

Numerical modelling of a heat exchanger with thermosiphons

Veselka Kambourova, Ahmed Ahmedov, Svetla Baeva

Числено моделиране на топлообменник с топлинни тръби

Веселка Камбурова, Ахмед Ахмедов, Светла Баева

***Numerical modelling of a heat exchanger with thermosiphons:** A mathematical model of the ongoing processes in a heat exchanger with heat pipes has been developed. The heat carrier is flue gas and the heated fluid is water. The numerical modelling is carried out by the CFD software SolidWorks – Flow Simulation. The obtained numerical results present the temperature and velocity fields in the heat exchanger. The influence of the heat exchanger's design parameters over the temperature and velocity of the heated fluid are investigated. The modelled heat exchange has finned tubes thermosiphons in the evaporator zone and smooth tubes in the condensation zone. An analysis of the significant design parameters of the finned tubes over the heated fluid is carried out.*

Key words: Heat exchanger, Thermosiphon, Finned tubes, Numerical modeling, CFD software, SolidWorks – Flow Simulation.

ВЪВЕДЕНИЕ

Един от основните методи за икономия на енергия днес е оползотворяване на отпадната топлина на вторичните енергоресурси. Едни от най-ефективните утилизатори на отпадна топлина са топлообменниците с топлинни тръби.

Термосифоните са много ефективни устройства за пренасяне на топлина. Закритият изпарителен двуфазен термосифон представлява вертикална или наклонена топлинна тръба, запълнена на около 25 - 30 % с течност при налягане по-ниско от атмосферното. Термосифонът е съставен от три отделни зони - изпарителна (зона на нагриване), адиабатна (транспортна) и кондензаторна (зона на охлаждане). В изпарителната зона (долната част на тръбата) се предава топлина от димните газове към работната течност, която се изпарява и получената пара се издига в горната част на тръбата, където отдава топлината на кондензация през металната тръба, обтичана от студен флуид (течност или газ). Полученият кондензат се стича по вътрешната странична повърхност на термосифона под действие на гравитационните сили. Между зоните на изпарение и кондензация е разположена адиабатната зона, която в зависимост от конструкцията на топлообменния апарат може да има различни размери или практически да липсва [1, 2].

Известно е, че топлината, предадена от горещия към студения флуид в топлообменен апарат зависи от температурите и дебитите на флуидите, както и от топлообменната повърхност на апарата. Целесъобразно е да се увеличава топлообменната повърхност от страна на топлоносителя с по-малък коефициент на толопредаване.

В статията ще се разгледат два термосифона, обтичани в зоната на нагриване от димни газове, а в зоната на кондензация от вода.

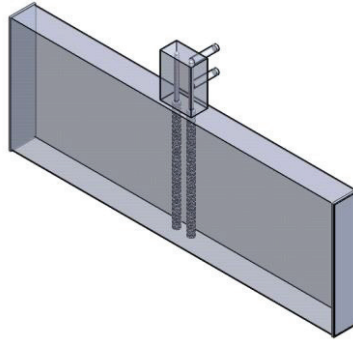
Тъй като димните газове са с по-малък коефициент на толопредаване, ще се разгледат два варианта - неоребрени и оребрени термосифони в зоната на нагриване.

Целта на настоящата работа е разработване на математически модел на топло- и масообменните процеси, протичащи в топлообменния апарат и числено симулиране на протичащите топлообменни и хидродинамични процеси.

ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Принципната схема на топлообменника с термосифони е представена на Фигура 1.

Топлообменник с термосифони може да се симулира с редица софтуерни продукти. Много подходящ за разглеждания от нас случай е Solid Works - Flow Simulation.



Фиг. 1. Принципна схема на топлообменник с термосифони

Flow Simulation [3, 4] е подходящ за решаване на поставената задача, тъй като:

- в него има възможност да се опише разглежданата геометрия;
- в софтуерния продукт са заложили характеристики на топлинна тръба и не е необходимо допълнително моделиране на процесите, протичащи вътре в нея;
- работните флуиди са вода и димни газове, чиито характеристики са заложили в базата данни.

