

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОПТИМАЛНИЯ АКУМУЛИРАЩ ОБЕМ В ТОПЛИННИ СЛЪНЧЕВИ СИСТЕМИ

Мерима Златева

DETERMINATION OF THE OPTIMAL STORAGE VOLUME IN THERMAL SOLAR SYSTEMS

Merima Zlateva

ABSTRACT: The article presents the results of the research and analysis of the impact of some major construction and operational parameters of thermal solar systems on the conversion efficiency of the solar radiation into heat. The criteri solar fraction and efficiency, as well as well specific annual energy, conversed by the system, were used for long-term evaluation. With the help of the financial analysis, concerning the maximal net present value, the optimal specific storage tank volume by replaced energy electricity and some specific profiles of daily consumption was determined.

Въведение

Нестационарните и динамични условия, при които работят топлинни-те слънчеви системи, както и многообразието от фактори, влияещи върху тяхното поведение, налагат необходимостта от дефиниране на критерии за дългосрочна оценка на ефективността им, чиито оптимални стойности са предпоставка за избор на конструктивните параметри на елементите им.

За дългосрочна оценка на работата на системите е възможно да бъдат използвани три критерия, дефинирани в годишен аспект:

- Коефициент на покритие F_p , отразяващ частта от необходимия топлинен товар, която се осигурява от слънчевата система:

$$F_M = \frac{\sum_{i=1}^{12} (F_M \cdot Q_{D_i})}{\sum_{i=1}^{12} Q_{D_i}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

където $F_M = \left(\frac{Q_{SS}}{Q_D} \right)_{\text{месец}}$ е месечният коефициент на покритие;

Q_{SS} - месечно оползотворена от консуматора слънчев енергия, kWh/месец;

Q_D - месечен топлинен товар, kWh/месец;

• Ефективност η_{SS} , отчитаща отношението на усвоената от консуматора енергия към попадналата върху колекторното поле:

$$\eta_{SS} = \frac{\sum_1^{12} (F_M Q_M)_i}{\sum_1^{12} Q_{CA,i}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

където Q_{CA} е месечно попадналата върху колекторното поле слънчева радиация, kWh/месец.

• Специфичен добив q_{SS} , kWh/m², определен като отношение на преобразуваната от системата топлина към повърхнината на колекторното поле A_{CA} :

$$q_{SS} = \frac{\sum_1^{12} (F_M Q_M)_i}{A_{CA}} \quad (3)$$

Обемът на топлинния акумулатор и размерът на колекторното поле са корелирани конструктивни параметри на системите със съществено влияние върху ефективността на преобразуване на слънчевата радиация. Изследвания на лабораторията на университета във Wisconsin – Madison (1) върху системи за обезпечаване на битово горещо водоснабдяване на еднофамилни сгради с дневна консумация между 300 и 400 l доказват, че оптималният обем на топлинния акумулатор е равен на дневния разход на гореща вода, като отношението на обема му VST към повърхнината

ACA на колекторното поле е $v_{ST} = \frac{V}{A_{CA}} = [50 \div 80] l/m^2$.

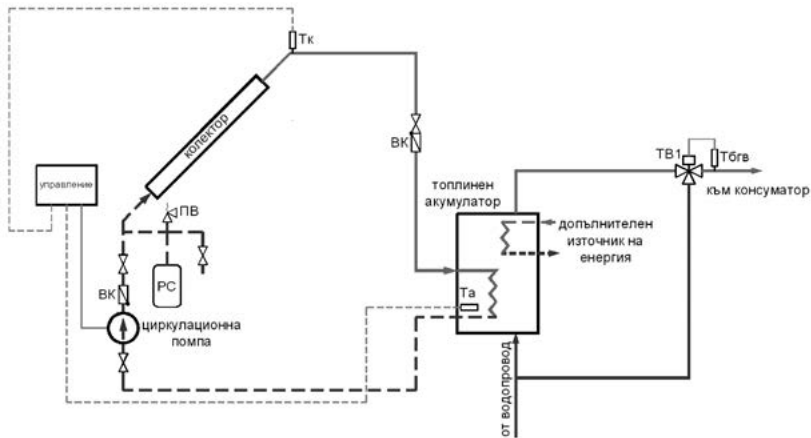
Анализ на влиянието на обема на топлинния акумулатор

