

## Конструкции на латентни топлинни акумулатори, приложими в соларни топлинни инсталации с битово и индустриално предназначение

Анастас Стоянов, Стефан Недев

**Constructions of latent heat accumulators using in solar thermal systems with domestic and industrial purpose:** Discussed the development prospects of the elements constitute the solar thermal installations using phase change materials (PCMs) in them. Below are the innovative solar collectors using PCM into their design. Indicated the possibility of building solar thermal installations using schemes includes latent heat accumulators based on PCMs.

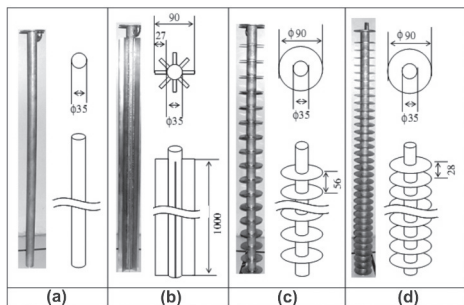
**Key words:** Phase-change material systems, latent heat.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Слънцето е стационарен източник на енергия с променяща се радиация през деня. Постъпващата енергия в топлинните соларни инсталации не съответства на времето за нейната консумация. За преодоляване на несъответствието е нужно да се акумулира топлинна енергия получена от соларните колектори. Ефективен метод за съхраняването ѝ е под формата на латентна топлина в топлинните акумулатори, в чиято конструкция са интегрирани материали с промяна на фазовото им състояние (МПФС). Тези МПФС съхраняват 5-14 пъти повече топлина за единица обем спрямо материалите за съхранение на чувствителна топлина. Изборът на МПФС за конкретното приложение зависи от работната температура, която трябва да съответства на температурата на фазовия им преход. Латентната топлина на използваните МПФС трябва да е максимална за единица обем с оглед намаляване физическите размери на съдържащите ги контейнери.

### КОНСТРУКЦИИ НА ЛАТЕНТНИ ТОПЛИННИ АКУМУЛАТОРИ И КОНТЕЙНЕРИ ЗА СЪХРАНЕНИЕ НА МПФС

МПФС рядко могат да бъдат поставени директно в латентните топлинни акумулатори, поради което те се поставят в специално проектирани и съобразени с цялостната конструкция на топлинния акумулатор контейнери. Редица автори изследват влиянието на геометричната форма на използваните в латентните акумулатори контейнери съдържащи МПФС. Обикновено се разглеждат две основни форми на контейнери: правоъгълна и цилиндрична.



Фиг. 1. Конструкции на често използвани в топлинните акумулатори контейнери за МПФС [8]

На фиг.1 е показана схема на често използваните в различни разработки и изследвания конструкции на контейнери за МПФС прилагани в латентните топлинни акумулатори [8].

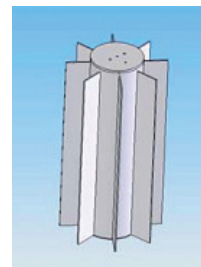
На фиг.1а е показана единична тръба използвана като контейнер, двустранно затворена по подходящ начин.

На фиг.1б е показана конструкция на контейнер с вертикални правоъгълни ламели по цялата му дължина.

На фигури 1с и 1д са показани конструкции на контейнери с хоризонтални

кръгови ламели, съответно 17 и 34 на брой. В резултат на проведените от авторите изследвания се достига до извода, че увеличаването на площта на топлообменната повърхност между МПФС и водата е важен фактор за увеличаване трансфера на топлина между тях.

Конструкция на контейнери за МПФС с вертикални ламели използвани в изследванията на Castell et al. е показана на фиг.2 [5]. Разработени са два вида контейнери с еднаква височина от 310 mm и широчина на ламелите съответно 20 mm и 40 mm. Контейнерите и от двата вида имат по 8 външни ламела. При това положение при 20 mm ширина на ламелите се осигурява 28,45% увеличение на контактната повърхност между контейнера и затопляната вода. При ширина на ламелите от 40 mm се увеличава контактната повърхност с 44,28%. Потвърждава се извода, че използваните контейнери с вертикални ламели отдават по-бързо акумулираната в МПФС топлинна енергия.

