

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Facultatea Inginerie Mecanică Industrială și Transporturi**

**Departamentul Inginerie Mecanică**

**Programul de master „Inginerie Mecanică”**

**Admis la susținere**

**Șef departament**

**dr., conf.univ. N.Țislinscaia**

**„\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_2021**

## **ANALIZA METODELOR DE SPORIRE**

### **A EFICIENȚEI APARATELOR**

### **DE SCHIMB DE CĂLDURĂ**

**Teză de master**

**Student \_\_\_\_\_Popa Constantin, IM-201**

**Conducător \_\_\_\_\_ Guțu Marin,  
conf. univ., dr.**

**Chișinău - 2022**

## ADNOTARE

Popa Constantin „**Analiza metodelor de sporire a eficienței aparatelor de schimb de căldură**”. Teza de master în tehnică, Chișinău, 2021. Introducere, 3 capitole, concluzii, bibliografie – 110 surse citate, 68 pagini, 44 formule ce calcul, 35 figuri.

**Cuvinte-cheie:** Eficiență, transfer de căldură, sursă de căldură schimbător de căldură.

**Domeniul de studiu:** Mașini și Aparate în Industria Alimentară.

**Scopul lucrării:** Constă în analiza metodelor de sporire și eficientizare al transferului de căldură în schimbătoarele de căldură.

**Obiectivele de bază ale lucrării:** Studiul teoretic al procesului de transfer de căldură. Studiul și analiza schimbătoarelor de căldură. Identificarea metodelor de eficientizare a transferului de căldură.

**Capitolul I:** În aspecte teoretice ale procesului de transfer de căldură, sunt analizate noțiunile teoretice ale transferului de căldură, este analizat stadiul actual de dezvoltare al procesului de transfer de căldură, de asemenea sunt identificate metode noi de transfer al căldurii aplicate în schimbătoarele de căldură, și este abordat un studiu al dinamicii fluidului în aparatele de schimb de căldură.

**Capitolul II:** Pentru a efectua analiza comparativă al schimbătoarelor de căldură, au fost studiate modele noi al schimbătoare de căldură aplicate în industrie, totodată s-a analizat caracteristica industriilor unde sunt aplicate a schimbătoarele de căldură, a fost efectuată analiza metodelor de eficientizare al transferului de căldură și s-a abordat caracteristica agenților termici utilizați în schimbătoarele de căldură.

**Capitolul III:** În metode de eficientizare a procesului de transfer de căldură, a fost abordată problema optimizării parametrilor geometrici al schimbătorului de căldură, de asemenea s-a analizat caracteristica materialelor utilizate pentru eficientizarea schimbului de căldură, ulterior a fost determinat bilanțul energetic al schimbătorului de căldură.

La finele lucrării sunt prezentate unele concluzii și recomandări.

## ANNOTATION

Popa Constantin "**Analysis of methods to increase the efficiency of heat exchangers**". Master's thesis in technique, Chisinau, 2021. Introduction, 3 chapters, conclusions, bibliography - 110 cited sources, 68 pages, 44 formulas that calculate, 35 figures.

**Keywords:** Efficiency, heat transfer, heat exchanger heat exchanger.

**Studies domain:** Machines and Apparatus in the Food Industry.

**Aim of the paper:** It consists in the analysis of the methods of increase and efficiency of the heat transfer in the heat exchangers.

**Basic objectives of the paper:** Theoretical study of the heat transfer process. Study and analysis of heat exchangers. Identify methods for heat transfer efficiency.

**Chapter I:** In theoretical aspects of the heat transfer process, the theoretical notions of heat transfer are analyzed, the current stage of development of the heat transfer process is analyzed, new methods of heat transfer applied in heat exchangers are also identified, and it is approached a study of fluid dynamics in heat exchangers.

**Chapter II:** In order to perform the comparative analysis of heat exchangers, new models of heat exchangers applied in industry were studied, at the same time the characteristic of the industries where heat exchangers are applied was analyzed, the analysis of heat transfer efficiency methods was performed and characteristic of thermal agents used in heat exchangers.

**Chapter III:** In methods of streamlining the heat transfer process, the problem of optimizing the geometric parameters of the heat exchanger was addressed, also the characteristic of the materials used to streamline the heat exchange was analyzed, then the energy balance of the heat exchanger was determined.

At the end some conclusions and recommendations are presented.

.

