

Изследване на слънчева термична инсталация с допълнителен енергиен източник термopомпа „вода-вода”

Валентин Бобилoв, Пенчо Златев, Живко Колев,
Пламен Мушаков, Георги Генчев

Investigation of Solar Thermal Installation with Auxiliary Energy Source Heat Pump Water-Water: In this material is presented the scheme of laboratory solar thermal installation with auxiliary heat source reversible heat pump water-water. The solar collectors and heat pump are connected in series with two heat storages between them. Basic equations for determining the effectiveness of the solar thermal installation and COP of the heat pump are presented. The investigation of this installation will cover five different working modes of operations.

Key words: Solar thermal installation Investigation; Coefficient of Performance; Reversible water-water Heat Pump; laboratory Solar Thermal and Heat Pump Installation.

ВЪВЕДЕНИЕ

Слънчевите термични инсталации намират приложение в различни технологични процеси, като: приготвяне на вода за битови нужди; сушене; отопление; климатизация и др. Изграждането на инсталации използващи енергията на слънцето налага да се отчитат множество параметри най-важните, от които са стохастичният характер на слънчевото излъчване, режимните параметри и не на последно място икономическите параметри.

Стохастичният характер на слънчевото излъчване налага в този тип инсталации да се предвиди акумулатор на получената топлинна енергия от слънцето, както и допълнителен източник на топлинна енергия.

Алтернатива на допълнителния източник на топлинна енергия представляват термopомпите, тъй като те също използват възобновяема енергия /нископотенциална топлинна енергия от въздуха, земята или подземните води/.

Друго предимство на термopомпите, като допълнителен източник на енергия в сравнение с електрическите котли или котлите работещи на течно или газообразно гориво е техният коефициент на трансформация (coefficient of performance – COP), който в зависимост от вида на термopомпата се изменя в границите от 2 до 6. Освен това при термopомпите има възможност за използване на получената топлинна енергия и за охлаждане, но в тези случаи е целесъобразно да се използват сорбционни хладилни машини, ако искаме да използваме получената топлинна енергия от слънчевата инсталация за охлаждане.

В зависимост от това за какви технологични нужди ще се използва получената топлинна енергия от слънчевата термична инсталация са възможни множество от схемни решения [4]. Енергийните потоци в инсталациите използващи слънчеви термични колектори и термopомпи са представени на фиг. 1 [4].

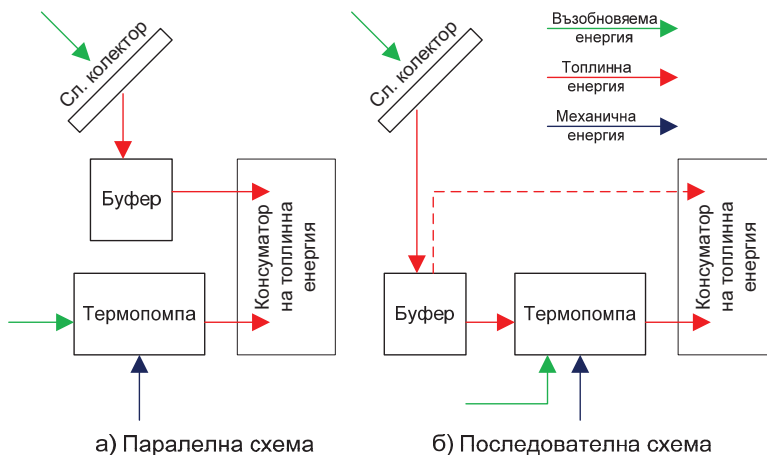
На фиг. 1а) е представена паралелна схема, при която топлинната енергия от слънчевите колектори и термopомпата се подава към консуматора поотделно, т.е. термopомпата може да се разглежда, като независим допълнителен източник на топлинна енергия в инсталацията.

На фиг. 1б) е представена последователна схема, при която изпарителя на термopомпата се захранва с получената топлинна енергия от слънчевите колектори.

При последователната схема на енергийните потоци има възможност за използване на термopомпи експлоатиращи едновременно два различни източника на топлинна енергия, например вода и въздух.

