

## Методика за изследване коефициента на трансформация на реверсивна термопомпа „вода – вода”

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

**Investigation Method of the Coefficient of Performance of Reversible water–water Heat Pump:**  
*In this material an Investigation Method of COP of Reversible water–water Heat Pump in winter and summer work conditions has been proposed. For this aim a laboratory Heat Pump Installation has been developed. An important part of the proposed Method is the comparison between the received COP values and the theoretical COP values by the Carnot’s circle.*

**Key words:** Investigation Method; Coefficient of Performance; Reversible water–water Heat Pump; laboratory Heat Pump Installation.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Термопомпените системи предлагат икономически алтернативи за извличане на топлина от различни източници и използването ѝ за различни индустриални, търговски и жилищни приложения. Тъй, като цената на енергията продължава да расте, е наложително да се намали разхода на енергията и да се подобри цялостната енергийна ефективност.

Ефективното използване на термопомпени системи за такива енергоемки приложения като климатизация и отопление на жилищни квартали, изсушаване на различни продукти и когенерация е от решаващо значение за намаляване консумацията на енергия от традиционните енергоизточници и следователно намаляване количеството на вредните газове в атмосферата. С евентуалното приемане на такси в целия свят за количествата въглероден диоксид, изхвърлени в атмосферата, оптималното използване на енергията ще бъде ключа в много индустриални дейности [2].

С нарастването на цените на горивата и глобалното затопляне, интересът към термопомпените системи непрекъснато се увеличава. Термопомпените системи предлагат едно от най-подходящите решения за намаляване на количеството на вредните емисии в атмосферата [2].

В наши дни подобряването на качеството на живот на хората изисква топлинен комфорт и качество на въздуха в жилищните помещения, независимо от външните условия. За постигане на тези цели се използват термопомпени системи за климатизация [3].

Един от най-важните параметри на термопомпите, отчитащ тяхната ефективна работа е коефициента на трансформация (coefficient of performance – COP). В настоящата работа е представена методика за изследване коефициентът на трансформация на реверсивна термопомпа „вода – вода” в лабораторна инсталация, работеща в режими на отопление и охлаждане. Целта е получените експериментални стойности за COP да се сравнят със стойностите за COP, изчислени по цикъла на Карно.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

#### **1. Обща характеристика на реверсивните термопомпи „вода – вода”**

При реверсивните термопомпи може да се използва топлината на кондензатора (за отопление през зимата) или охлаждането от изпарителя (за охлаждане през лятото).

През зимата коефициентът на трансформация представлява отношение на топлинният поток, получен от кондензатора към мощността на компресора, а през

лятото – отношение на топлинния поток, абсорбиран от изпарителя към мощността на компресора (формули 1) [3].

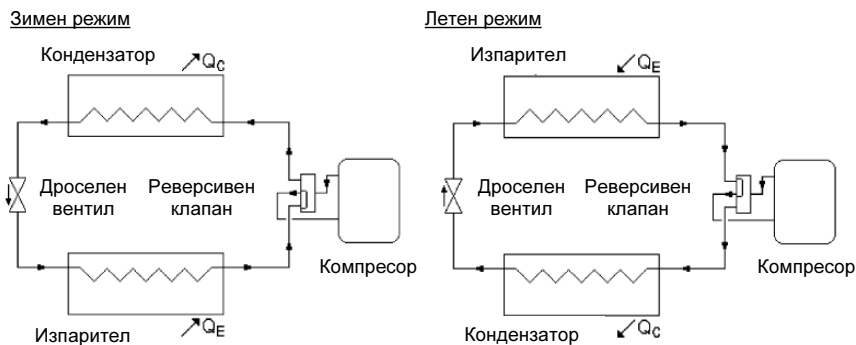
$$\text{COP}|_W = \frac{\dot{Q}_{\text{con}}}{W_{\text{comp}}}|_W = \frac{\dot{Q}_{\text{con}}}{\dot{Q}_{\text{con}} - \dot{Q}_{\text{eva}}}|_W ; \text{COP}|_S = \frac{\dot{Q}_{\text{eva}}}{W_{\text{comp}}}|_S = \frac{\dot{Q}_{\text{eva}}}{\dot{Q}_{\text{con}} - \dot{Q}_{\text{eva}}}|_S, \quad (1)$$

където  $\text{COP}|_W$  е коефициента на трансформация на термопомпата през зимния период;  $\dot{Q}_{\text{con}}$  - топлинен поток, получен на кондензатора на термопомпата, [W];  $W_{\text{comp}}$  - средна мощност на компресора, [W];  $\dot{Q}_{\text{eva}}$  - топлинен поток, абсорбиран от изпарителя на термопомпата, [W];  $\text{COP}|_S$  - коефициент на трансформация на термопомпата през летния период;

COP на термопомпата се увеличава с намаляване на температурната разлика между температурите на кондензация и на изпарение, тъй като по този начин компресора трябва да извърши по-малко работа за да се получи същото количество топлина или студ [3].