Влиянието на специфичния обем на топлинния акумулатор върху критериите за дългосрочна ефективност е изследвано чрез числено моделиране на система за загряване на топлоносител за битово горещо водоснабдяване с индиректна схема (фигура 1). Приетата дневна консумация на гореща вода е 320 l/d. Температурата на горещата вода се регулира в интервала [35 √ 35], а максимално допустимата температура в топлинния акумулатор е 90 °C. С трипътния смесителен вентил TB1 се гарантира

защита от изгаряне при висока температура на зареждане в акумулатора. Топлоносителят в кръга на слънчевите колектори е воден разтвор на течност с ниска температура на замръзване, чиято концентрация зависи от климатичните условия, при които се експлоатира системата. Базовите конструктивни параметри на изследваната система са:

- Площ на абсорбиращата повърхнина: $A_{sc} = 13,4\text{m}^2$;
- Оптична ефективност на слънчевите колектори: $FR(\tau, \alpha) = 0,821$;
- Коефициент на топлинни загуби на слънчевите колектори $F_R U_L = 3,7\text{ W/m}^2\text{K}$;
- Ъгъл на слънчевите колектори спрямо хоризонта: $\beta = 42^\circ$;
- Специфичен дебит в колекторния кръг: $m_{sc} = 22\text{ kg/h}$

Изследването е проведено с програмен продукт Transol for Windows (2) за динамична симулация при климатичните условия на гр. София. Месечните температури на загряваната студена вода са определени чрез усредняване на реално регистрирани и усреднени стойности за петгодишен период и са заложили като изходни данни в програмния продукт.



фигура 1 Индиректна система с вграден в акумулатора топлообменен апарат

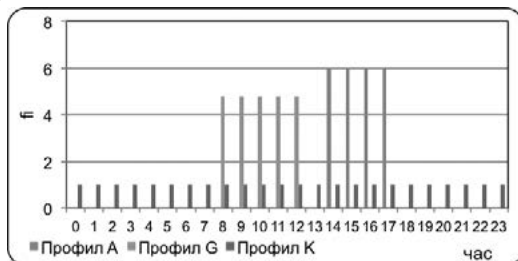
ВК – възвратна клапа, ТВ1 – трипътен смесителен вентил, РС – разширителен съд, ПВ – предпазен вентил

В изследването е направена оценка на влиянието на специфичния обем на топлинния акумулатор v_{ST} [1/m²] върху годишния коефициент на покритие F_p , ефективността η_{ss} и специфичния добив q_{ss} на системата при различни дневни профили на потребление на гореща вода.

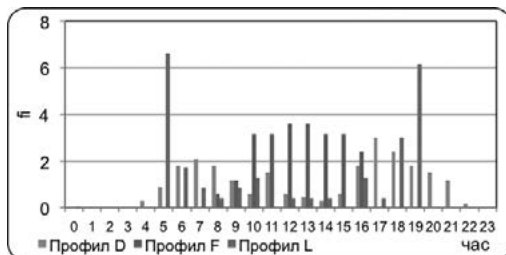
Разгледани са 6 профила на дневно потребление на гореща вода (фигура 2 и фигура 3). На ординатната ос на графиките е представен часовият коефициент на консумация $f_{h,i}$, определен със зависимостта:

$$f_{h,i} = \frac{24 \cdot m_i}{\sum_{i=0}^{23} m_i}, \quad (4)$$

където m_i е разходът на гореща вода за часа i .



фигура 2 Дневен профил на консумация на гореща вода (константни профили)



фигура 3 Дневен профил на консумация на гореща вода (динамични профили)

Разпределенията А, G и K характеризират режими на потребление с постоянен дебит в съответните часови интервали. Разпределение F е дефинирано (1) като пропорционално на дневния ход на интензитета на слънчевата радиация. Разпределение D (RAND) е прието като основно от стандарта на NBS – USA, а L – като типично за европейските условия.

Годишният коефициент на покритие при изменение на специфичния обем на топлинния акумулатор в интервала $vST = [50 \sqrt{275}]l/m^2$ за дневните профили с постоянно потребление е показан на фигура 4, а за тези с динамично потребление – на фигура 5. При профил А темпът на нарастване на коефициента на покритие $F_r = f(v_{st})$ е силно изразен, като се изменя от 39 % при $v_{st} = 501/m^2$ до максималната стойност 52 % при $v_{st} \geq 1751/m^2$. При останалите профили с константно потребление също се