Последователната схема позволява получената топлинна енергия от слънчевите колектори да се използва директно от консуматори или за захранване на термopомпата, в зависимост от това до какви температурни нива ще се загрее

буфера в инсталацията. В зависимост от конкретните изисквания към инсталацията и разполагаемия енергиен ресурс последователната схема позволява управлението на инсталацията да се оптимизира от гледна точка на максимална ефективност на слънчевите колектори или работа с максимален COP на термопомпата.



а) Паралелна схема б) Последователна схема
Фиг.1. Схема на енергийните потоци в комбинирана слънчева термична инсталация с допълнителен източник термопомпа

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Експлоатационни изисквания към слънчева термична нисталация с допълнителен източник термопомпа „вода-вода“

За да работят ефективно слънчевите колектори е необходимо температурата на постъпващия топлоносител в тях да не бъде много по-висока от тази на околната среда, същевременно COP на термопомпата в режим отопление е по висок при по-високи температури на изпарение /COP се увеличава с намаляване на температурната разлика между температурите на кондензация и на изпарение/. Това налага инсталацията да се изгради по последователна схема, т.е. получената топлинна енергия от слънчевите колектори да захранва изпарителя на термопомпата. Недостатък на тази схема е, че в режим охлаждане термопомпата няма да може да използва получената топлинна енергия от слънчевите колектори за да повиши своята ефективност.

Това може да се постигне само, ако в инсталацията се използва сорбционна термопомпа.

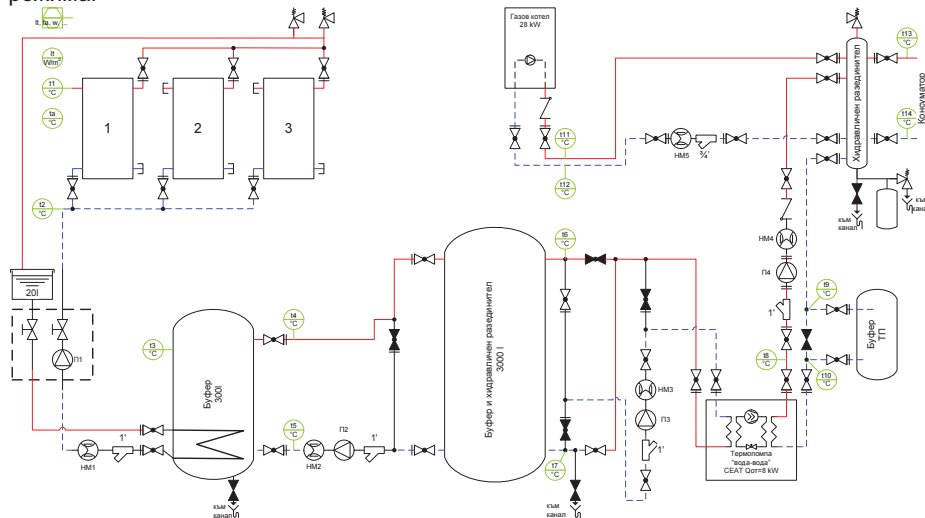
Поради тези причини към инсталацията са поставени изисквания тя да може да работи и в петте основни експлоатационни режима:

- имаме приток на енергия от слънцето, но консуматора не се нуждае от нея и цялото получено количество се запасява в акумулатора;
- консуматора се нуждае от енергия и цялата получена енергия от слънцето се изразходва;
- нямаме приток на енергия от слънцето, но консуматора се нуждае от енергия и тя се консумира от акумулатора;
- нямаме приток на енергия от слънцето, консуматора се нуждае от енергия, но в акумулатора няма запасена енергия и се използва енергия от допълнителния източник;
- консуматорът не се нуждае от енергия, акумулатора е напълно зареден и

имаме приток на енергия от слънцето, което налага да спрем работата на инсталацията или да отведем някъде излишната топлинна енергия.