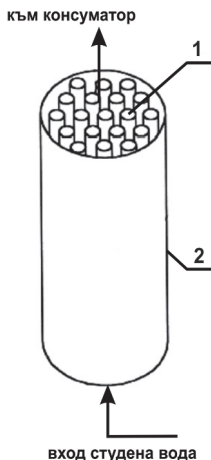


Фиг. 2. Контейнер за МПФС с вертикални ламели [5]

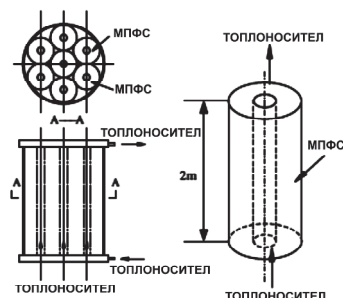
Buschle et al. разработват и изследват икономически ефективни топлинни системи, използващи МПФС [3]. Разработените от тях системи използват макрокапсулирани МПФС. Капсулите могат да са гъвкави или твърди. Устойчиви на налягане тръби пълни с МПФС са показани на фиг.3. Тези тръби са с външен диаметър 25 mm и дължина 500 mm, като са заварени от двете страни. Поради температурното разширение и отделянето на газове при промяна на фазовото състояние на МПФС в капсулите изисква да се осигури свободен обем от 20%.



Фиг. 3. МПФС в запечатани тръбни контейнери [3]



Фиг. 4. Конструкция на топлинен латентен акумулатор [2]



Фиг. 5. Конструкция на топлинен латентен акумулатор на Esen [6]

Най-общо латентните топлинни акумулатори съдържат следните основни компоненти:

- подходящ МПФС с точка на топене в желаната стойност на работната температура на акумулатора;
- подходящ топлообменник;

➤ подходящ контейнер за МПФС изработен от материал съвместим с тях;

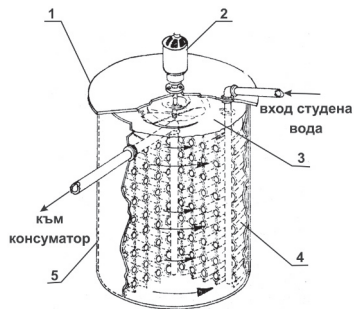
В тези топлинни акумулатори МПФС се загряват в частта от денонощието през която има слънчева енергия. При това в МПФС се акумулира енергия под формата на латентна топлина на фазовия преход. В частта от денонощието без слънчева радиация се използва енергията акумулирана в МПФС. Придаването на топлина на латентни топлинни акумулатори се извършва чрез използване на въздух, вода или друг вид междинен топлоносител.

Цилиндричен топлинен акумулатор с МПФС, показан на фиг.4 е използван в затворени топлинни системи с плосък соларен колектор. Той е изследван теоретично от Bansal и Buddhi, като са разгледани режимите на зареждане и разреждане [2]. При него различни МПФС са поставени в затворени цилиндрични тръбни контейнери 1, разположени в общия обем на акумулатора 2. Използваните МПФС са парафин и стеаринова киселина.

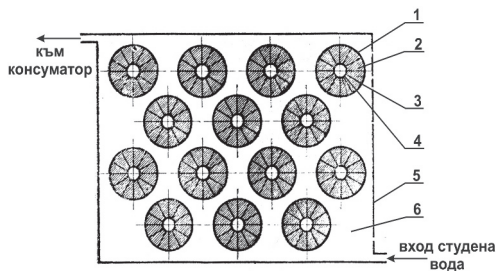
Конструкция на латентен топлинен акумулатор е разработена и изследвана от Eсен и Ayhan и е показан на фиг.5 [6]. При него се използват 7 броя пръстеновидни контейнери образувани от два цилиндъра, поставени един в друг. Използваният като МПФС  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  се намира в пространството между двата цилиндъра на контейнера. Топлоносителят преминава както покрай външния цилиндър, така и през вътрешния цилиндър.

На фиг.6 е показана конструкция на латентен топлинен акумулатор зареждан от течен топлоносител [1]. Като МПФС е използван  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Съдът на топлинния акумулатор 5 е затворен с разглобяем капак 1, към който са монтирани двигател и перка на бъркалката 2. В съда на акумулатора е поставен полимерен топлообменник 4, а обемът му е запълнен със соловия хидрат 3.

Конструкция на топлинен акумулатор с оребрени тръби и с отделни циркуляционни контури за придаващия и отнемащия топлина флуид е показана на фиг.7 [1]. Тази конструкция дава възможност за едновременно топлинно зареждане и разреждане на акумулатор 5. Всеки елемент съдържа вътрешна 4 и външна 1 тръба, които са в топлинен контакт чрез дълги алуминиеви ребра 3. МПФС 2 се намира в обемите между ребрата, а подгряваната вода 6 се намира в обема на топлинния акумулатор.



