



SCIENTIFIC CONFERENCE OF FPEPM 2014
TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA
FACULTY OF POWER ENGINEERING AND POWER MACHINES

PROCEEDINGS
of the
XIX National Scientific Conference with International Participation
FPEPM 2014

Vol. I

THERMAL AND NUCLEAR POWER ENGINEERING
ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

energy • ecology • comfort • self-confidence

14th – 17th September 2014, Sozopol, Bulgaria

Определяне на първичната енергия за отопление и охлаждане на многофункционална сграда с децентрализирани системи с термopомпени агрегати „вода-въздух“, термодинамични рекуператори и конвективни отоплителни тела

Мерима Златева, Никола Калоянов, Росен Цеков

Резюме: В доклада е представена една методика за определяне на първичния разход на енергия в многофункционална сграда и за оценка на ефективността на топло- и студозахранване на различни системи за поддържане на параметрите на микроклимата: автономни термopомпени агрегати „вода-въздух“, термодинамични рекуператори и конвективни отоплителни тела.

Ключови думи: първична енергия, автономен термopомпен агрегат вода-въздух, термодинамичен рекуператор

Determination of the primary energy consumption for heating and cooling of a multipurpose building with decentralized systems with water to air heat pumps, thermodynamic heat recovery units and convective heaters

Merima Zlateva, Nikola Kaloyanov, Rosen Cekov

Abstract: The report presents a methodology for determining the primary energy consumption in a multipurpose building and for evaluation of the efficiency of heating and cooling supply of various systems to maintain the built environment: autonomous heat pump "water-air" thermodynamic recovery units and convective heaters.

Key words: primary energy, decentralized systems with water to air heat pumps, thermodynamic heat recovery units

Въведение

Подобряването на качеството на живот определя и повишените изисквания към обитаваната от хората среда, а осигуряването на нормираните параметри на микроклимата, особено в големи многофункционални сгради е свързано със значителен разход на топлинна и електрическа енергия. В същото време сложността на системите за отопление и охлаждане нараства, като често се налага поддържане на различни режими в отделни зони от обслужваните сгради.

Основната цел на представената в доклада методика е оценка на първичния разход на енергия и ефективността на системите за топло- и студозахранване на различни системи за поддържане на параметрите на микроклимата: автономни термopомпени агрегати „вода-въздух“, термодинамични рекуператори и конвективни отоплителни тела. Обект на разглеждане е многофункционална сграда с обособени зони, обслужвани от трите вида децентрализирани системи.

Системи за поддържане на параметрите на микроклимата

- Системи за отопление и охлаждане с автономни термopомпени агрегати (WSHP) вода-въздух

Използването на автономни системи с термopомпени агрегати вода-въздух е една от възможностите за удовлетворяване на изискванията към качеството на параметрите на

микроклимата при повишаване на енергийната ефективност на системата за топло- и студоснабдяване. Агрегатите работят с рециркуляционен въздух и се захранват с първичен топлоносител/студоносител от централизирана система с попътна схема на разпределителната и събирателна мрежа.

Топлоносителят през отоплителния сезон е с изчислителни температури 80 °C/60 °C и се загрява от водогреен котел, работещ с гориво природен газ, към който е предвидена циркуляционна помпа, покриваща хидравличните съпротивления до водоразпределителните колектори.

Топлозахранването на автономните термopомпени агрегати е по индиректна схема през пластинчат топлообменен апарат, след който се поддържат температури на топлоносителя, подаван към изпарителя им 23 °C/18 °C.

През летния сезон към кондензатора на автономните термopомпени агрегати се подава охлаждаща вода с параметри 30 °C/35 °C, поддържани от водоохлаждаща кула.

В отделни помещения на зоните, обслужвани от автономните термopомпени агрегати е предвидено местно отопление с конвектори и топовъздушни отоплителни апарати, работещи с електрическа енергия.