За моделиране на ламинарни и турбулентни течения в Flow Simulation се използват уравненията на Навие Стокс и уравнението на непрекъснатостта, с които се описват законите за съхранение на материята, импулса и енергията []:

- уравнение за съхранение на масата:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (1)$$

- уравнение за съхранение на енергията:

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial \tau} + \text{div}(\rho h \vec{u}) = -p \cdot \text{div} \vec{u} + \text{div}(\lambda \text{grad} T) \quad (2)$$

- уравнение на движението:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial \tau} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) \quad (3)$$

- уравнение на топлопроводността

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} + \lambda \text{div} T = 0 \quad (4)$$

където: ρ - плътност на флуида, kg/m^3 ,
 $\vec{u}$ (u, v, w) - вектор на скоростта,
 μ - динамичен вискозитет на флуида, $[\text{kg/m.s}]$
 h - енталпия на флуида, $[\text{kJ/kg}]$
 p - налягане на флуида, $[\text{Pa}]$,
 λ - коефициент на топлопроводност на флуида, $[\text{W/m.K}]$,
 T - температура, $^\circ\text{C}$.

За затваряне на системата диференциални уравнения се използват уравнения за пренасяне на турбулентната кинетична енергия и нейната дисипация в рамките на

турбулентния модел $k - \varepsilon$ [3, 4]. В декартова координатна система тази система диференциални уравнения има вида:

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_T \quad \mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial \tau} + \text{div}(\rho k \vec{u}) = \text{div}\left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_L} \text{grad} k\right) + G - \rho \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial \tau} + \text{div}(\rho \varepsilon \vec{u}) = \text{div}\left(\frac{\mu_{eff}}{\sigma_L} \text{grad} \varepsilon\right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_{eff} E_{ij} E_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

където: C_μ , $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, σ_L - коефициенти на турбулентната кинетична енергия;
 μ , μ_t , μ_{eff} ламинарен, турбулентен и ефективен вискозитет;
 E_{ij} - деформация на елемента;
 ε - скорост на дисипация на турбулентната енергия;
 k - масова плътност на турбулентната енергия

CDF МОДЕЛ НА ТОПЛООБМЕННИКА

Разглежда се топлообменен апарат, съдържащ само два термосифона. Използва се толкова опростена схема, за да може задачата с оребрени термосифони да се симулира с достатъчна точност и да се генерира изчислителна мрежа.



Фиг. 2. Геометрия на оребрен термосифон

В Таблица 1 са дадени началните параметри на двата флуида - димни газове и питателна вода за гладки и за оребрени термосифони.

Таблица 1. Начални параметри на флуидите

Параметър	Стойност
Димни газове - температура на входа, °C	180.3
Димни газове - скорост, m/s	6
Питателна вода - температура на входа, °C	25.5
Питателна вода - скорост, m/s	2.2

Предполага се, че стените на топлообменния апарат са адиабатни и липсва топлообмен с околната среда.

РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

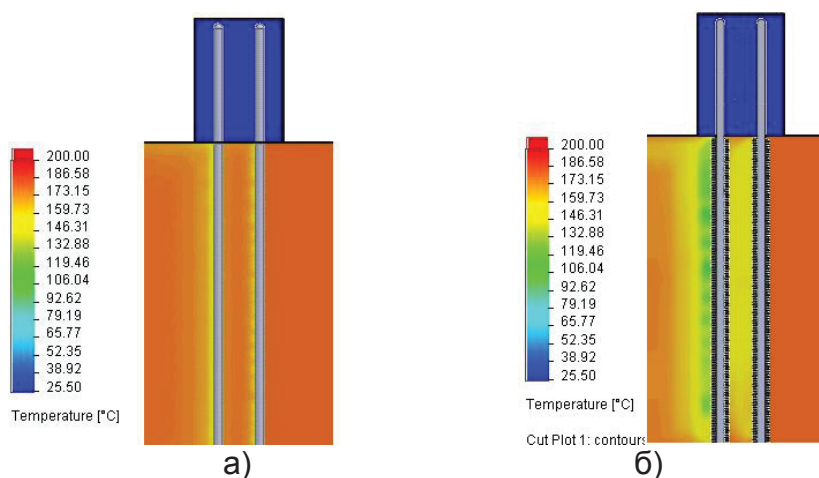
Изчислителната мрежа е генерирана с използване на допълнителни настройки за съгъстяването ѝ в зоната на интерес – около термосифоните. Броят на изчислителните клетки за гладки и оребрени термосифони е даден в Таблица 2. При двата варианта са използвани едни и същи настройки, но поради сложната геометрия при оребрените термосифони, броят на клетките в този случай е 13.6 пъти по-голям, отколкото броят на клетките при гладки термосифони.

