кількість секунд в місяці Δt закладені у програму. Як і раніше, програма надає можливість повернутися до попередніх етапів розрахунку для зміни даних або їх перевірки.

Розроблена програма знаходиться на кафедрі енергопостачання та фізики НАПКБ.

ВИСНОВКИ

Розроблена програма дозволяє проводити розрахунки системи гарячого водопостачання та підтримки опалювання об'єкту з використанням плоских сонячних колекторів. Розрахунки проводяться з досить високою точністю, округлення проводиться лише при виведенні результатів.

Автоматизація процесу розрахунку дозволяє значно прискорити обробку великих об'ємів даних. Наявність спливаючих підказок та перевірки даних, які вводяться, значно спрощують процес розрахунку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Расчет систем солнечного теплоснабжения: Пер. с англ./ У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффи.- М.: Энергоиздат.-1982.- 80с.
2. Сокут Л.Д. Расчет системы отопления и горячего водоснабжения с использованием плоских солнечных коллекторов. Методические указания / Л.Д. Сокут.- КАПКС.- Симферополь.- 2003.-15 с.
3. Сокут Л.Д. Установка автономного теплоснабжения на базе жидкостного солнечного коллектора для учебных и научных целей / Л.Д. Сокут, О.М. Козлов, С.П. Муровский // Сб. научных трудов КАПКС «Строительство и техногенная безопасность».- №8.- Симферополь.- 2003.- С. 86-90
4. Bruce Eckel, Thinking in Java, 4th edition // Prentice Hall PTR.- 2006.- 1482 p.

SOFTWARE DEVELOPMENT OF THE SAN COLLECTION SYSTEM SOLVER FOS HOT WATER SUPPLY AND HEATING SUPPORT

Ekaterina Ivanova, Sergey Murovskiy, Sergey Ivanov

Summary. The work includes development of the algorithm for collector area optimal value calculation. The algorithm is used in software for optimal parameters calculation in hot water supply and heating support systems.

Key words: sun collector, hot water-supply, heating, algorithm, program.