FRI-9.2-1-THPE-09

THERMAL CALCULATIONS OF THE WATER HEATER WITH A FINNED TWO-PHASE THERMOSYPHONES

Assoc. Prof. Veselka Kamburova, PhD
Department of Biotechnologies and Food Technologies, Razgrad Branch,
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone:
E-mail: vkamburova@uni-ruse.bg

PhD student Svetla Baeva
Department of Thermotechnics, Hydraulics and Ecology
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone:
E-mail: svbaeva@abv.bg

Abstract: *The paper presents a methodology for thermal calculations of heat exchanger with finned thermosyphons. The methodology is based on the co-decision of 6 non-linear equations. They describes the heat exchange processes:*

- *heat exchange between gaseous coolant in the heating part and liquid in the cooling part and the liquid in the cooling part;*
- *heat exchange during boiling and condensation in the thermosyphons with the intermediate heat transfer medium,*
- *heat conduction through the finned wall of the thermosyphon in the heating part of the thermosyphon and through a smooth wall in the cooling part.*

The in-line array and staggered array of the pipes is considered. In determining the average heat transfer coefficient, previous authorial studies have been used.

Particular attention is paid to heat exchange in the thermosyphon. Two modes are considered in the evaporator: free convection and bubble boiling mode. A condensation mode of condensation is contemplated in the condenser.

The presented methodology can be used for thermal calculations of heat exchangers with finned thermosyphones.

Keywords: *finned thermosyphones, heat conduction, heat exchanger, heat exchange, thermal calculations*

ВЪВЕДЕНИЕ

При изгаряне на газообразни горива с димните газове се отнася значително количество топлина, която може да бъде утилизирана. За тази цел са разработени редица топлообменни апарати за подгряване на течни или газообразни среди. Едно от възможните конструктивни решения е термосифонен водонагревател с оребрени тръби от страна на димните газове.

Въпросите за методиката за изчисление на водонагревател с оребрени тръби от страна на димните газове не са разгледани подробно в литературата, поради което в настоящата разработка са представени топлинните изчисления, провеждани при конструиране на водонагревател с оребрени тръби.

Методиката е предназначена за провеждане на топлинни и хидродинамични изчисления на термосифонни топлообменници, състоящи се от отделни тръби – термосифони, в които в качеството на горещ топлоносител се използват газообразни среди: атмосферен въздух, продукти от изгарянето на природен газ, и т.н., а като студен топлоносител се използва вода. В качеството на междинен топлоносител може да се използват течности: вода, ацетон, амоняк, спирт, фреони и т.н.. Изборът на междинния топлоносител зависи от температурния интервал на работа на термосифона.

ИЗЛОЖЕНИЕ

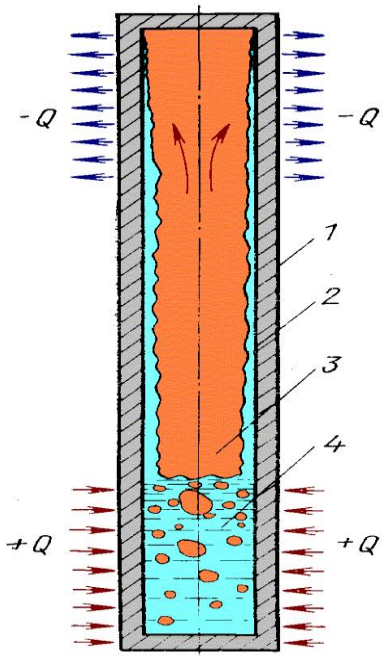
Топлинните изчисления на термосифонните топлообменни апарати се основават на съвместното решение на 6 нелинейни уравнения, описващи процесите на топлообмен:

топлообмен при обтичане на оребрени тръби от газообразен топлоносител в частта на нагряване и течност в охладителната част [Илиев, 2013], топлообмен при кипене и кондензация в тръбите – термосифони с междинния топлоносител, топлопроводност през оребрената цилиндрична стена на корпуса на термосифона и часста за нагряване и през гладка стена в охладителната част [Iliev, Uzuneau, Kamburova, 2017]. Коефициентът на топлопреминаване на термосифона се определя по формулата:

$$U=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta_1}{k_1}+\frac{1}{\alpha_2}+\frac{1}{\alpha_3}+\frac{\delta_2}{k_2}+\frac{1}{\alpha_4}} \quad (1)$$

Където α_1 – коефициент на топлопредаване от горещия флуид към стената на термосифона, α_2 – коефициент на топлопредаване от стената на термосифона към изпаряващия се междинен топлоносител, α_3 – коефициент на топлопредаване от кондензиращия междинен топлоносител към стената на термосифона, α_4 – коефициент на топлопредаване от стената на термосифона към студения топлоносител; δ_1 и δ_2 – дебелина на стената на термосифона в областите на кипене и кондензация; k_1 и k_2 – коефициенти на топлопроводност на топлопроводност на стената на термосифона в областите на кипене и кондензация.