2. Принципна схема и описание на лабораторна слънчева термична инсталация с допълнителен енергиен източник термопомпа „вода-вода“

На фиг.2 е показана принципна схема на лабораторна слънчева термична инсталация с допълнителен енергиен източник термопомпа „вода-вода“ за изследване на ефективността на инсталацията в петте основни експлоатационни режима.



Фиг.2. Принципна схема на инсталацията

За осигуряване работата на слънчевите колектори в първия експлоатационен режим, когато термопомпата не работи и имаме приток на енергия от слънцето е предвидено да може да се работи само с единия или едновременно с двата буферни съда. По този начин ще може да се постигат различни температурни нива и степен на стратификация в акумулиращите обеми на инсталацията.

Във втория основен експлоатационен режим на инсталацията е предвидено цялата получена топлинна енергия от слънчевите колектори да се съхранява и в двата топлинни акумулатора. По този начин във втория акумулатор ще се осигури възможност за смесване на потока от слънчевите колектори с този от термопомпата. Това ще позволи да се поддържа едно постоянно температурно ниво в долната част на акумулатора, а от там и възможност за запазване ефективността, както на слънчевите колектори така и на термопомпата.

В третия режим на работа е предвидено термопомпата да използва, като източник на енергия топлината запасена в единия или в двата топлинни акумулатора на инсталацията.

В четвъртия режим на работа е предвидено да се използва спомагателен газов котел, който да захранва с топлинна енергия консуматора.

Последният пети експлоатационен режим на работа на инсталацията ще се реализира чрез спиране работата на термопомпата и спиране работата на циркуляционната помпа на слънчевите колектори. При спиране на помпата на слънчевите колектори топлоносителя от колекторите е предвидено да се дренира

обратно в сградата /така наречените дренажни системи drain back/, при което се осигурява пасивна защита от прегряване и замръзване на топлоносителя в слънчевите колектори, както и възможност за работа с вода вместо със смес на гликол и вода.

В инсталацията е предвидено да се използват три селективни плоски слънчеви колектора свързани в паралел по показания на схемата начин. При нужда от промяна на съотношението активна площ на колекторите спрямо акумулиращ обем може да се спират или пускат част от слънчевите колектори.

Консуматорите на топлинна енергия в инсталацията е предвидено да се свържат към термопомпата и газовия котел посредством хидравличен разединител. Също така е предвидено да се изградят топломерни възли за измерване количествата топлинна енергия в схемата в различните експлоатационни режими.

Компресорът на термопомпата не позволява честотно управление на електродвигателя, поради което е предвидено да се монтира допълнителен буфер на връщащата линия към кондензатора на термопомпата имащ за цел да намали броя включения на компресора за един час и по възможност да осигури стационарен режим на работа.

3. Изследване ефективността на инсталацията

За определяне ефективността на работа на инсталацията в различните експлоатационни режими е необходима да се определят ефективностите на слънчевата термична инсталация и на термопомпата.

3.1. Изследване ефективността на слънчевата термична инсталация.

Полезната отведена топлинна енергия от слънчевите колектори може да се пресметне с помощта на следната зависимост (1) [3].

$$\eta = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} m_1 \cdot C_{pm1} \cdot (t_1 - t_2) \cdot d\tau}{Ag \cdot \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_t \cdot d\tau}, \quad (1)$$

Където η е ефективността на слънчевите колектори в инсталацията;

m_1 , [kg·s⁻¹] е масовият дебит на топлоносителя през слънчевите колектори;

C_{pm1} , [kJ·kg⁻¹·K⁻¹] е средният масов специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане при средната температура на топлоносителя $t_{m1} = (t_1 + t_2) / 2$;

t_1 , [°C] е изходящата температура на топлоносителя от слънчевите колектори;

t_2 , [°C] е входящата температура на топлоносителя в слънчевите колектори;

τ_1 , τ_2 , [s] е интервалът от време, през който се изследва инсталацията.

Ag , [m²] е брутната площ на слънчевите колектори и инсталацията;

I_t , [W·m⁻²] е интензивността на слънчевата радиация в равнината на слънчевите колектори.

