A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

METODĂ ANALITICĂ ŞI EXPERIMENTALĂ PENTRU DETERMINAREA COEFICIENTULUI DE CONVECŢIE TERMICĂ

Mihaela FLORI, Lucia VÎLCEANU

ANALYTIC AND EXPERIMENTAL METHOD FOR DETERMINATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFCIENT

This paper describes how analytic and experimental method for determining the heat convection coefficient for a cylindrical wall placed horizontally and warmed on the inside. Analytical method consists in calculating the criteria of similarity (invariants) describing the phenomenon of thermal convection, and by experimental method taking into account heat transfer by free convection and radiation between the wall and the environment.

Cuvinte cheie: convecţie liberă, coeficient de convecţie termică, criteriu de similitudine, metodă experimentală

Keywords: free convection, convection heat transfer coefficient, similarity criterion, experimental method

1.Introducere

Convecţia termică reprezintă procesul de transmitere a căldurii între un solid şi un fluid care spală peretele solidului. Convecţia liberă presupune o mişcarea a fluidului datorită diferenţei de densitate cauzată de gradientul de temperatură dintre fluid şi solid. Acest fenomen este extrem de complex, iar determinarea analitică a fluxului de căldură transmis prin convecţie termică se bazează pe

generalizarea rezultatelor experimentale utilizând metodele teoriei similitudinii.

Pentru calculul căldurii schimbate prin convecţie, se utilizează relaţia lui Newton, care exprimă fluxul de căldură transmis între un fluid şi peretele care îi delimitează mişcarea:

$$\dot{Q}_c = \alpha \cdot A \cdot \left(t_p - t_f\right)\left[W\right] \tag{1}$$

unde: $\dot{Q}_c$ [W] - fluxul de căldură transmis prin convecţie termică;

α [W/m^{2}K] - coeficientul de convecţie termică;

A [m^2] - aria suprafeţei de contact dintre fluid şi perete;

t_p, t_f [^{0}C] - temperatura peretelui, respectiv cea a fluidului.

În figura 1 se prezintă izotermele din jurul unui cilindru orizontal încălzit la 101,4 ^{0}C în contact cu mediul ambiant [1].

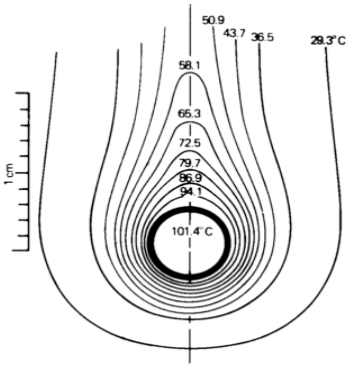

Fig. 1 Izoterme în jurul unui cilindru orizontal încălzit [1]

În lucrare se urmăreşte determinarea coeficientului α de transmiterea a căldurii prin convecţie liberă între suprafaţa metalică a unui perete cilindric orizontal încălzit în interior şi aerul înconjurător. Temperatura peretelui este menţinută constantă şi mai mare decât cea a mediului ambiant.

2. Calculul analitic al coeficientului de convecţie

Coeficientul de convecţie termică α se determină prin calcul utilizând criteriile de similitudine (invarianţii) care descriu fenomenul convecţiei termice [2-6]:

- invariantul Nusselt: $$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \tag{2}$$

- invariantul Grashof: $Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot D^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}$ (3)

- invariantul Prandtl: $Pr = \frac{\nu}{a}$ (4)

Mărimile care apar în expresiile acestor invarianţi sunt:

D [m] - dimensiune liniară caracteristică - diametrul exterior al cilindrului;

λ [W/mK] - conductivitatea termică a fluidului;

$\beta = 1/T_m$ [K^{-1}] - coeficient de dilatare,

unde: $T_m = \frac{t_p + t_f}{2} + 273[K]$ - temperatura medie;

g = 9,81 m/s^2 - acceleraţia gravitaţională;

$\Delta t = t_p - t_f$ - diferenţa de temperatură dintre perete şi fluid;

ν [m^2/s] - vâscozitatea cinematică a fluidului;

a [m^2/s] - difuzivitatea termică a fluidului.

Mărimile λ, ν şi *a* se citesc din tabele la temperatura medie calculată T_m.

În literatura de specialitate există un număr foarte mare de date experimentale obţinute pentru diverse fluide şi suprafeţe de diverse forme. Miheev a reuşit pe baza acestor date să scrie o ecuaţie criterială de forma:

$$Nu_m = C(Gr \cdot Pr)_m^n \quad (5)$$

În relaţia de mai sus indicele "*m*" se referă la faptul că toate mărimile fizice care intră în expresiile invarianţilor sunt luate la temperatura medie T_m a stratului limită. Constantele *C* şi *n*, determinate experimental, corespunzătoare celor trei regimuri de curgere (laminar, laminar intensificat şi turbulent), sunt date în tabelul 1:

Tabelul 1

Domeniul	$(Gr \cdot Pr)_m$	**C**	**n**
1	$1 \cdot 10^{-3} \div 5 \cdot 10^2$	1,18	1/8
2	$5 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$	0,54	1/4
3	$2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$	0,135	1/3

Din relaţiile (2) şi (5) se obţine expresia de calcul a coeficientului de convecţie termică în regimul de convecţie liberă:

$$\alpha_{calc} = \frac{C(Gr \cdot Pr)_m^n \cdot \lambda}{D} [W/m^2K] \quad (6)$$

3. Metoda experimentală

Schema instalaţiei experimentale aflată în dotarea *Laboratorului* de *Termotehnică şi agregate termice* de la **Facultatea de Inginerie din Hunedoara**, se prezintă în figura 2. Recipientul cilindric (3), cu diametrul *D* şi lungimea *L*, este umplut cu ulei încălzit cu ajutorul rezistenţei electrice (4), alimentată prin panoul de control (5), care conţine un ampermetru pentru măsurarea intensităţii curentului de alimentare a rezistenţei, un voltmetru pentru măsurarea tensiunii şi un întrerupător de cuplare la reţeaua electrică. Temperatura peretelui este indicată de termometrele de sticlă cu mercur (1) şi (2).