# CUPRINS

**Adnotare**

**Introducere**

*pag.*

<b>Capitolul I</b>	<b>Aspecte teoretice ale procesului de transfer de căldură</b>	8
1.1	Noțiuni teoretice ale transferului de căldură.	8
1.2	Stadiul actual de dezvoltare al procesului de transfer de căldură.	16
1.3	Metode noi de transfer al căldurii aplicate în schimbătoarele de căldură.	20
1.4	Studiul dinamicii fluidului în aparatele de schimb de căldură.	25
<b>Capitolul II</b>	<b>Analiza comparativă al schimbătoarelor de căldură</b>	31
2.1	Modele noi al schimbătoare de căldură aplicate în industrie.	31
2.2	Caracteristica industriilor de aplicare a schimbătoarelor de căldură.	44
2.3	Analiza metode de eficientizare al transferului de căldură.	48
2.4	Caracteristica agenților termici utilizați în schimbătoarele de căldură.	51
<b>Capitolul III</b>	<b>Metode de eficientizare a procesului de transfer de căldură</b>	53
3.1	Optimizarea parametrilor geometrici al schimbătorului de căldură.	53
3.2	Caracteristica materialelor utilizate pentru eficientizarea schimbului de căldură.	58
3.3	Determinarea bilanțului energetic al schimbătorului de căldură.	61

**Concluzii generale și recomandări**

**Bibliografie**

## INTRODUCERE

Procesele termice sunt o parte integrantă a procesului de producție a alimentelor. Gama de energie termică utilizată în producția de alimente este foarte mare. De exemplu, încălzirea, răcirea, evaporarea, uscarea, condensarea și multe alte procese biochimice. Forța motrice a transferului de căldură (fluxul de căldură) este prezența unei diferențe de temperatură - un gradient de temperatură. Căldura este transferată de la un corp la altul prin mecanismul de transfer de căldură prin conducție, convecție sau radiație a căldurii [1]. Radiația de căldură este utilizată pe scară largă în producția de alimente. În general, în regiunea infraroșu a spectrului cu o lungime de undă de la 1 la 40 de microni, poate fi transferată o cantitate suficient de mare de căldură, iar intensitatea radiației crește odată cu creșterea temperaturii (peste 600°C). În acest caz, în principal căldură schimbul dintre corpurile care interacționează se realizează prin mijloace de energie radiantă. Cele mai frecvente procese întâlnite într-o fabrică de procesare a alimentelor implică încălzirea și răcirea alimentelor. În modernul industrializat industria alimentară, întâlnim în mod obișnuit operațiuni unitare, cum ar fi refrigerarea, congelarea, sterilizarea termică, uscarea și evaporarea. Aceste operațiuni unitare presupun transferul de căldură între un produs și un mediu de încălzire sau de răcire [2]. Încălzirea și răcirea produselor alimentare este necesară pentru a preveni degradarea microbiană și enzimatică. În plus, proprietățile senzoriale dorite - culoare, aromă, textură – sunt distribuite alimentelor atunci când sunt încălzite sau răcite. Studiul transferului de căldură este important deoarece oferă o bază pentru înțelegerea modului în care funcționează diferite procese alimentare. Transferul de căldură este una dintre cele mai importante și mai comune discipline de inginerie în prelucrarea alimentelor. Există multe operațiuni unitare în industria alimentară unde are loc transferul de căldură în stare stabilă sau instabilă, de ex. sterilizare, deshidratare, înghețarea etc. Transferul de căldură în aceste operațiuni este de importanță primordială și afectează proiectarea echipamentelor, precum și aspectele de siguranță, nutriționale și senzoriale ale produsului. În aplicarea cunoștințelor despre transferul de căldură la procesarea alimentelor, trebuie să luați în considerare ținând cont că industria alimentară se ocupă de obicei cu materii prime dificile cu neregulate forme, în multe cazuri de consistență neuniformă și variabilă, cu fizică proprietăți care se pot modifica în timpul procesării [3]. Datorită acestor complexități, Ecuațiile diferențiale de transfer de căldură în stare instabilă pot fi rezolvate doar analitic cu mai multe ipoteze simplificatoare, în timp ce soluții numerice ale acestor ecuații poate face față unor astfel de complexități. Cercetarea și dezvoltarea în transferul de căldură este de o importanță semnificativă la multe ramuri ale tehnologiei, nu în ultimul rând în tehnologia energetică.

