

Studiul transferului termic în schimbătoare de căldură cu tuburi tri-concentrice pentru integrarea acestora în instalațiile tehnologice de petrol

Conducător doctorat: prof. dr. ing. Ion Onuțu

Doctorand: ing. Sînziana Rădulescu

În instalațiile tehnologice din rafinăriile de petrol schimbătoarele de căldură tubulare au un rol major în realizarea transferului termic în procese precum încălzire, preîncălzire, răcire, condensare, vaporizare etc. Din această categorie de aparate fac parte schimbătoarele de căldură fascicul tubular în manta și schimbătoarele de căldură tub în tub. Schimbătoarele de căldură fascicul tubular în manta sunt cele mai utilizate. Avantajele utilizării acestora constau în construcția simplă, pierderi mici de presiune și o întreținere ușoară. Schimbătoarele de căldură tub în tub prezintă avantajul de a lucra în contracurent ceea ce presupune un mai bun transfer de căldură, pot fi operate la temperaturi înalte, au o bună rezistență la presiuni ridicate, iar în funcție de necesități suprafața acestora poate fi modificată prin mărirea sau reducerea numărului de elemente. Dezavantajul utilizării acestora poate fi dat de dimensiunile mari de gabarit, devenind astfel voluminoase și grele în raport cu aria de transfer de căldură. O variantă constructivă modificată a schimbătorului de căldură tub în tub este schimbătorul de căldură cu tuburi tri-concentrice. În comparație cu un schimbător de căldură tub în tub, acest aparat are avantajele unei suprafețe mai mari de transfer de căldură pe unitatea de lungime și coeficienți globali de transfer de căldură mai mari. Utilizate îndeosebi în industria alimentară, schimbătoarele de căldură cu tuburi tri-concentrice au început să prezinte interes pentru utilizarea și în alte domenii industriale.

În această teză de doctorat, se propune integrarea schimbătoarelor de căldură cu tuburi tri-concentrice în instalațiile tehnologice din rafinăriile de petrol pentru răcirea sau încălzirea fluxurilor tehnologice primare sau secundare. Studiul privind integrarea schimbătoarelor de căldură cu tuburi tri-concentrice s-a concretizat prin analiza literaturii de specialitate privind schimbătoarele de căldură cu tuburi tri-concentrice, studii experimentale ale transferului de căldură cu medii apă și produse petroliere într-un schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice, modelarea matematică și simularea predicției temperaturilor de ieșire pentru acest aparat și analize tehnologice comparative între un schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice și un

schimbător de căldură tub în tub, respectiv fascicul tubular în manta. Studiul experimental constă în analiza transferului de căldură apă – apă, motorină – apă și ulei de hidrocracare - apă într-un schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice proiectat, construit și operat la nivel de laborator.

Într-un schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice, pentru transferul de căldură între fluidul care circulă prin spațiul inelar interior, spațiul creat între tubul interior și tubul intermediar, și celelalte două fluide se definesc doi coeficienți globali de transfer de căldură. Pentru o analiză globală a transferului de căldură, în teză s-a stabilit expresia coeficientului global de transfer de căldură pe aparat (efectiv) în funcție de coeficienții parțiali de transfer de căldură, expresie se poate fi utilizată în calculele de proiectare și verificare tehnologică a acestui tip de aparat.

În literatura de specialitate, cele mai multe dintre corelațiile existente pentru calculul coeficientului parțial de transfer de căldură sunt stabilite pe baza determinărilor experimentale, sunt generale și particularizate pentru cazul curgerii prin spații circulare. În schimb, la curgere prin spații inelare, întâlnită în schimbătoarele de căldură cu tuburi concentrice, relațiile criteriale sunt limitate în cazul regimurilor de curgere laminar și tranzitoriu și cu atât mai mult pentru produse petroliere. Complexitatea proceselor în curgerile laminare și tranzitorii prin spații inelare a motivat în plus investigarea experimentală care în teză s-a finalizat cu propuneri de relații criteriale cu validitate în domenii parametrice precizate. De asemenea, s-a realizat studiul influenței structurii de curgere - contracurent și echicurent asupra transferului de căldură apă - apă și ulei de hidrocracare - apă. Datele experimentale pentru transferul de căldură ulei de hidrocracare - apă au fost folosite în teză și în scopul simulării unui modelul matematic dezvoltat pentru predicția temperaturilor de ieșire ale fluidelor dintr-un schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice. Modelul elaborat poate fi utilizat atât în proiectarea și verificarea tehnologică cât și în simularea schimbătoarelor de căldură cu tuburi tri-concentrice.