- *Системи за общообменна приточно-смукателна вентилация с термодинамични рекуператори*

Системите за общообменна приточно-смукателна вентилация с термодинамичен рекуператор (вградена термopомпа въздух-въздух), работят със 100 % пресен въздух.

Първична енергия за отопление и охлаждане на зони с автономни термopомпени агрегати вода-въздух и електрически конвектори и топовъздушни апарати

- *Първична енергия в режим отопление*

Коефициентът на полезно действие на системата за топлоснабдяване с автономни термopомпени агрегати е оценен при отчитане на дяловете на топлинната енергия, произведена в отоплителния котел и подавана към изпарителя им и на електрическата енергия за работа на компресора им (Фигура 1).

Дяловете на енергията за отопление $Q_{h,el}$, осигурявана от електрическите отоплителни уреди и $Q_{h,WSHP}$, осигурявана от автономните термopомпени агрегати, се определят по зависимостите:

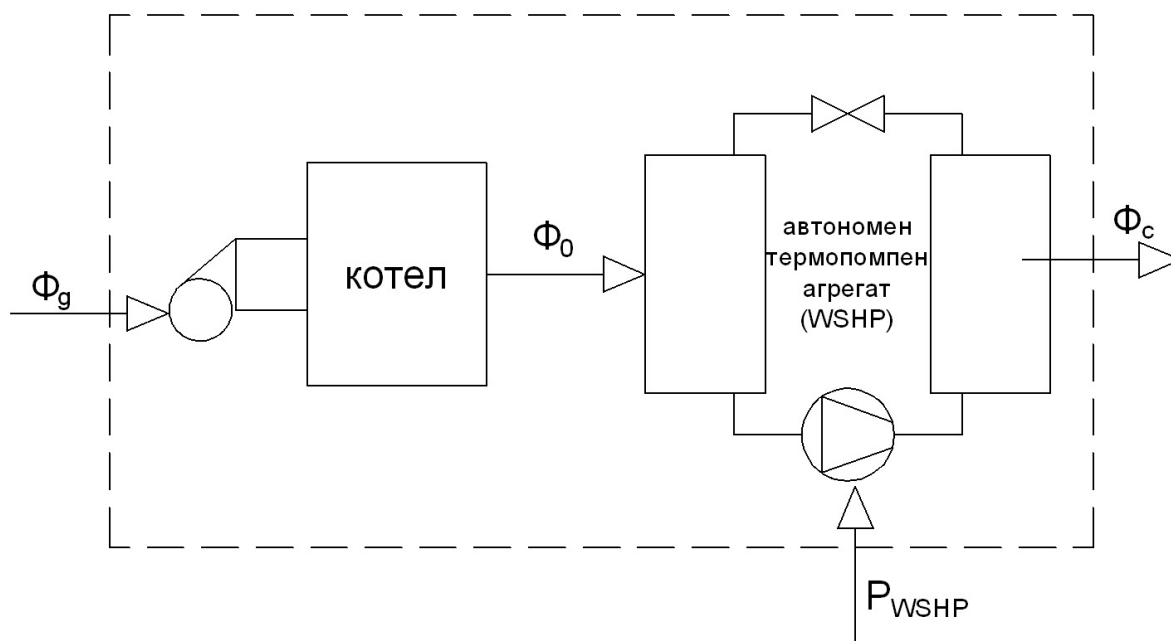
$$Q_{h,el} = Q_h \cdot \frac{\sum_i E}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (1)$$

$$Q_{h,WSHP} = Q_h \cdot \frac{\sum_j \Phi_c}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (2)$$

където Q_h , kWh / m²a е потребната енергия за отопление на зоната;

$\sum_i E$, kW - мощността на отоплителните уреди, работещи с електрическа енергия;

$\sum_j \Phi_c, \text{kW}$ - отоплителната мощност на автономните термопомпени агрегати.