## Bibliografie

- [1] A. Bergles, Enhanced heat transfer: endless frontier, or mature and routine, *J Enhanced Heat Transfer* 6 (2–4) (1999) 79–88.
- [2] R. Webb, *Principles of Enhanced Heat Transfer*, Wiley Interscience, 1994.
- [3] A. Bontemps, A. Garrigue, C. Goubier, J. Huetz, C. Marvillet, P. Mercier, R. Vidil, *Echangeur de chaleur: intensification des échanges thermiques*, Techniques de l'ingénieur (1994).
- [4] M. Miscevic, O. Rahli, L. Tadrist, F. Topin, Experiments on flows, boiling and heat transfer in porous media: emphasis on bottom injection, *Nucl. Eng. Des.* 236 (19–21) (2006) 2084–2103.
- [5] L. Tadrist, M. Miscevic, O. Rahli, F. Topin, About the use of fibrous materials in compact heat exchangers, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 28 (2–3) (2004) 193–199.
- [6] A.S. Dalkilic, S. Wongwises, Intensive literature review of condensation inside smooth and enhanced tubes, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (15–16) (2009) 3409–3426.
- [7] A. Cavallini, D. Del Col, L. Doretti, G. Longo, L. Rossetto, A new computational procedure for heat transfer and pressure drop during refrigerant condensation inside enhanced tubes, *J. Enhanced Heat Transfer* 6 (6) (1999) 441–456.
- [8] A. Miyara, Y. Otsubo, S. Ohtsuka, Y. Mizuta, Effects of fin shape on condensation in herringbone microfin tubes, *Int. J. Refrig.* 26 (4) (2003) 417–424.
- [9] N. Khan, D. Pinjala, K. Toh, Pool boiling heat transfer enhancement by surface modification/micro structures for electronics cooling: a review, in: 6<sup>th</sup> Electronics Packaging Technology Conference EPTC2004, 2004, pp. 273–280.
- [10] M.S. El-Genk, A.F. Ali, Enhanced nucleate boiling on copper micro-porous surfaces, *Int. J. Multiphase Flow* 36 (2010) 780–792.
- [11] M.E. Poniewski, J.R. Thome, *Nucleate Boiling on Micro-Structured Surfaces*, Heat Transfer Research, Inc., College Station, USA, 2008.
- [12] H.T. Phan, *Effects of nano and micro-surface treatments on boiling heat transfer*, Ph.D. thesis, Université de Grenoble, 2009.
- [13] N.J. Shirtcliffe, G. McHale, S. Atherton, M.I. Newton, An introduction to superhydrophobicity, *Adv. Colloid Interface Sci.* 161 (2010) 124–138.
- [14] D. Quirř, Surface chemistry – Fakir droplets, *Nature Matter* 1 (1) (2002) 14–15.
- [15] H.T. Phan, N. Caney, P. Marty, S. Colasson, J. Gavillet, A model to predict the effect of contact angle on the bubble departure diameter during heterogeneous boiling, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 37 (8) (2010) 964–969.

- [16] S. Kakac, A. Pramuanjaroenkij, Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (13–14) (2009) 3187–3196.
- [17] S. Ozerinc, S. Kakac, A.G. Yazicioglu, Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review, *Microfluid. Nanofluid.* 8 (2) (2010) 145–170.
- [18] S. Heris, S. Etemad, A. Esfahany, Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, *Int. Commun. Heat Mass Transfer* 33 (4) (2006) 529–535.
- [19] R.A. Taylor, P.E. Phelan, Pool boiling of nanofluids: comprehensive review of existing data and limited new data, *Int. J. Heat Mass Transfer* 52 (23–24) (2009) 5339–5347.
- [20] B. Schneider, A. Kosar, C.-J. Kuo, C. Mishra, G.S. Cole, R.P. Scaringe, Y. Peles, Cavitation enhanced heat transfer in microchannels, *J. Heat Transfer – Trans. ASME* 128 (12) (2006) 1293–1301.
- [21] C. Mishra, Y. Peles, An experimental investigation of hydrodynamic cavitation in micro-Venturis, *Phys. Fluids* 18 (10) (2006) 103603–103605.
- [22] C. Mishra, Y. Peles, Development of cavitation in refrigerant (R-123) flow inside rudimentary microfluidic systems, *J. Microelectromech. Syst.* 15 (5) (2006) 1319–1329.
- [23] C. Mishra, Y. Peles, Cavitation in flow through a micro-orifice inside a silicon microchannel, *Phys. Fluids* 17 (1) (2005) 013601.
- [24] C. Mishra, Y. Peles, Flow visualization of cavitating flows through a rectangular slot micro-orifice ingrained in a microchannel, *Phys. Fluids* 17 (11) (2005) 113602–113614.
- [25] C. Mishra, Y. Peles, Size scale effects on cavitating flows through microorifices entrenched in rectangular microchannels, *J. Microelectromech. Syst.* 14 (5) (2005) 987–999.
- [26] B. Schneider, A. Kosar, Y. Peles, Hydrodynamic cavitation and boiling in refrigerant (R-123) flow inside microchannels, *Int. J. Heat Mass Transfer* 50 (13–14) (2007) 2838–2854.
- [27] R.M. Manglik, A.E. Bergles, Heat transfer and pressure drop correlations for twisted-tape inserts in isothermal tubes part i laminar flows, *J. Heat Transfer* 115 (1993) 890.
- [28] R. Thakur, C. Vial, K. Nigam, E. Nauman, G. Djelveh, Static mixers in the process industries a review, *Chem. Eng. Res. Des.* 81 (A7) (2003) 787–826.
- [29] A.E. Bergles, *Survey and Evaluation of Techniques to Augment Convective Heat and Mass Transfer*, vol. 1, Pergamon, Oxford, 1969.
- [30] E. Kalinin, G. Dreitser, Heat transfer enhancement in heat exchangers advances, *Heat Transfer* 31 (1998) 159–332.