За по-добра демонстрация на описаните части на топлообменника с термосифони моце да се използва принципната схема на термосифона (фиг. 1), на която 1- корпус, 2 - стичащ се филм кондензат, 3 - пари, 4 - изпаряваща се течност. С +Q е означена частта на нагряване, а с –Q – съответно охладителната част [Илиев, 2013].

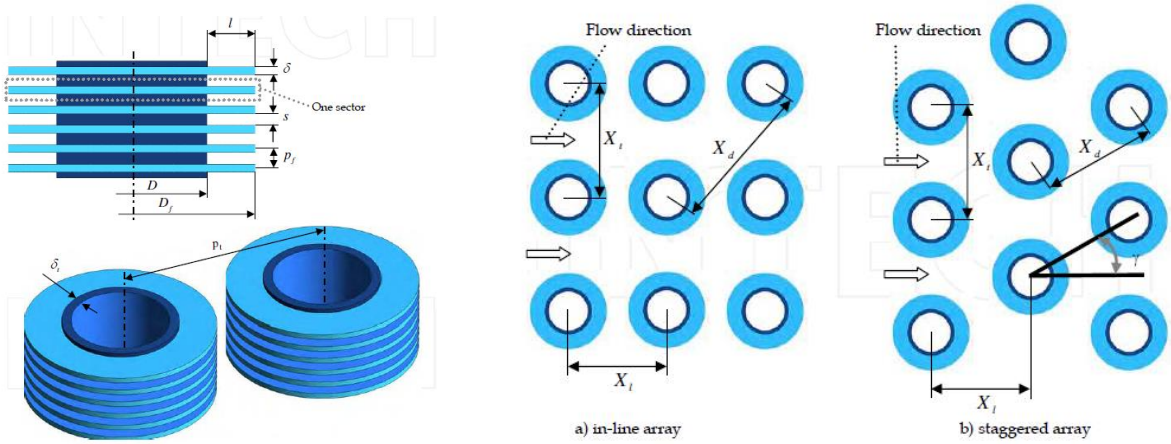


Фиг.1. Конструкция на термосифон

Пресмятане на топлоотдаването при външно обтичане на оребрени термосифони

Оребрените тръби – термосифони в топлообменните апарати са подредени шахматно или коридорно (фиг. 2). Методите за изчисляване на топлоотдаването на шахматни и коридорни снопове от тръби с напречни, винтови и шайбови ребра се базират на материалите от лабораторните изследвания на моделни снопове и са основани на техните обобщаващи препоръки. [1, 2].

Опитните данни по топлоотдаването и съпротивлението в шахматни и коридорни снопове са обобщени от изчислителните съотношения на основните използвани характерни аргументи: коефициенти на оребряване φ и условния размер l^* , изчисляван по формула (2):



Фиг.2. Геометрия на оребрени тръби и коридорно и шахматно разположение на тръбите

$$l^* = \frac{A_{\text{тр}}}{A_{\text{п}}} D + \frac{A_{\text{р}}}{A_{\text{п}}} \sqrt{0.785\left(D_f^2 - D^2\right)} \tag{2}$$

където $A_п$ - обща повърхност на тръбата, $A_{тр}$ - обща повърхност на тръбата без ребра, Ар – повърхност на ребрата, D - външен диаметър на неоребрена тръба, D_f - външен диаметър на оребрена тръба,

За изчисляване на топлинния поток, отдаден от горещия топлоносител (газове) на термосифона е необходимо да се определи средният коефициент на топлопредаване $\alpha_{пр}$, тъй като коефициентът на топлопредаване е различен от повърхността на реброто и повърхността на тръбата. αпр зависи от ефективността на ребрата E.