Измерването на полезно отведената енергия от слънчевите колектори ще става с помощта на топломерния възел НМ1

Интензивността на слънчевата радиация в равнината на колекторите ще се измерва със силициев монокристален фотопреобразувател в режим на работа близък да късо съединение [2] или с помощта на метеорологична станция.

С помощта на метеорологичната станция Vantage Pro2 е предвидено да се измерват интензивността на слънчевата радиация на хоризонтална повърхност, външната температура, скоростта и посоката на вятъра, атмосферното налягане и количеството на валежите.

Точността, с която се измерват основните параметри на метеорологичната станция са:

- Интензивността на слънчевата радиация на хоризонтална повърхност се измерва през интервал от 50 до 60 секунди в интервала от 0 до 1800W/m² с точност ±5%.
- Външната температура се измерва през интервали от 10 до 12 секунди с точност ±0,5°C за температури по-високи от -7°C и с точност ±1°C при температури по-ниски от -7°C.
- Скоростта на вятъра се измерва през интервал от 2,5 до 3 секунди с точност ±5%.
- Посоката на вятъра се измерва през интервал от 2,5 до 3 секунди с точност ±3°.

За да се пресметне интензивността на слънчевата радиация в равнината на слънчевите колектори, като се използват данните за интензивността получени от метеорологичната станция за хоризонтална повърхност е необходимо да се знае тяхното отношение, което се пресмята чрез следната зависимост (2) [4].

$$R_b = \frac{I_t}{I} = \frac{I \cdot \cos \theta}{I \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (2)$$

където R_b е отношението на интензивността на слънчевата радиация на наклонена повърхност спрямо тази на хоризонтална;

I_t , [W/m²] е интензивността на слънчевата радиация в равнината на слънчевите колектори;

I , [W/m²] е интензивността на слънчевата радиация на хоризонтална повърхност;

θ , [°] е ъгълът на падане на директната съставяща на слънчевата радиация спрямо нормалата към равнината на слънчевите колектори;

θ_z , [°] е зенитният ъгълът на падане на директната съставяща на слънчевата радиация спрямо хоризонтална повърхност;

Ъгълите на падане на директната съставяща на слънчевата радиация спрямо нормалата към равнината на слънчевите колектори и спрямо хоризонтална повърхност се пресмятат чрез следните зависимости (3) и (4) [4].

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega, \quad (3)$$

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi, \quad (4)$$

където δ , [°] е деклинацията;

β , [°] е ъгълът на наклон на слънчевите колектори;

φ , [°] е географската ширина;

ω , [°] е часовият ъгъл на слънцето;

γ , [°] е азимутният ъгъл на слънчевите колектори.

Деклинацията на слънцето се пресмята чрез зависимост (5)

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right), \quad (5)$$

където n , е номерът на деня от началото на годината;

3.2. Изследване ефективността на термопомпата.

Абсорбираната от изпарителя и отдадената от кондензатора топлинна енергия

се определят с помощта на основното калориметрично уравнение чрез зависимости (6, 7).

$$Q_3 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} m_3 \cdot C_{pm3} \cdot (t_7 - t_6) \cdot d\tau, [kWh] \quad (6)$$

$$Q_4 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} m_4 \cdot C_{pm4} \cdot (t_8 - t_{10}) \cdot d\tau, [kWh] \quad (7)$$

където $Q_3, [kW]$ е топлината енергия абсорбиран от изпарителя;

$Q_4, [kW]$ е топлината енергия отдаден от кондензатора;

$m_3, [kg \cdot s^{-1}]$ е масовият дебит на топлоносителя от източника на енергия;

$m_4, [kg \cdot s^{-1}]$ е масовият дебит на топлоносителя подаван към консуматора;

C_{pm3} и $C_{pm4}, [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$ са средните масови специфични топлинни капацитети при постоянно налягане при средната температура на топлоносителя $tm_3 = (t_7 + t_6)/2$ и $tm_4 = (t_8 + t_{10})/2$;

$\tau_1, \tau_2, [s]$ е интервалът от време, през който работи термопомпата.

