

ПРЕСМЯТАНЕ НА ВОДЕН АКУМУЛАТОР НА АКТИВНА ТЕРМИЧНА СЛЪНЧЕВА СИСТЕМА

Мая Стоянова¹, Лиляна Такева², Румен Стойков³

^{1,3}ЦЛ СЕНЕИ- БАН, ²Лесотехнически университет - София

През последните години, темите за Енергийната ефективност (ЕЕ) и Възобновяемите енергийни източници (ВЕИ) стават все по-актуални за България, като неразделна част от програмата на Европа за Устойчиво енергийно развитие. Рационалното използване на енергията и използването на ВЕИ в бита, генерират както икономически така и екологични ползи. В последно време при избор на оптимално решение за енергийно осигуряване на дадена сграда се включва и използването на възобновяем източник, какъвто е слънцето. Активните слънчеви термични системи за производство на гореща вода са доказали своите възможности за намаляване на текущите енергийни разходи на домакинствата с над 15%. Потенциала на такава система зависи от правилния избор и пресмятане на отделните елементи в нея. Целта на настоящото изследване е да се покаже начин за пресмятане на водния акумулатор на термична слънчева система, съобразено с нуждите на потребителите и избраните слънчеви колектори. Установява се влиянието на функцията на акумулиране на слънчевата радиация, породена от периодичния и случаен характер в поведението на енергийния източник.

Ключови думи: слънчева термична система, слънчев колектор, воден акумулатор.

Key words: solar thermal system, solar collector, water accumulator

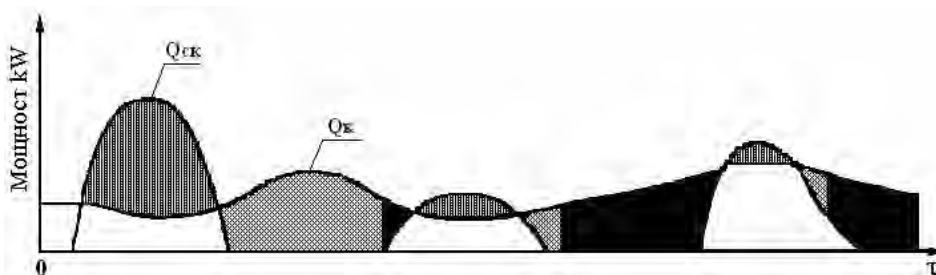
1. Увод

За приготвяне на гореща вода за битови нужди в наше време се изразходва около 17% енергия. Този голям разход на енергия се удовлетворява главно за сметка на конвенционалните източници на енергия – газ, нефт и електроенергия. Една значителна част от необходимата топлинна енергия може и вече се набавя с помощта на термични слънчеви инсталации. Постигането на висока ефективност при активните слънчеви инсталации за гореща вода е многофакторна задача. Един от най-важните фактори е акумулиране на топлинната енергия в периода на интензивна слънчева радиация и рационално използване при консумация на топлинна енергия. Функцията на акумулиране на слънчевата енергия е породена от периодичния и случаен характер в поведението на енергийния източник. Акумулирането на топлинната енергия е пряко свързано с консумацията на енергия и оказва непосредствено влияние върху термичната работоспособност на слънчевите колектори. Работата на термич-

ните слънчеви системи е в пряка зависимост от променливото слънчево облъчване върху земята, консумацията на енергия, която не съвпада по време с постъпване на слънчевата радиация. Това налага използването на топлоакмулиращи съоръжения в термичните слънчеви системи.

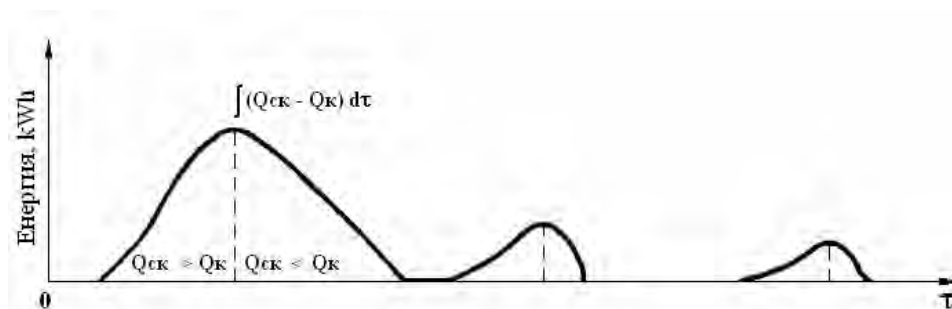
2. Метод на работа

Слънчевият колектор като основен елемент от термичните слънчеви системи работи при нестационарни метеорологични условия и в различни температурни режими. Слънчевата радиация която попада върху него има нестационарен и променлив характер, а консумацията на енергия не съвпада по време с режимите на постъпване на слънчева радиация. Изследване на процесите на преобразуване и използване на енергията дава яснота по въпроса за акумулиране на енергията. Демонстрация на процесите на изменението на консумацията на енергия Q_k и топлинната производителност на слънчевите колектори Q_{ck} във времето в рамките на три деноночия в графичен вид, е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Използване на слънчевата енергия с акумулиране