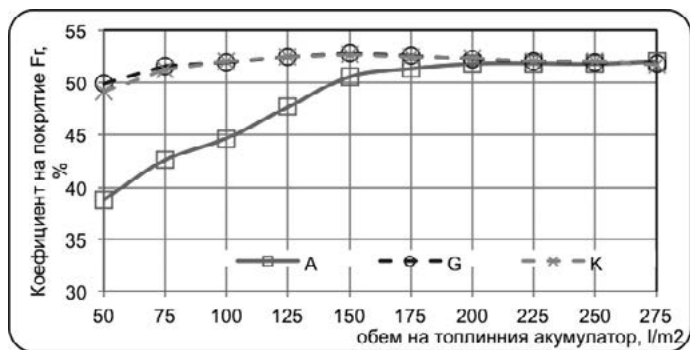
установява подобен характер на изменение, но темпът на нарастване е значително по-слабо изразен. За тези профили също се установява незначително намаляване на F_r (около 1 %) при $v_{st} \geq 1751/m^2$ (профил G), и $v_{st} \geq 2501/m^2$ (профил K). Подобна е и установената тенденция на изменение на $F_r = f(v_{st})$ и при динамичните профили на потребление, като най-ясно тя е изразена при профил F, при който $\max \{F_r = f(v_{st})\}$ се достига при $v_{st} \geq 1751/m^2$. Максимални стойности на F_r за останалите динамични профили се достигат при $v_{st} = 1001/m^2$ (профил L), и $v_{st} = 1501/m^2$ (профил D).

Очакваната тенденция за нарастване на ефективността на системата с увеличаване на v_{st} се потвърждава при всички изследвани профили с постоянно и динамично потребление, като най-ясно тя е изразена при профил A (фигура 6) и профил F (фигура 7). При тях нарастването на ефективността:

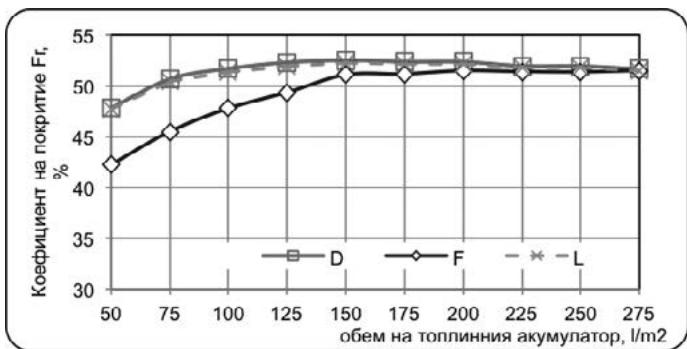
$$\eta_{SS} = \frac{\eta_{max} - \eta_{min}}{\eta_{min}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

възлиза на 75 % (профил A) и 59 % (профил F). В (5) с η_{min} и η_{max} са означени ефективностите при $v_{st} \geq 50 l/m^2$ и $v_{st} \geq 2751/m^2$.

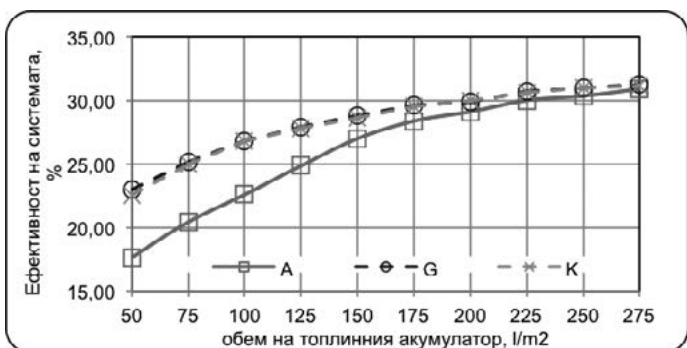
Подобен характер има и установената тенденция на изменение и процентно увеличение на специфичния добив q_{SS} на системите (фигура 8 и фигура 9).



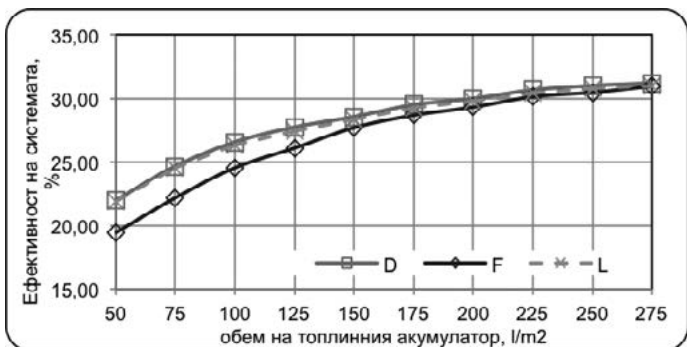
фигура 4 Годишен коефициент на покритие при дневни профили с постоянно потребление