Реверсивните термопомпи имат голям потенциал на използване, особено в климатични райони, където зимата не се характеризира с много ниски температури, например в средиземноморските райони [3].

На фиг.1 е показана принципна схема на реверсивна термопомпа. С помощта на реверсивен клапан се обръща посоката на хладилния агент и така двата топлообменника променят ролята си на изпарител и кондензатор [3].



Фиг.1. Принципна схема на реверсивна термопомпа

В реверсивните термопомпи „вода – вода“ топлината се предава от студена вода към топла вода, като топлата или гореща вода може да се използва в системата за целогодишна климатизация и битово – горещо водоснабдяване (БГВ).

Тези термопомпи имат следните недостатъци:

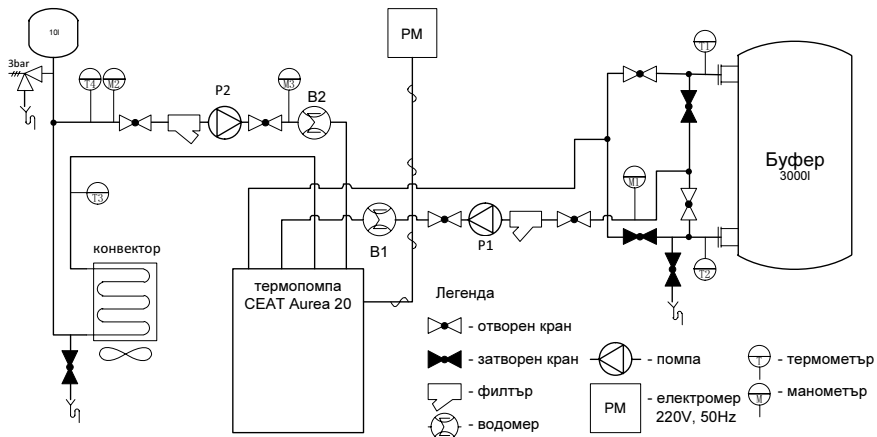
- ▶ Различна годишна ефективност на двата топлообменника (кондензатор и изпарител). Те работят в схема „правоток“ или в схема „противоток“. При преминаването от единия режим в другия посоката на движение на хладилния агент в топлообменниците се променя а посоката на движение на водата остава постоянна. Така, че не е възможно топлообменниците да работят при максимална ефективност през цялата година.

- ▶ Дроселният вентил работи с различна ефективност през двата периода (летен и зимен) поради промяната на посоката на хладилния агент.

- ▶ Възможно е замръзване на изпарителя [3].

## 2. Принципна схема и описание на лабораторната термопомпена инсталация

На фиг.2 е показана принципна схема на лабораторната термопомпена инсталация за изследване коефициента на трансформация на термопомпата.



Фиг.2. Принципна схема на лабораторната термопомпена инсталация

Термопомпената инсталация работи без буферен съд в кръга на вътрешната инсталация и с консуматор (двуръбен воден конвектор) с ниска топлинна (охладителна) мощност, което предполага изследване на силно изразени нестационарни процеси. Термопомпеният агрегат работи с компресор без регулиране честотата на въртене.

За отчитане температури на топлата и студената вода, съответно на двата входа и двата изхода на термопомпата се използва цифров термометър "Thermologger K204".

За непрекъснато следене на измерваните температури (в интервал  $\approx 2$  s), графично и таблично визуализирани на получените резултати се използва компютърна програма "TestLink SE-309".

## 3. Методика за определяне средната стойност на действителния COP на термопомпата

Средният действителен COP се определя като средно-аритметична стойност на моментните стойности на COP в съответния режим на работа на инсталацията, при работеща термопомпа.

### 3.1. Определяне на моментните стойности на COP на термопомпата в зимен режим

Моментните стойности на коефициента на трансформация на термопомпата при работа на инсталацията в зимен режим се определят по формулата:

$$COP_{HP}|_W = \frac{\dot{Q}_{con}}{W_{comp}} \Big|_W \quad (2)$$

$W_{comp} = P_{el.compr}$  [kW] е консумираната електрическа мощност от компресора - определя се по формулата:

$$P_{el.comp} = \frac{E}{\tau}, [kW], \quad (3)$$

където  $E$  [kW.h] е показаниято на електромера (при включване във веригата на електромера само на термопомпата);  $\tau$  [h] - време на работа на термопомпата.