По хода на решението задачата проявява стабилност и сходимост.

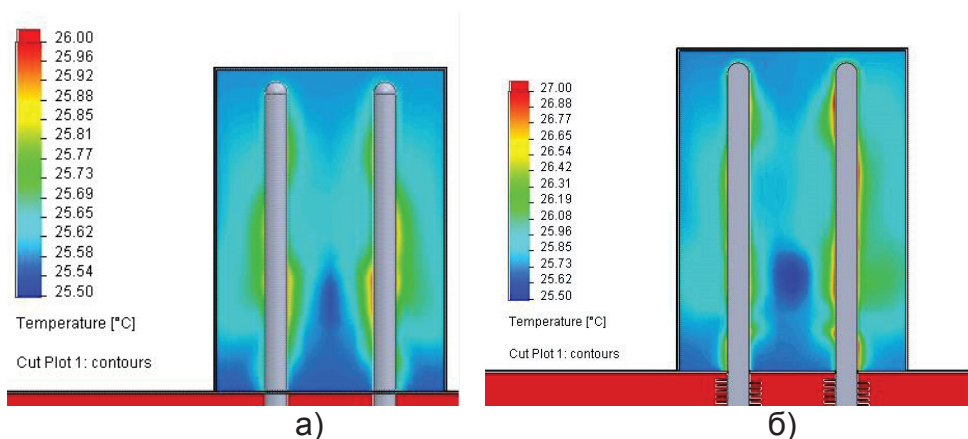
Разпределението на скоростите и температурите на двата флуида за варианти 1 (гладки термосифони) и 2 (оребрени термосифони) е показано на фиг. 3, 4, 5 и 6.

Таблица 2. Брой изчислителни клетки

Параметър	Гладки термосифони	Оребрени термосифони
Флуидни клетки	193 277	3 625 141
Клетки - твърди стени	92 236	262 867
Общо клетки	285 513	3 888 008



Фиг. 3. Разпределение на температурата на димните газове при топлинни тръби с оребряване (а) и без оребряване (б)



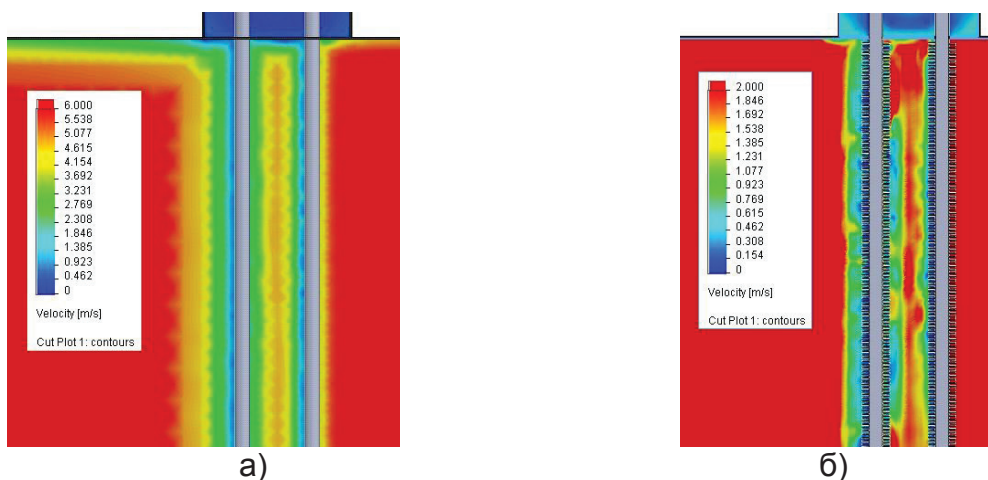
Фиг. 4. Разпределение на температурата на водата при топлинни тръби с оребряване (а) и без оребряване (б)

Анализът на температурните полета на димните газове (Фиг. 3) показва, че температурата им в близост до топлообменната повърхност при гладки термосифони е по-висока от тази при оребрени термосифони. При оребрени термосифони газовете се охлаждат не само в непосредствена близост до топлообменната повърхност, а на значително разстояние от нея.