Фигура 1. Автономен термопомпен агрегат „вода – въздух“ – режим отопление
 Φ_c – топлинна мощност, Φ_0 – охлаждаемна мощност, P_{WSHP} – електрическа мощност,
 Φ_g – топлинна мощност на котела

Енергията, подавана към изпарителите на термопомпените агрегати, се определя от балансовото уравнение при отчитане на коефициента им на преобразуване (Фигура 1):

$$Q_0 = Q_h \cdot \frac{\sum_j \Phi_c}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c} \cdot \frac{\text{COP} - 1}{\text{COP}}, \text{kWh} / \text{m}^2 \text{a} \quad (3)$$

Брутната енергия за отопление от автономните термопомпени агрегати, внасяна с горивото природен газ Q_g се определя по зависимостта:

$$Q_g = Q_h \cdot \frac{\sum_j \Phi_c}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c} \cdot \frac{\text{COP} - 1}{\text{COP}} \cdot \frac{1}{\eta_k}, \text{kWh} / \text{m}^2 \text{a}, \quad (4)$$

а електрическата енергия за работа на компресорите им е:

$$N_{el, WSHP} = Q_h \cdot \frac{\sum_j \Phi_c}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c} \cdot \frac{1}{\text{COP}}, \text{kWh} / \text{m}^2 \text{a} \quad (5)$$

където η_k е коефициентът на полезно действие на газовите котли.

Общата електрическа енергия Q_{el} за отопление (с електрически отоплителни тела и термопомпени агрегати тип WSHP) се определя по зависимостта:

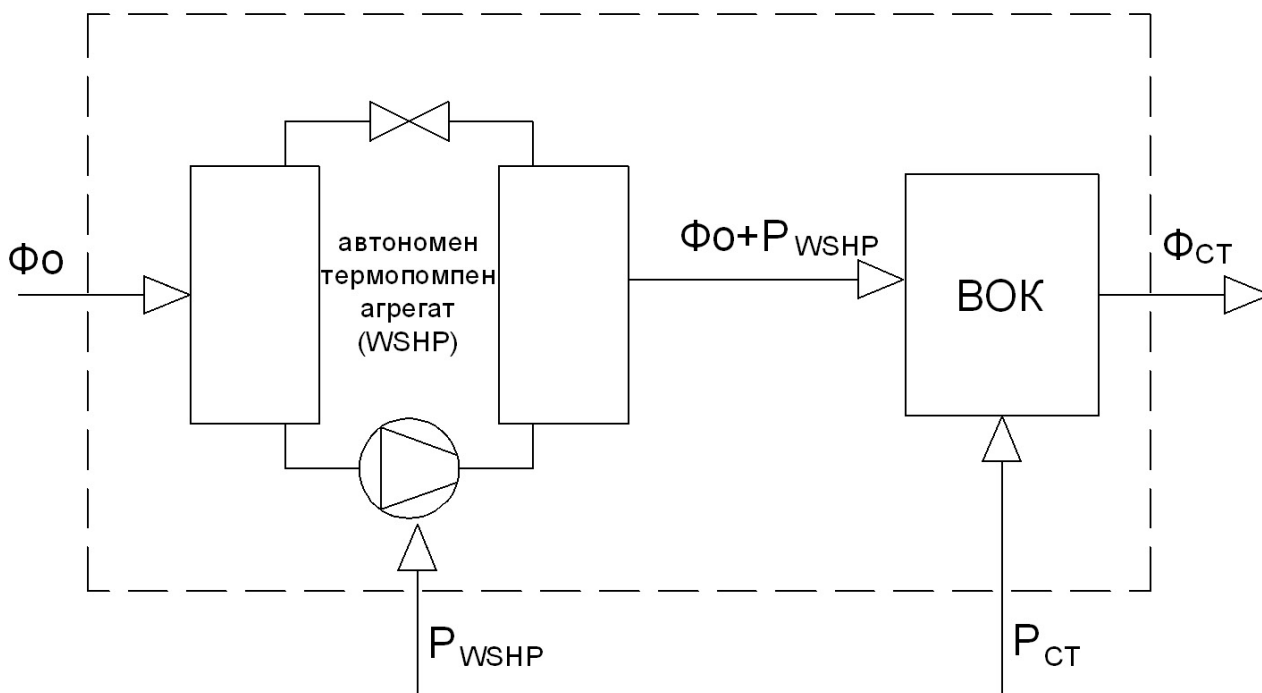
$$Q_{el} = Q_h \cdot \left(\frac{\sum_i E}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c} + \frac{\sum_j \Phi_c}{\sum_i E + \sum_j \Phi_c} \cdot \frac{1}{COP} \right), \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (6)$$