Фиг. 6. Акумулатор на латентна топлина с хомогенизираща соловия хидрат бъркалка [1]

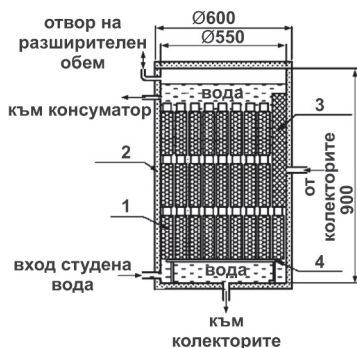


Фиг. 7. Акумулатор на латентна топлина с оребрени пръстени [1]

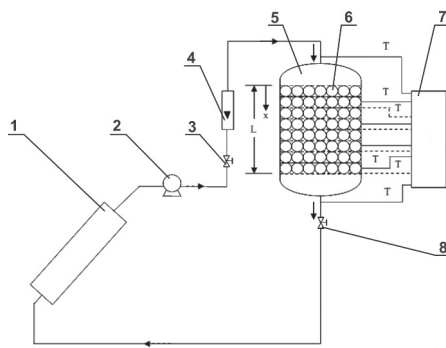
На фиг.8 е показана друга конструкция на цилиндричен латентен топлинен акумулатор използващ МПФС [8]. Като МПФС е използвана смес от 90% натриев ацетат-трихидрат и 10% графит. Този акумулатор е подходящ за свързване в затворени системи с естествена циркулация. Като топлоносител се използва вода от топлоизолирания латентен акумулатор 2, която се подгрява в соларните колектори и

отново се връща в акумулатора. От колекторите водата преминава през фин метален филтър 3. В долната част на съда на акумулатора е разположена решетка 4, поддържаща контейнерите с МПФС 1.

Velraj и Nallusamy изследват показаната на фиг.9 експериментална установка [10]. Топлинната система се състои от изолиран цилиндричен топлинен акумулатор 5, към който се придава топлина от плосък соларен колектор 1. Движението на топлосителя се осъществява чрез циркуляционната помпа 2, през водомер 4 и вентили 3 и 8. Топлинният акумулатор 5 е с обем 48 l изработен от корозионноустойчива стомана. Диаметърът му е 360 mm, а височината е 470 mm. Целият акумулатор е изолиран чрез стъклена вата с дебелина 50 mm. В акумулатора е поставен капсулиран МПФС в сферични капсули 6 с външен диаметър 55 mm от полиетилен с висока плътност (HDPE), образуващ капсула с дебелина на стената от 0,8 mm.



Фиг. 8. Конструкции на цилиндричен латентен топлинен акумулатор МПФС [8]



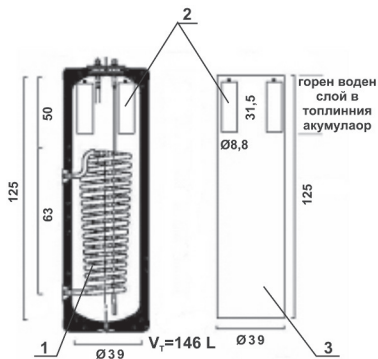
Фиг. 9. Схема на изследвана соларна топлинна система [10]

Общият брой капсули 6 в така конструирания латентен топлинен акумулатор е 264. Тези капсули са равномерно пакетирани в 8 слоя, като всеки слой е опакован от телена мрежа поддържаща целостта на пакета. Капсулите 6 заемат 51% от общия обем на топлинния акумулатор. В качеството на МПФС се използва парафин с температура на фазовия преход  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  и латентна топлина на прехода от 213 kJ/kg. Чрез изменение броя капсули в акумулатора се влияе върху количеството акумулирана топлинна енергия и топлообменна площ между капсулите с МПФС и водата. За получаване на експериментални резултати в схемата е включен температурен индикатор 7, отчитащ температурата в различните слоеве на капсулите чрез температурните сензори Т.

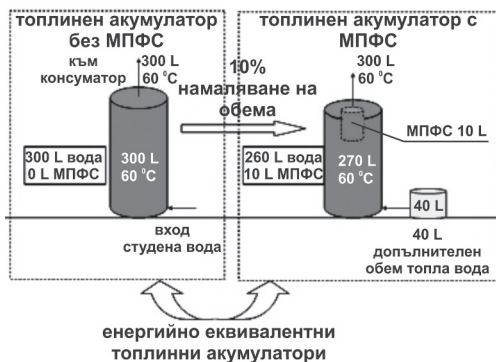
Времето за топлинно зареждане на акумулатора с МПФС намалява с намаляване броя на капсулите, тъй като намалява и масата на използвания МПФС в топлинния акумулатор. Тази система акумулираща латентна топлина е разработена за използване на топла вода при средна температура от  $45^\circ\text{C}$ , достатъчна за домашни и някои промишлени приложения.