Cuvinte cheie: transfer de căldură, schimbător de căldură tub în tub, schimbător de căldură cu tuburi tri-concentrice, coeficienți parțiali de transfer de căldură, coeficienți globali de transfer de căldură, curgerea prin spații inelare, regim de curgere tranzitoriu, regim de curgere laminar, modelare și simulare.

Study of heat transfer in triple concentric-tube heat exchangers for their integration in technological petroleum plants

PhD Supervisor: prof. PhD eng. Ion Onuțu

PhD student: eng. Sînziana Rădulescu

Abstract

The tubular heat exchangers play a major role in process units of petroleum refineries when it comes to achieving heat transfer processes such as heating, pre-heating, cooling, condensation, evaporation and so forth. This category of equipment includes shell and tube heat exchangers and tube in tube heat exchangers. The shell and tube heat exchangers are the most used. The main advantages of these devices consist of their simple design, low pressure loss and easy maintenance. The tube in tube heat exchangers have the advantage to work in counter-current flow, which implies a better heat transfer. They can be operated at high temperatures, have good resistance to high pressures and, whenever necessary, their surface can be modified by increasing or reducing the number of elements. The disadvantage of their use might be related to their large overall dimensions, making them bulky and heavy relative to the heat transfer area. A modified constructive version of a tube in tube heat exchanger is the triple concentric - tube heat exchanger. Compared with a tube in tube heat exchanger, this device has the advantages of a larger surface area for heat transfer per unit length and higher overall heat transfer coefficients. Mainly used in the food industry, the triple concentric - tube heat exchangers have started to present interest for uses in other industries as well.

In the present PhD thesis, the integration of the triple concentric - tube heat exchangers in process units of petroleum refineries for cooling or heating primary or secondary flows is proposed. The study on the integration of the triple concentric - tube heat exchangers has materialized in the literature review on the triple concentric - tube heat exchangers, in experimental studies on the water and petroleum products heat transfer in a triple concentric - tube heat exchanger, in the mathematical modelling and simulation of the outlet temperatures prediction for this devices and in technological comparative analyses between a triple concentric - tube heat exchanger and a tube in tube heat exchanger and a shell and tube heat exchanger,

respectively. The experimental part of the thesis consists in the study of the heat transfer process occurring in a triple concentric - tube heat exchanger for several systems: water - water, diesel fuel - water and hydrocracking oil – water. The triple concentric - tube heat exchanger used within the research was constructed and operated at laboratory level.

In order to describe the heat exchange processes occurring in a triple concentric - tube heat exchanger, two overall heat transfer coefficients are defined. These coefficients are used for the heat transfer between the fluid which flows through the inner annular space, the space created between the inner tube and the intermediate tube, and the other two fluids. For a global analysis of the heat transfer, in the thesis there was established the expression of the overall heat transfer coefficient per device (the effective one) according to the partial heat transfer coefficients. The established relationship can be further used in designing and technological verification of this type of device.

In the literature, most of the correlations used to calculate the partial heat transfer coefficient are based on experimental measurements, are general and particularized in case of the flow through circular space. But for the flow through annular space, which is found in concentric tube heat exchangers, the correlations are limited for laminar and transitional flow regimes and even more for petroleum products. Due to the complexity of the processes for laminar and transition flow through the annular space, the need to supplementary experimental investigation appeared. Therefore, the research study presented in this thesis concludes with proposals for correlations with parametric specified fields. Furthermore, there has been studied the influence of the flow structure - counter and concurrent flow on the water - water heat transfer and hydrocracking oil – water heat transfer.

The experimental data for the hydrocracking oil - water heat transfer has been used in the thesis to simulate a mathematical model developed in order to predict the outlet temperatures of the fluids in a triple concentric - tube heat exchanger. The developed model can be used in the design, technological verification or simulation of the heat exchangers tri-concentric tubes.

Keywords: heat transfer, tube in tube heat exchanger, triple concentric-tube heat exchanger, partial heat transfer coefficient, overall heat transfer coefficient, flow through annular space, transitional flow regime, laminar flow regime, modeling and simulation.