Ефективността на термопомпата се определя чрез зависимост (8) [1]

$$COP = Q_4 / W_{comp}, \quad (8)$$

където $Q_4, [kWh]$ е топлината енергия отдадена от кондензатора;

$W_{comp}, [kWh]$ е електрическата енергия консумирана от компресора на термопомпата.

Измерването на абсорбираната от изпарителя и отдадената от кондензатора топлинна енергия ще става с помощта на топло-студомерите НМ3 и НМ4, показани на фиг.2. Консумираната от компресора на термопомпата електрическа енергия ще се измерва с помощта на електромер.

Топло-студомерите представляват уреди за търговско мерене на енергия и притежават следните основни характеристики:

- Дебит на топлоносителя от 6l/h до 2,5m³/h;
- Точност на измерване на дебита $\pm 2\%$;
- Динамичен обхват на измерване на дебита 1:250;
- Температурен диапазон от 5 до 105°C;
- Стартова температурна разлика 0,125K;
- Минимална температурна разлика 3K;
- Максимална температурна разлика 177K;
- Измервателен интервал от 2 до 16 секунди в зависимост от начина на захранване на уреда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощта на лабораторната слънчева термична инсталация ще може да се изследва ефективността на слънчевите колектори и термопомпата в дългосрочен аспект във всеки един от петте работни режима.

Различните работни режими ще се осъществяват с помощта на байпасните връзки показани на принципната схема на инсталацията, или чрез пускане и спиране

на циркуляционните помпи, или компресора на термopомпата. Чрез байпасните връзки ще може да се променя акумулиращия обем на слънчевите колектори, да се влияе на степента на стратификация, както и на входящата температура на водата в изпарителя на термopомпата.

Изпарителя на термopомпата ще може да се захранва с вода от горния или долния край на големия буфер, като по този начин ще може по точно да се проследи влиянието на температурата върху ефективността на машината.

Лабораторната инсталация ще даде възможност да се извършат различни по своето естество лабораторни упражнения за нуждите на катедрата.

БЛАГОДАРНОСТИ: *Тази работа е част от предвидените дейности по проект № MIS ETC 211: 2 (3i) -3.1-13: „Действия за подкрепа на нови научно-технически партньорства в транс граничната област с цел да обедини бизнеса и научните изследвания, за достъп до Европейски фондове САНДИ”, който е финансиран по Програмата за трансгранично сътрудничество Румъния България 2007– 2013.*

ACKNOWLEDGEMENTS: *This work is a part of the planned activities of the project № MIS ETC 211: 2 (3i) - 3.1-13: “Support Actions to create New RDI partnerships in trans-border area in order to bring together Business and Research for accessing European Funds” which is funded by the Program for cross-border cooperation between Romania and Bulgaria, 2007-2013*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бобилев В., Г. Генчев, Пл. Мушаков, П. Златев, Ж. Колев. Методика за изследване коефициента на трансформация на реверсивна термopомпа „вода – вода”. Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, Русе, 2011
- [2] Златев, П., Д. Ангелов, Г. Карабенчев., Пиранометър за измерване интензивността на слънчевата радиация достигаща земната повърхност. Трудове на научна сесия РУ, Русе, 2002, стр. 97-101, ISBN 1311-3321.
- [3] ASHRAE 93-2003, 2003. Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. ASHRAE, Inc., 1791 Tullie Circle, Ne, Atlanta, GA30329, USA. ISSN: 1041-2336.
- [4] Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2006. Solar Engineering of Thermal Processes, third ed. Wiley.

Докладът е включен в проект по ФНИ:

«Изследване на енергопреобразуващи флуидни системи»

За контакти:

гл. ас. д-р Пенчо Златев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 303, e-mail: pzlatev@uni-ruse.bg

доц. д-р Валентин Бобилев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 844, e-mail: bobilov@uni-ruse.bg

гл. ас. Георги Генчев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 203, e-mail: ggenchev@uni-ruse.bg

гл. ас. Пламен Мушаков, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 304, e-mail: pgm@uni-ruse.bg

гл. ас. д-р Живко Колев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 304, e-mail: zkolev@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.