На фигурата ясно се разграничават интервалите (вертикално щриховани площи) в които има излишък на топлинна енергия, която се акумулира. В този случай консумираната енергия е по-малко от произведената и се наблюдава акумулиране на енергия $Q_{ск} > Q_k$. Диагонално щрихованите области обхващат периодите на консумация на акумулираната енергия. Периодите на непосредствена консумация на получената топлинна енергия от



Фиг. 2. Разпределение на акумулираната енергия и разреждане на акумулатора

слънчевите колектори топлина. Чрез него се поема несъвпадането на максимален добив и максимален разход, т.е. постига се частично изравняване на мощността на енергодобиващата и енергоконсумиращата част на системата [2]. Основните технически характеристики и параметри на акумулаторите се описват от параметрите:

- специфичен топлинен капацитет на акумулиращия материал;
- работен температурен интервал между входа и изхода на акумулатора;
- степен на температурно разслояване;
- специфичен работен обем или маса на акумулатора, спрямо единица колекторна площ;
- механизъм на предаване и отнемане на топлина;
- топлинни загуби в околната среда;
- хидравлични загуби.

В директните водни слънчеви системи, водата се използва освен като топлоакумулиращо вещество и като топлоносител. От достъпните материали, водата притежава най-висок специфичен топлинен капацитет $C_p = 4190 \text{ J/(kg}\cdot\text{C)}$ и е известна като материала поглъщащ най-много топлина, при най-ниска себестойност [3]. В директните слънчеви системи се използва като топлоакумулиращо вещество и като топлоносител. Това помага да се избегнат ненужни температурни падове върху работното тяло, което пренася топлината в акумулиращата среда.

От параметрите на акумулатора особено съществени са тези, които непосредствено влияят на

слънчевата радиация са означени с бели полета. В случаите, когато енергийните потребности се задоволяват от допълнителен източник на енергия, областите са означени в черно.

Примерно разпределение за използване на акумулирането на топлинната енергия и последователното изчерпване от акумулатора е показано на фиг. 2.

термичната ефективност на слънчевата система. Всяка загуба на температурен потенциал се отразява неблагоприятно на термичната ефективност. Една от задачите при проектирането на акумулатора или системата като цяло е да се елиминират или намалят минимално ненужните температурни падове. Намалването на средния температурен потенциал на колектора може да се представи във вида:

$$T_{сл.к-р} - T_{изх.сл.с-ма} = \Delta T_{сл.к-р-акум} + \Delta T_{акум} + \Delta T_{заг.акум} + \Delta T_{консум.вх} \quad (1)$$

където $T_{сл.к-р}$ е температурата на топлоносителя на изхода от колектора;

$T_{изх.сл.с-ма}$ – температурата на топлоносителя който постъпва в консуматора;

ΔT – температурни падове.

Температура на изхода от колектора е по-висока в сравнение с температурата на топлоносителя, който постъпва в консуматора, изразен със сумата от температурните падове от формула (1).

В термичните слънчеви системи за получаване на гореща вода се използва акумулиране с температурно разслояване (стратификация), като в един и същи обем топлината на горещата вода се акумулира над по-студените слоеве в акумулатора. Най-простият метод за акумулиране на топлина се свързва със загряване и повишаване на температурата на определен обем. За да функционират слънчевите системи ефективно се нуждаем от почти изотермично акумулиране на топлина [1]. Акумулирането на топлина с температурно разслояване или стратификация удължава периода на задоволяване на нуждите от топла вода. При него в един и същи обем, топлината на горещия флуид

се акумулира над студените нива в акумулатора, като се избягва непрекъснато смесване на водни потоци с различни температури. Студената вода от долната част на акумулатора, преминава през слънчевия колектор, загрява се и връщайки се в акумулатора се премества в горната му част поради по-малкото си обемно тегло. В цикъла на зареждане, условната разделителна повърхнина между двете зони, топла и студена, в акумулатора се придвижва надолу. При цикъла на разреждане или консумация на гореща вода, обратно, условната разделителна повърхнина се придвижва нагоре. Ако няма смесване на водата в акумулатора от различните слоеве с различни температури се наблюдава най-добра ефективност на слънчевите системи. Нарушаване на механизма на стратификация възниква, когато в горната част на акумулатора постъпва вода с температура, по-ниска от тази на горния слой. Това явление се наблюдава в следобедните часове при намаляване на интензитета на слънчевата радиация. Стратификацията в топлинните акумулатори зависи от:

- обема на резервоара;
- размери на акумулатора;
- вътрешен и външен дизайн на елементите за циркулация на водата;
- количество на постъпващия и изходящ флуид;
- местоположение.