При предшестващи изследвания [Илиев, Камбурова, Венев, 2015] е направено задълбочено проучване на критериалните уравнения за изчисляване на топлопредаването при напречно обтичане на оребрен тръбен сноп. В резултат бяха избрани четири критериални зависимости, по които бе определен коефициентът на топлопредаване. Оказа се, че резултатите, получени от трите от зависимостите са много близки. Поради това препоръчваме да се използват следните зависимости:

- за шахматно разположение на тръбите в снопа критерият на Нуселт се определя по:

$$\mathrm{Nu}=0.242.\mathrm{Re}^{0.658}.\mathrm{Pr}^{0.33}\left(\frac{s}{l}\right)^{0.297}\left(\frac{X_t}{X_l}\right)^{-0.091} F_1F_2 \tag{3}$$

при следните условия $2.103 \le \mathrm{Re} \le 4.104$; $0.13<\frac{s}{l}<0.57$; $1.15 < \frac{X_t}{X_l} < 1.72$,

където F_1 - фактор за промяна на свойствата на флуида (само при високи температури), F_2 - фактор за броя на редовете тръби.

- за коридорно разположение на тръбите:

$$\mathrm{Nu}=0.3.\mathrm{Re}^{0.625}.\mathrm{Pr}^{0.33}\left(\frac{A}{A_T}\right)^{-0.375} \tag{4}$$

при следните условия $5.103 \le \mathrm{Re} \le 105$, $5<\frac{A}{A_T}<12$, където s - стъпка на оребряване, δ - дебелина на реброто, $l = (D_f - D)/2$ - дължина на реброто. Размерите са в m. Определящият размер е D.

$$A=\left[\frac{1}{2}\pi\left(D_f^2-D^2\right)\right]+\pi D_f\delta+\pi Ds;$$
$$A_T=\pi D(s+\delta) \tag{5}$$

Топлообмен в изпарителя на термосифона

Топлоотдаването от вътрешната стена на тръбата на термосифона и междинния топлоносител, който го запълва може да се определи от следната зависимост:

$$Q=\alpha_u.A_2^u.(t_2^u - t_s) \quad , \tag{6}$$

където A_2^u- повърхост на изпарителната част на термосифона, t_2^u– температура на изпарение, t_s – температура на насищане

За изпарителите на термосифоните същесствуват два основни режима на топлообмен:

- Свободна конвекция
- Мехурчест режим на кипене

В днешно време топлообменът в изпарителя на термосифоните е недостатъчно пълно изучен, поради което няма надеждни изчислителни зависимости за определяне на коефициента на топлоотдаване. В тази връзка е прието да се разбира, че изчислителните зависимости за определяне на коефициента на топлоотдаване при свободна конвекция и мехурчест режим на кипене, приложени за големи обеми, са валидни и за изпарителите на термосифоните (7).

Средното топлоотдаване при свободна конвекция на течност с голям обем може да бъде изчислена по:

$$Nu=c.Gr^n.Pr^n\varepsilon_1 \tag{7}$$

Където

$$Gr=\frac{g.\beta(t_2^{''}-t_s)l^3}{\upsilon} \tag{8}$$

Стойностите на c, n и ε са както следва:

- За ламинарен режим на течение $Gr.Pr=10^3 \div 10^9$

$$c = 0{,}8;\ \ n = 0{,}25;\ \ \varepsilon=[1+(1+Pr^{-0{,}5})^2]^{-0{,}25} \tag{9}$$

- За турболентен режим на течение течение $Gr.Pr>10^9$

$$c = 0{,}15;\ \ n = 0{,}33;\ \ \varepsilon = 1 \tag{10}$$

Физическите свойства на течността в зависимостта (7) се определят при средна температура $t_{ср}=0{,}5.(t_2^{''} - t_s)$.

Изчисляването на топлоотдаването при свободна конвекция за стойности на $Gr.Pr>10^9$ се провежда отделно за началния участък отбелязан с „H”, зает от ламинарен граничен слой, а след това за участъка l_n-H, запълнен от турболентен граничен слой.

Стойността на „H” се определя от условието $Gr.Pr<10^9$

Средната по височина стойност на коефициента на топлопредаване се определя по:

$$\alpha_{ср}=\alpha_л^{ср}\frac{H}{l_n}+\alpha_m^{ср}\left(1-\frac{H}{l_n}\right), \tag{11}$$

където: $\alpha_л^{ср}$ и $\alpha_m^{ср}$ са средни коефициенти на топлопредаване за участъците с ламинарен и турболентен граничен слой.

За осъществяване на процеса на кипене винаги е необходимо някакво прегряване на течността. Стойността на температурата, при които възниква мехурчесто кипене, зависи от много фактори (налягане, свойства на течността, грапавост на нагревната повърхност и др.). При топлоотдаването напълно се определя от свободната конвекция на еднофазната течност. В тази методика тя приблизително се изчислява въз основа на равенството на коефициентите на топлоотдаване при мехурчесто кипене по формула (12) и при свободна конвекция по формула (7).