Топлинният поток, получен на кондензатора на термопомпата се определя по основното калориметрично уравнение:

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m} \cdot c_{pm} \cdot (t_{con,2} - t_{con,1}) [kW], \quad (4)$$

където  $t_{con,1}$  [°C] е температурата на водата на входа на кондензатора;  $t_{con,2}$  [°C] е температура на водата на изхода на кондензатора;  $c_{pm}$  [kJ/kg.K] е среден масов специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане – определя се таблично според средната температура на водата  $t_{con,m} = \frac{t_{con,1} + t_{con,2}}{2}$  [°C];  $\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$  [kg/s] е

масовият дебит на водата към консуматора на топлинна енергия;  $\dot{V}$  [m<sup>3</sup>/s] е обемния дебит на водата – към консуматора на топлинна енергия;  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - плътност на водата (определя се таблично според средната температура на водата  $t_{con,m}$ ).

### **3.2. Определяне на моментните стойности на COP на термопомпата в летен режим**

Моментните стойности на коефициента на трансформация на термопомпата при работа на инсталацията в летен режим се определят по формулата:

$$COP_{HP|S} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{W_{comp|S}}. \quad (5)$$

Топлинният поток, абсорбиран от изпарителя на термопомпата се определя по уравнението:

$$\dot{Q}_{eva} = \dot{m} \cdot c_{pm} \cdot (t_{eva,1} - t_{eva,2}) [kW], \quad (6)$$

където  $t_{eva,1}$  [°C] е температурата на водата на входа на изпарителя;  $t_{eva,2}$  [°C] - температура на водата на изхода на изпарителя;  $c_{pm}$  и  $\rho$  се определят таблично според средната температура на водата  $t_{eva,m} = \frac{t_{eva,1} + t_{eva,2}}{2}$  [°C].

### **4. Методика за определяне средната стойност на COP на термопомпата при работа по цикъла на Карно**

По аналогия на т.3, средният COP при работа на термопомпата по цикъла на Карно се изчислява като средно-аритметична стойност на моментните теоретични стойности на COP в съответния режим на работа на инсталацията, при работеща термопомпа.

Моментните стойности на теоретичния коефициент на трансформация при работа на термопомпата по цикъла на Карно се определят по следните зависимости [1]:

- в зимен режим

$$COP_{HP-Carnot|W} = \frac{T_N}{T_N - T_0} = \frac{T_c}{T_c - T_v}, \quad (7)$$

- в летен режим

$$COP_{HP-Carnot|S} = \frac{T_0}{T_N - T_0} = \frac{T_v}{T_c - T_v}, \quad (8)$$

където:  $T_N$  [K] е температурата на горещия топлинен източник;  $T_0$  [K] - температура на студения топлинен източник;  $T_c$  [K] - температура на кондензация на работното тяло в термопомпата;  $T_v$  [K] - температура на изпарение на работното тяло в термопомпата.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Представената методика дава възможност да се изследват моментните и средни стойности на коефициента на трансформация при работа на реверсивна термопомпа в двата режима чрез непрекъснато следене на температурите на водата на двата входа и двата изхода на термопомпата.

Чрез използване на байпасните връзки между буферния съд и термопомпата е възможно е да се изследва влиянието на промяната на температурата на топлинния източник върху COP.

Други параметри, които могат да се променят и да се изследва тяхното влияние върху COP са: дебитите на водата във вътрешния и външния кръг на инсталацията; топлинното натоварване чрез промяна мощността на конвектора; настройката по температура и температурен хистерезис на термопомпата.

Получените моментни и средни стойности на коефициента на трансформация могат да бъдат сравнявани с моментните и средни стойности на теоретичния коефициент по цикъла на Карно.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1]. Едер В., Ф. Мозер. Топлинни помпи. Техника, София, 1984.
- [2]. Chua K. J. и др. Advances in heat pump systems: A review. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, Singapore, 2010.
- [3]. Renedo C. J. и др. Optimum design for reversible water–water heat pumps. Department of Electrical and Energy Engineering, University of Cantabria, Spain, 2006.

**Представената разработка е във връзка с изпълнение на проект по ФНИ „Моделиране и експериментално изследване на хидравлични и климатични системи“**

#### **За контакти:**

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 Пенчо Златев, катедра “Топлотехника, хидро и пневмотехника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 303, e-mail: pzlatev@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.**