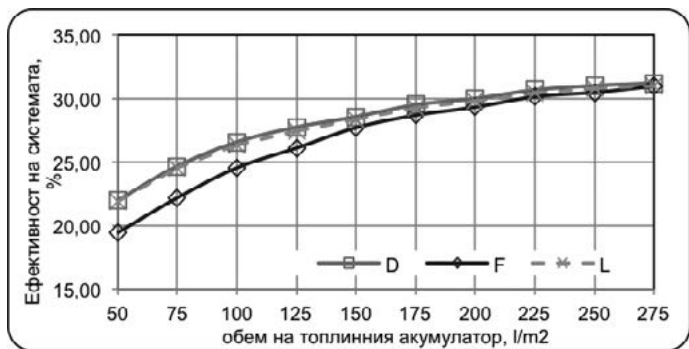
фигура 5 Годишен коефициент на покритие при дневни профили с динамично потребление



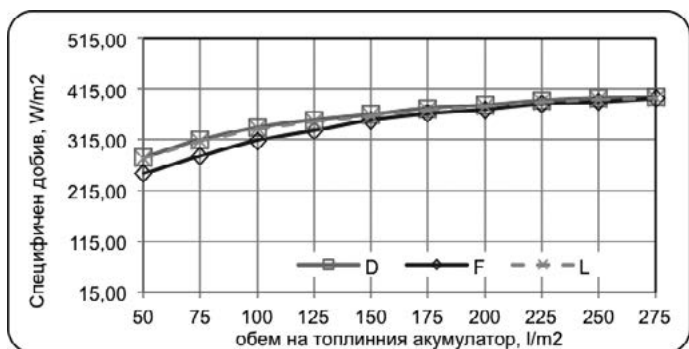
фигура 6 Годишна ефективност на системата при дневни профили с константно потребление



фигура 7 Годишна ефективност на системата при дневни профили с динамично потребление



фигура 8 Годишен специфичен добив на системата при дневни профили с константно потребление



фигура 9 Годишен специфичен добив на системата при дневни профили с динамично потребление

Оптимален обем на топлинния акумулатор

Установеният чрез проведеното изследване характер на изменение на факторите F_r , η_{ss} и q_{ss} показва, че те не могат да бъдат използвани като еднозначни критерии за оптималност на параметрите на системите. Би следвало да се очаква, че нарастването на специфичния обем над определена стойност обуславя слабо нарастване на q_{ss} , при съществено увеличаване на необходимите инвестиции за изграждане на системата. От друга страна, нестационарните експлоатационни условия, при които работят слънчевите топлинни системи, дължащи се както на динамиката на метеорологичните фактори, така и на дневния профил на потребление, налагат необходимостта, при синтеза на техническите им параметри да се търси оптимизация между степента на оползотворяване на слънчевата радиация и необходимите за изграждането им инвестиционните

разходи.

Като достоверен критерий за избор на оптимални технически параметри на системите би могъл да бъде използван факторът на нетна настояща стойност NPV. В представеното изследване за определяне на оптималната стойност $v_{ST,opt}$ е търсен екстемумът на функцията:

$$NPV = f(v_{ST}) = B \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} - I_a(v_{ST}) \cdot \text{лв.} \quad (6)$$

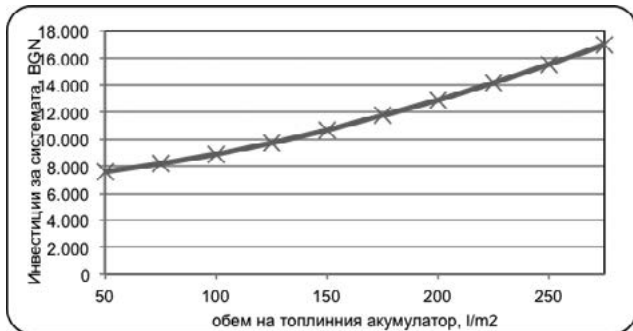
където B е годишният финансов еквивалент на оползотворената слънчева радиация;

r – реален лихвен процент;

n – технически срок на експлоатация на системата;

$I_a(v_{ST})$ - необходими инвестиционни разходи за изграждане на системата

Необходимите инвестиции $I_a(v_{ST})$ за изграждане на системата са показани на фигура 10, а годишните спестявания са определени при замествана енергия електричество, реален лихвен процент $r = 2,5\%$ и технически срок на експлоатация на системата $n=15$ г.