Solé et al. изследват системи за съхранение на топлинна енергия, съдържащи латентни топлинни акумулатори използващи МПФС (фиг.10) [4,9]. Използвани са 1,5 l контейнери за МПФС 2 поставени в топлинния акумулатор 3 и съдържащи общо 4,3 kg МПФС. Междинния топлосител е смес от гликол и вода.

Като МПФС е използван 90% натриев ацетат и 10% графит, с температура на фазовия преход  $58^\circ\text{C}$ . От проведените експерименти е направен анализ за постигнатото намаляване на обема на топлинните акумулатори чрез използване на МПФС в тях.



Фиг. 10. Схема на топлинен акумулатор с контейнери с МПФС [9]



Фиг. 11. Схема на топлинен енергиен еквивалент между топлинни акумулатори с и без използване на МПФС в тях [9]

На фиг.11 са показани резултати, получени при анализ на топлинен акумулатор имащ обем 300 l. Ако топлинния акумулатор се източи напълно, той може да осигури 300 l вода с температура 60°C. Топлинно еквивалентен на него е латентен топлинен акумулатор с общ обем 270 l, от който 10 l се заема от МПФС в контейнери разположени в горната му част. Това означава, че обемът на топлинния акумулатор е 260 l, като и двата топлинни акумулатора имат еднакъв диаметър. Той също осигурява 300 l вода с температура от 60°C. По този начин МПФС отдава латентна топлина при промяна на фазовото си състояние достатъчна да загрее 40 l вода до 60°C, която се отдава към консуматора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като резултат от множеството проведени експериментални изследвания може да се заключи, че използването на топлинни акумулатори съхраняващи латентна топлина в соларните топлинни инсталации с битово и индустриално приложение е съвременна технология, която позволява да се осигурява топла вода за дълги периоди от време, дори и без външна доставка на енергия. Инсталациите с латентни топлинни акумулатори използващи МПФС са от 2,59 до 3,45 пъти по-ефективни от тези, използващи акумулатори съхраняващи чувствителна топлина [7].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бекман, Г., П. Гили, Акумулатори на топлина, Техника, София 1988.
- [2] Bansal, K., D. Buddhi, An analytical study of a latent heat storage system in a cylinder. Solar Energy 1992;33(4):235–42.
- [3] Buschle, J., W. Steinmann, R. Tamme, Latent heat storage for process heat applications, Ecstock 2006.
- [4] Cabeza, L., M. Ibanez, C. Sole, J. Roca, M. Nogues, Experimentation with a water tank including a PCM module. Sol Energy Mater Solar Cells 2006;90:1273–82.
- [5] Castell, A., C. Solé, M. Medrano, J. Roca, L. Cabeza, Use of external vertical fins in phase change materials modules for domestic hot water tanks, Ecstock 2006.
- [6] Esen, M., Ayhan, T., 1996. Development of a model compatible wit solar-assisted cylindrical energy storage tank and variation of stored energy with time for different phase change materials. J. Energ. Convers. Manage. 37 (12), 1775–1785.
- [7] Esen, M., 2000. Thermal performance of a solar-aided latent heat store used for space

heating by heat pump. J. Sol. Energ. 69 (1), 15–25.

- [8] Kenisarin, M., K. Mahkamov, Solar energy storage using phase change materials, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007), pp. 1913–1965.
- [9] Solé, C., M. Medrano, M. Nogués, J. Roca, L. F. Cabeza, Economic, energetic and exergetic study of a water tank including PCM modules inside, Ecostock 2006.
- [10] Velraj, R., N. Nallusamy, Experimental investigation on a combined sensible and latent heat storage unit integrated with solar water heating system, Ecostock 2006 .

**За контакти:**

Гл.ас. инж.физик Стефан Радев Недев, факултет „Физика и инженерни технологии“, катедра „Методика на обучението по физика“, ПУ”Паисий Хилендарски“, GSM: +359896843191, e-mail: [stefan.nedev@mail.bg](mailto:stefan.nedev@mail.bg)

**Докладът е рецензиран.**