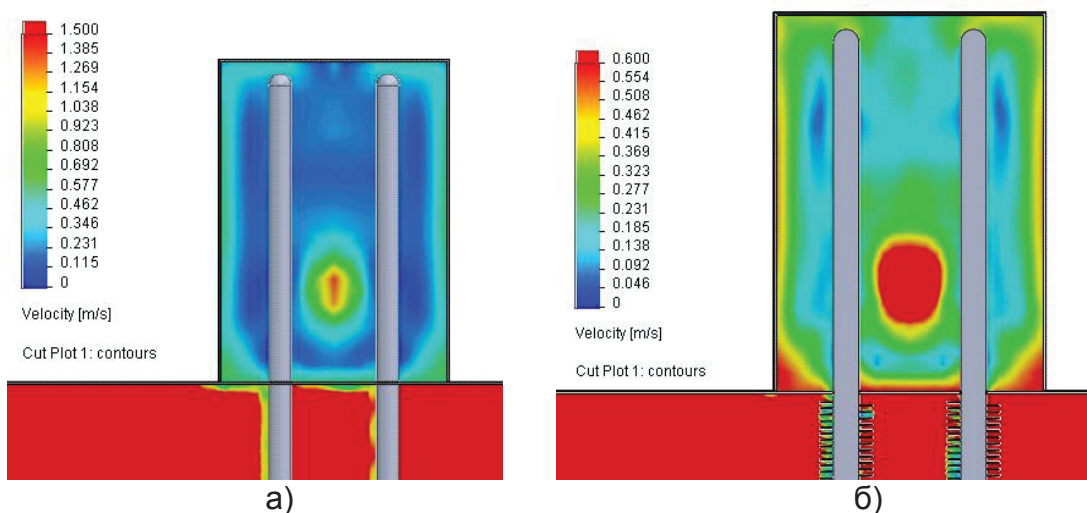
По-интензивният топлообмен в газовата среда води и до по-високи температури в течната среда в случая с оребрени термосифони (Фиг. 4б), отколкото при гладки термосифони (Фиг. 4а).

Скоростта на димните газове при оребрените и неоребрени термосифони са близки (Фиг. 5), като в междутръбното пространство скоростта е по-голям, отколкото в непосредствена близост до тръбите, където триенето оказва значително влияние (Фиг.5).

Получените резултати показват, че скоростта на питателната вода в топлообменния апарат при гладки термосифони е много малка (около 0.1 - 0.2 m/s), докато при оребрени термосифони тя достига 0.2 - 0.3m/s (Фиг. 6). При конструиране на нови апарати от подобен тип трябва да се предприемат мерки за увеличаване на скоростта, което ще подобри топлообмена между термосифона и нагрявания флуид.



Фиг. 5. Скоростни полета на димните газове при топлинни тръби с оребряване (а) и без оребряване (б)



Фиг. 5. Скоростни полета на водата при топлинни тръби с оребряване (а) и без оребряване (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработен е математически модели и е проведено числено симулиране на топлинните и хидродинамични процеси в топлообменник с два термосифона.

Разгледани са случаи на оребрени и неоребрени термосифони.

При симулирането с оребрени термосифони броят на изчислителните клетки е 13.6 пъти по-голям, отколкото при гладки термосифони. Това води и до значително по-продължително време за симулиране при оребрените термосифони.

Следователно при по-сложна геометрия и оребрани повърхности трябва много прецизно да се настройват параметрите на физичния модел в програмния продукт, за да се достигне до успешно решаване на задачата с избрания софтуерен инструмент.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Венев М., И. Илиев, В. Камбурова, А. Терзиев, Ст. Лазаров, Утилизация на отпадна топлина чрез оребрани термосифонни водонагреватели, .// Топлотехника, 2014, брой TBD, стр. TBD, ISSN 1314-2550.
- [2] Илиев И., Методи и средства за ефективно оползотворяване на отпадъчна топлина от нископотенциални парогазови потоци. Русе, Университетски издателски център при РУ "Ангел Кънчев", 2013, стр. 152, ISBN 978-619-90013-9-4.
- [3] Cosmos Flow Works, Fundamentals, 2008
- [4] Introducing Cosmos Flow Works, 2006

Контакти:

Доц. д-р Веселка Камбурова, Русенский университет "Ангел Кънчев" - филиал Разград, GSM: 0885 955 347, e-mail: vkambourova@enconservices.com
маг.инж. Светла Баева Русенски университет "Ангел Кънчев", tel: +359 899 406 656, e-mail: svbaeva@abv.bg

Докладът е рецензиран.