фигура 10 Цена на системата в зависимост от специфичния обем на топлинния акумулатор

Показаният на фигура 11 характер на изменение на нетната настояща стойност и установените с висок коефициент на множествена корелация зависимости от втори ред за изследваната функционална зависимост $NPV = f(v_{ST})$ потвърждава очакването за съществуване на оптималната стойност $v_{ST,opt}$, определена от условието:

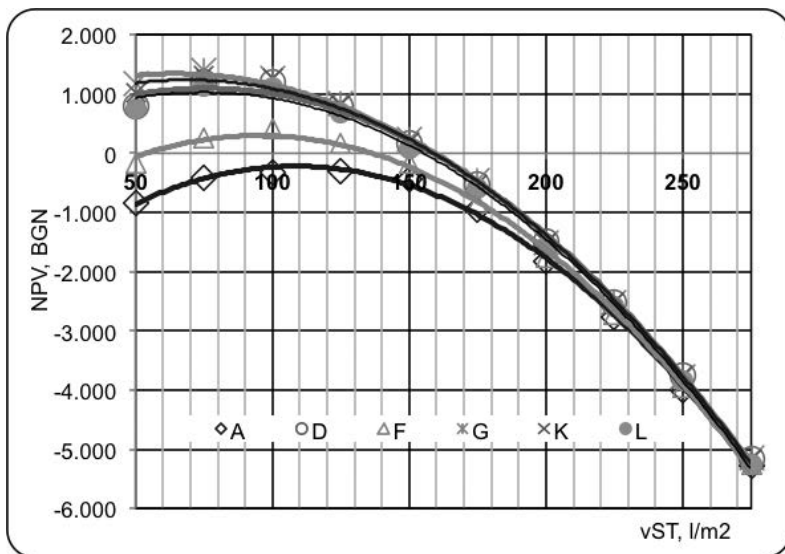
$$\frac{d(NPV)}{d(v_{st})} = 0 \quad (7)$$

Получените стойности на $v_{ST,opt}$, изпълняващи условие (7), както и максималната нетна настояща стойност NPV_{max} за разглежданите дневни профили на потребление са обобщени в таблица 1.

Заклучение

От сравнителния анализ на получените резултати могат да бъдат направени следните изводи:

- При дневен профил на потребление А и приетите изходни финансови параметри нетната настояща стойност е отрицателна за целия интервал на изменение на v_{ST} .
- За профили D и L максимална стойност на $NPV = 1031 \sqrt{1099}$ BGN се установява при специфичен обем на топлинния акумулатор $v_{ST,opt} = 75 \text{ l/m}^2$
- За профили G и K се постигат по-високи стойности - $NPV_{max} = 1345$ BGN (профил G) и $NPV_{max} = 1239$ BGN (профил K) при по-малък специфичен обем - $v_{ST,opt} = 64 \text{ l/m}^2$ (профил G) и $v_{ST,opt} = 69 \text{ l/m}^2$ (профил K).
- Най-малка е нетната настояща $NPV_{max} = 299$ BGN стойност при дневно потребление, съответстващо на профил F, за което $v_{ST,opt} = 95 \text{ l/m}^2$.



фигура 11 Нетна настояща стойност на инвестициите

таблица 1 Оптимални стойности на специфичния обем на топлинния акумулатор и максимална нетна настояща стойност на инвестициите при заместващ източник електричество

Профил	A	D	F	G	K	L
$v_{ST,opt}$ l/m ²	108	76	95	64	69	75
NPV_{max} BGN	-220	1099	299	1345	1239	1031

Получените резултати и анализи могат да бъдат приети за достоверни при приетите в изследването технически и финансови параметри. Представеният в статията подход може да бъде използван за определяне на оптималните технически параметри на топлинни слънчеви системи и за оценка на ефективността на вложените за изграждането им инвестиции.

Литература

- [1] Sistems Avancats d'Energia Solar Termica, S. a. C., n.d. Transol for Windows. s.l.:s.n.
 - [2] Калоянов, Н., 1989. Анализ и синтез на нископотенциални комбинирани системи. Дисертация за получаване на научната степен «Доктор». София: ВМЕИ.
- доц. д-р инж. Мерима Златева, Технически университет София, 02 965 2209, mzlat@tu-sofia.bg