Специфичният работен обем или масата на акумулатора трябва да се съобрази с площта на монтираните слънчеви колектори, която се оразмерява според ежедневните нужди на домакинството от гореща вода. Обемът на акумулатора $V_{\text{акум.}}$ и повърхнината на слънчевия колектор $A_{\text{сл.к-р}}$, трябва

ва да са в отношение както следва:

$$V_{\text{акум.}} / A_{\text{сл.к-р}} \in [50, 100] \text{ dm}^3 / \text{m}^2 \quad (2)$$

Изследванията ни показват, че 50 литра акумулиращ обем за квадратен метър инсталирана колекторна площ обикновено е оптимален за домашна слънчева инсталация за гореща вода. Увеличаването на вместимостта на акумулатора до 75 l/m^2 колекторна площ, повишава К.П.Д. с 5% и понижава пиковите на летните температури. При избор на бойлер с вместимост до 100 l/m^2 може да доведе до по-ниска температура на водата. Акумулиращи обеми за вода под 50 l/m^2 за колекторна площ предизвикват понижаване на К.П.Д. и при нередовно използване на вода през деня може да доведе до опасно високи температури, особено при акумулиращи обеми под 35 l/m^2 .

Бойлерите използвани при слънчевите системи се изпълняват от висококачествена емайлирана или неръждаема стомана с висока корозионна устойчивост или от изкуствени материали. За изолации трябва да се използват високоефективни топлоизолационни материали с коефициентът на топлопреминаване (k) от $0,06$ до $0,25 \text{ W/m}^2\text{°C}$. За избягване на постоянното смесване на водни потоци с различна температура, в средата на акумулатора може да се вгради разпределителна тръба. По този начин се постига т.нар. термосифонен ефект. и се удължава периодът на задоволяване на нуждите от топла вода, без да се налага включването на допълнителен източник на енергия.

Сравнителен обем на слънчеви бойлери с гореща вода при пресмятане за семейство със средна численост е дадено в табл. 1.

Специфичният работен обем на слънчевия

Таблица 1. Обем на слънчевия бойлер и площ на колектора при слънчева система

Численост на семейството [бр.]	Обем на слънчевия бойлер при темпер. на водата 65°C [l]	Обем на слънчевия бойлер при темпер. на водата 50°C [l]	Средна площ на повърхността на колектора [м ²]
2	95	225	3
3	140	340	4.5
4	180	450	6

бойлер се определя на база площта на монтираните слънчеви колектори. За да се определи необходимата площ за повърхността на слънчевия колектор трябва да се пресметнат стойностите на месечните топлинни потребности $Q_{\text{м.г.в.}}$ и годишните потребности на топлина за всички консуматори [4].

Балансите за топлинните потребности имат прогнозен характер и прогнозата е условна, формула (2). Месечните потребности за загряване на

водата се изчисляват с помощта на формулата:

$$Q_{\text{м.г.в.}} = m_{\text{г.в.}} \cdot c \cdot (t_h - t_c) \cdot n_m, \text{ J/месец} \quad (3)$$

Необходимата топлина за загряване на студената вода от 10°C до 65°C се пресмята по формула (3).

$$q_{\text{г.в.}} = m_{\text{г.в.}} \cdot c \cdot (t_h - t_c), \text{ J/ден} \quad (4)$$

където $m_{\text{г.в.}}$ е маса на водата;

c – специфичен топлинен капацитет на водата,

$c = 4190 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$;

t_h – температура на горещата вода, °C;
 t_c – температура на студената вода, 10C;
 n_m – брой на дните в месеца.

Масата на водата $m_{г.в.}$, необходима за един ден при зададена температура на горещата вода t_h , се определя по формулата:

$$m_{г.в.} = n_k V_k \rho_w, \text{ kg/ден} \quad (5)$$

където n_k е броя на консуматорите;

V_k – дневен специфичен разход на гореща вода;

ρ_w – плътност на водата, $\rho_w \approx 1000 \text{ kg/m}^3$.

Теоретичните изследвания са реализирани за

слънчева инсталация за гореща вода, за фамилна сграда за двучленно, тричленно и четиричленно семейство. Дневният специфичен разход на гореща вода е отчетен от таблица [3] и е съобразен с предназначението на сградата, и броя на консуматорите. В случая имаме жилищна сграда и отчитаме разход на консуматор 80 l/на човек, при температура 60°C. В таблица 2 са показани изчислени месечните и годишни потребности за трите разглеждани примера.