Средният коефициент на топлопредаване в мехурчест режим на кипене на еднокомпонентна течност в голям обем може да се изчисли по следната формула [Галактионов, 1988]:

$$\alpha_{\text{кип}}=0{,}075\left[1+10\left(\frac{\rho_n}{\rho-\rho_n}\right)^{\frac{2}{3}}\right]\left(\frac{\lambda^2}{\upsilon\sigma T_s}\right)^{\frac{1}{3}}q^{\frac{2}{3}} \tag{12}$$

Всички топлофизичni свойства в уравнение (12) се определят по температурата на насищане.

Формула (12) е правдива в диапазона на изменение на приведените налягания $P/P_{\text{кр}}$ от 0,05 до 0,8 за вода, амоняк и органични течности - спирт, фреон, бензол, дифенил [Галактионов, 1988].

Топлообмен в кондензатора на термосифона

В термосифоните често се реализира ципеста кондензация. Ако течението на слоя има ламинарен характер, то е възможно да се използва следното уравнение за определяне на средния коефициент на топлоотдаване [3,5]:

$$\alpha_{\text{конд}}=0{,}94\frac{r\mu}{l_k\Delta t}z^{0{,}78}\varepsilon_t \tag{13}$$

$$z=\frac{\lambda l_k}{r\mu}\left[\frac{g}{\upsilon^2}\left(1-\frac{\rho_n}{\rho}\right)\right]^{\frac{1}{3}} \qquad \Delta t=t_s-t_2^k$$

$$\varepsilon_t=\left[\left(\lambda_{\text{ст}}/\lambda\right)^3.\mu/\mu_{\text{ст}}\right]^{\frac{1}{8}}$$

ε_t - поправка на неравномерността на физическите свойства на кондензата.

Ако течението на слоя има турболентен характер, то за определяне на средния коефициент на топлопредаване може да се използва следната зависимост [Галактионов, 1988]:

$$\alpha_{\text{конд}}=400\frac{r\mu}{l_k\Delta t}\left[1+0{,}625.Pr^{0{,}05}\left(\frac{z}{2300}-1\right)\left(\frac{Pr}{Pr_{\text{ст}}}\right)^{0{,}25}\right]^{\frac{4}{3}} \tag{14}$$

Топлообменът между външната страна на неоребрения термосифон и студения флуид се изчислява по добре известните формули [Илиев, Бобилов и др., 2015].

ИЗВОДИ

Разработена е методика за определяне на топлопредаването от горещ към студен топлоносител при топлообменник с оребрени термосифони.

В ментодиката са отчетени четирите случая на топлообмен – межу горещия флуид и стената на ттермосифона, между стената и кипящия междинен топлоносител,между кондензиращия междинен топлоносител и стената на термсифона и между стената и студения топлоносител.

REFERENCES

Galactiton V.V., Filimonova L.V., Shalia O.M. Thermo-static system with a thermosyphone. Proceedings of MPEI, 1972, issue.141, pp.

Iliev I., Uzuneanu K., Kamburova V., Voutev V. Study of integral characteristics and efficiency of a heat exchanger of thermosyphon type with finned tubes.// Thermal Science, 2016, No 5, vol.20, pp. 1227-1235, ISSN 0354-9836.

Iliev, I. Methods and Tools for Effective Utilization of Waste Heat from Low Potential Paragon Flows. Monograph, Ruse, University Publishing Center at "Angel Kanchev" University, 2013, ISBN 978-619-90013-9-4.

Галактионов В. В., Методика теплового и гидродинамического расчетов термосифонного теплообменника на отдельных труб – термосифонов, Москва, 1988

Илиев И., Методи и средства за ефективно оползотворяване на отпадъчна топлина от нископотенциални парогазови потоци. Русе, Университетски издателски център при РУ, 2013, стр. 152, ISBN 978-619-90013-9-4

Илиев И., Камбурова В., Венев М. Изследване на интегралните характеристики на толообменник-утилизатор с оребрени термосифони.// Енергетика, 2015, брой 6, стр. 74-82, ISSN 0324-1521.

Илиев И., В. Бобилов, В. Камбурова, Ж. Колев, П. Златев, П. Мушаков. Сборник задачи по топлообмен и топлообменни апарати. Русе, Инженеринг и изследвания за земеделието, 2015, стр. 200, ISBN 978-619-7135-07-7.