Първичната енергия за отопление $Q_{PE,h}$ се определя при отчитане на съответните коефициенти на преобразуване за гориво природен газ $e_g = 1,1$ и електрическа енергия $e_e = 3$:

$$Q_{PE,h} = e_g \cdot Q_g + e_e \cdot N_{ел}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (7)$$

- *Първична енергия в режим охлаждане*

Ефективността на системата за студопроизводство се оценява при отчитане на коефициентите на трансформация на автономния термopомпен агрегат EER1 и воохлаждащата кула EER2 (Фигура 2).



Фигура 2. Автономен термopомпен агрегат „вода – въздух“ – режим охлаждане
 Φ_0 – охладителна мощност, P_{WSHP} – електрическа мощност на термopомпения агрегат, P_{CT} – електрическа мощност воохлаждаща кула, Φ_g – топлинен поток отдаван към околната среда от воохлаждаща кула

Хладилният коефициент EER на обединената система автономен термopомпен агрегат - воохлаждаща кула се определя от балансовото уравнение (Фигура 2):

$$EER = \frac{\Phi_0}{P_{WSHP} + P_{CT}} \quad (8)$$

където: Φ_0 , kW е охладителната мощност на термодинамичния рекуператор;
 P_{WSHP} , kW – електрическата мощност на термopомпения агрегат;
 P_{CT} , kW – електрическата мощност воохлаждащата кула.

След заместване в (8) на стойностите за P_{WSHP} и P_{CT}

$$- P_{WSHP} = \frac{\Phi_0}{EER 1}$$

$$- P_{CT} = \frac{\Phi_0 + P_{WSHP}}{EER 2}$$

за обединения хладилен коефициент се получава зависимостта:

$$EER = \frac{\Phi_0}{\frac{\Phi_0}{EER 1} + \frac{\Phi_0 + P_{WSHP}}{EER 2}} = \frac{1}{\frac{1}{EER 1} + \frac{1}{EER 2} + \frac{1}{EER 1 \cdot EER 2}} \quad (9)$$

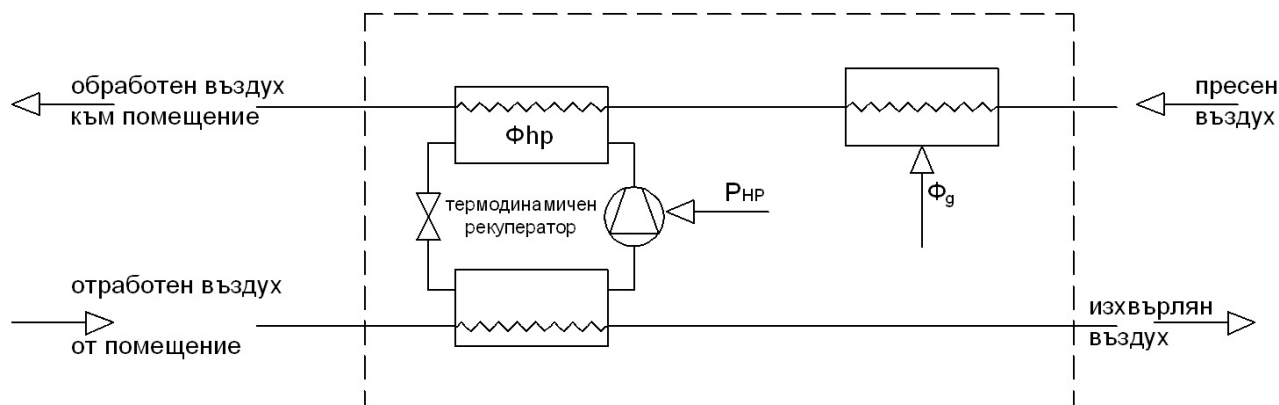
Първичната енергия за охлаждане $Q_{PE,c}$ се определя с отчитане на коефициента на преобразуване електрическата енергия $e_e = 3$:

$$Q_{PE,c} = e_e \cdot \frac{Q_c}{EER}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (10)$$

където Q_c , kWh / m²a е брутната енергия за охлаждане на зоната.

Първична енергия за отопление на зони с термодинамичен рекуператор

Разходът на първична енергия за системата се определя с отчитане на дяловете на електрическата енергия, необходима за работа на термопомпата и на топлинната енергия, произведена в газовия котел:



Фигура 3: Термодинамичен рекуператор – топлинен баланс в режим отопление
 Φ_g – топлинна мощност газов котел, $P_{НР}$ – електрическа мощност на вградената термопомпа, Φ_{hp} – топлинна мощност на вградената термопомпа

Дялът на енергията за отопление $Q_{h,g}$, осигурявана от водогрейния котел и $Q_{h,hr}$, осигурявана от термодинамичния рекуператор се определят по зависимостите:

$$Q_{h,g} = Q_h \cdot \frac{\Phi_g}{\Phi_g + \Phi_{hp}}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (11)$$

$$Q_{h,hp} = Q_h \cdot \frac{\Phi_{hp}}{\Phi_g + \Phi_{hp}}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (12)$$

където Q_h , kWh / m²a е потребната енергия за отопление на сградата.

Φ_g , kW – топлинната мощност газов котел;

Φ_{hp} , kW – топлинната мощност вградената термopомпа.

Брутната енергия за отопление, внасяна с горивото природен газ Q_g , се определя по зависимост (13), а електрическата енергия, подавана към компресорите на термодинамичните рекуператори – по зависимост (14):

$$Q_g = Q_h \cdot \frac{\Phi_g}{\Phi_g + \Phi_{hp}} \cdot \frac{1}{\eta_k}, \text{ kWh / m}^2\text{a}, \quad (13)$$

$$N_{el,hp} = Q_h \cdot \frac{\left(1 - \frac{\Phi_g}{\Phi_g + \Phi_{hp}}\right)}{COP}, \text{ kWh / m}^2\text{a}, \quad (14)$$

Първичната енергия за отопление се определя при отчитане на коефициентите на преобразуване за гориво природен газ $e_g = 1,1$ и електрическа енергия $e_e = 3$:

$$Q_{PE,hp} = e_g \cdot Q_g + e_e \cdot N_{el,hp}, \text{ kWh / m}^2\text{a} \quad (15)$$

Заклучение

Представената методика дава възможност за определяне на годишния разхода на първична енергия в сгради, в които нормираните температури се поддържат от три типа системи за отопление и охлаждане: автономни термopомпени агрегати „вода-въздух“, термодинамични рекуператори и конвективни отоплителни тела. Методиката е приложима и за оценка на ефективността на топло- и студозахранване на разгледаните системи.

Литература:

1. McQuay International. *Water Source heat Pump. Design Manual.*
2. Наредба № 7 от 15. 12. 2004 г. за енергийна ефективност, топлосъхранение и икономия на енергия в сгради.

Автори:

доц. д-р инж. Мерима Йорданова Златева, Технически университет София, mzlat@tu-sofia.bg

проф. д-р инж. Никола Георгиев Калоянов, Технически университет София, ngk@tu-sofia.bg

маг. инж. Росен Павлов Цеков, Технически университет София, rosen@tu-sofia.bg