Определянето на необходимата площ на по-

Таблица 2. Годишни топлинни потребности Q_r

Месец	Дни	$Q_{м.г.в.}$ МJ/месеци (двучленно семейство)	$Q_{м.г.в.}$ МJ/месеци (тричленно семейство)	$Q_{м.г.в.}$ МJ/месеци (Четиричле. семейство)
I, III, V, VII, VIII, X, XII	31	$33,5 * 7 = 7270$	$50,3 * 7 = 10915$	$67 * 7 = 14539$
II	28	$33,5 * 1 = 938$	$50,3 * 1 = 1408$	$67 * 1 = 1876$
IV, VI, IX, XI	30	$33,5 * 4 = 4020$	$50,3 * 4 = 6036$	$67 * 4 = 8040$
Годишни потребности Q_r МJ		12228	18359	24455

върхността на колектора се пресмята по формулата:

$S_{сл.к-р} = \text{необходима енергия} / \text{отведена енергия от } 1^{ца} \text{ площ}$ (6)

Отведената енергия от единица колекторна площ зависи от следните параметри:

- метеорологични данни за мястото на слънчевата инсталацията;
- видът и характеристиките на слънчевите колектори;
- ориентацията им при монтажа.

Системата за подгряване на вода може да бъде пресметната изцяло на използване на слънчевата радиация, но такава система може да бъде неикономична. В слънчев ден необходимото количество вода може да бъде осигурено от колектор, например с площ 2 m².

В дни с неголяма облачност аналогичен резултат може да се получи с помощта на колектор с 3 m². В най-лошите дни, с голяма облачност за получаване на такова количество топлина ще е необходим колектор с площ 10 m². Ако се използва колектор с площ 10 m², то излишната площ ще бъде безполезна за по-голямата част от времето. При хубаво слънчево време допълнителната площ не дава никакви преимущества. Напротив при висока температура ефективността на колектора рязко пада.

3. Анализ на резултатите и изводи

Най-удобният акумулатор в слънчевите термични системи е самата вода. За съхраняване на водата обикновено се използва бойлер, пресметнат с двудневен запас. На 1 m² от слънчевия колектор съответстват между 50 - 100 dm³ от обема на акумулатора.

Топлинната ефективност на термичните слънчеви системи за гореща вода зависи от правилния избор и температурното разпределение в топлинния акумулатор и се влияе от дебита на водата в колекторния кръг. При висок дебит на водата в колекторния кръг се увеличава коефициента на отвеждане на топлина и се повишава К.П.Д. на колекторите, ако се разглеждат като отделни съоръжения. Това е установено от нас при множеството тестове на слънчеви колектори реализирани на "Стенд за тестване на водни" с който разполага ЦЛ СЕНЕИ – БАН. От своя страна високия дебит в колекторния кръг води до пълна смяна на водата в акумулатора за кратък период от време и предизвиква смесване на слоевете. Ако се намали дебита в колекторния кръг на изхода от колекторите се получава по-висока температура и се увеличава стратификацията, което подобрява общата работоспособност на слънчевата система. Избора на дебита в колекторния кръг трябва да се прецени внимателно в зависимост от избора на топлинното акумулиране и от размера на акумулатора.

Литература

1. Бекман, Г., П. Гилли. Тепловое аккумулирование энергии. М., Мир, 1987.
2. Спасов, К., М. Балабанов, А. Станков. Проектиране и конструиране на топлинни слънчеви инсталации. Техника, София, 1988.
3. Стамов, Ст. Н. Алексиев, К., Шушулов и др. Справочник по отопление, топло- и газоснабдяване, II част. Техника, София, 2000.
4. Duffie J. A., W. A. Beckman. Solar engineering of thermal processes, New York, 1991.

CALCULATIONS FOR THE WATER ACCUMULATOR OF AN ACTIVE SOLAR THERMAL SYSTEM

Maya Stoyanova¹, Liliana Takeva², Rumens Stoykov³
^{1,3}CL SENES – BAS, ²University of Forestry – Sofia, Bulgaria

ABSTRACT

Recently in Bulgaria energy efficiency (EE) and renewable energy sources (RES) become topics of the present day as inseparable part of the European Program for Sustainable Development. Rational energy usage and RES application in the manner of life bring both economic and ecological benefits. The choice of an optimal solution for the energy supply in a building nowadays includes Sun as a renewable source. Active solar systems for hot water supply have proved their avenues for up to 15% lower current energy costs in households. The potential of such a system depends on the right choice and the correct calculation of the separate elements in it.

The aim of the present work is to demonstrate a way for calculation of a solar water collector in a thermal system in accordance with customer needs and type of collectors selected. The influence of the function of solar radiation accumulation is established as a result of the periodical and random character of the energy source behavior.