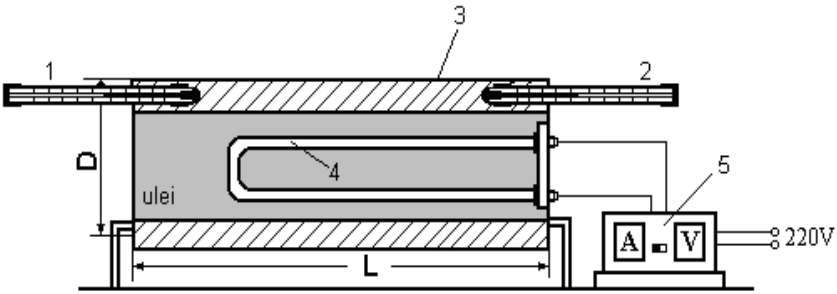

Fig. 2 Schema instalaţiei experimentale

Modul de lucru este următorul:

- Se conectează la reţea rezistenţa de încălzire;
- După stabilizarea temperaturilor măsurate cu termometrele (1) şi (2) ca urmare a echilibrului termic realizat, acestea se vor citi împreună cu temperatura aerului înconjurător, măsurată de asemenea cu un termometru de sticlă cu mercur. Se citesc, în continuare, indicaţiile voltmetrului (V) şi ampermetrului (A).
- Se determină prin măsurători dimensiunile geometrice ale ţevii încălzite.
- Valorile măsurate şi calculate pentru determinarea experimentală a coeficientului de convecţie liberă sunt centralizate tabelar.
- Se calculează coeficientul de convecţie metal – aer cu relaţia:

$$\alpha_{exp} = \frac{\dot{Q}_c}{A\left(t_{pm} - t_f\right)} \text{ [W/m}^2\text{K]} \qquad (7)$$

unde: $$\dot{Q}_c = U \cdot I - \dot{Q}_r \quad [W] \tag{8}$$

$t_{pm} = \frac{t_{p1} + t_{p2}}{2} \left[{}^0C\right]$ - temperatura medie a peretelui;

A = $\pi DL + \pi D^2/2$ [m^2] - aria totală a recipientului cilindric;

$\dot{Q}_r$ [W] - căldura transmisă prin radiaţie, dată de relaţia:

$$\dot{Q}_r = \varepsilon \cdot C_N \cdot A \left[\left(\frac{T_{pm}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_f}{100} \right)^4 \right] \tag{9}$$

ε - coeficientul energetic de emisie a suprafeţei tubului (tabelar);
C_N = 5,775 [W/m^2K^4] - constanta de radiaţie a corpului absolut negru;
T_{pm}, T_f [K] - temperatura absolută a suprafeţei tubului, respectiv cea a aerului înconjurător.

Coeficientul de convecţie termică α[W/m^2K] este influenţat de o multitudine de factori de natură hidrodinamică, termică, geometrică, astfel încât: $\alpha = f(\rho, c_p, Re, T, l...)$ [1, 2].

În cazul convecţiei libere, la temperaturi ale peretelui exterior mai mici de 100 ^0C, coeficientul de transfer termic α nu depăşeşte valoarea de 7 $W/(m^2K)$ [6].

4. Concluzii

■ Pentru un perete cilindric încălzit în interior, coeficientul de convecţie termică α [W/m^2K] poate fi calculat cu ajutorul criteriilor de similitudine (invarianţii Nusselt, Grasshof şi Prandtl) în funcţie de geometria surafeţei, proprietăţile fizice ale fluidului şi valoarea diferenţei de temperatură dintre perete şi aer.

■ Metoda experimentală presupune determinarea căldurii primite de perete în timpul încălzirii şi a celei schimbate prin radiaţie cu mediului ambiant.

BIBLIOGRAFIE

[1] Lienhard, John H., John, I.V., Lienhard, V., *A heat transfer textbook. Third edition*, Phologiston Press, Cambridge, pag. 415, 2005.

[2] Vîlceanu, Lucia, Flori, Mihaela, *Termotehnică. Aplicaţii practice*, Îndrumar laborator, Editura Politehnica Timişoara, 2009.
[3] Vîlceanu, Lucia, *Transfer de căldură şi instalaţii termice*, Editura Cermi, Iaşi, 2008.
[4] Atayılmaz, Ö., Teke, İ., *Experimental and numerical study of the natural convection from a heated horizontal cylinder wrapped with a layer of textile material*, International Communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) 58–67.
[5] Misumi, T., Suzuki, K. Kitamura, K., *Fluid Flow and Heat Transfer of Natural Convection Around Large Horizontal Cylinders: Experiments with Air*, Heat Transfer-Asian Research, 32/4 (2003) pag. 293-305.
[6] Reymond, O., Murray, Darina, B., O'Donovan, T.S., *Natural convection heat transfer from two horizontal cylinders*, Experimental Thermal and Fluid Science 32 (2008), pag.1702–1709.
[7] Andreozzi, A., Jaluria, J., Manca, O., *Numerical Investigation of Transient Natural Convection in a Horizontal Channel Heated from the Upper Wall*, Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology, 51/9 (2007), pag. 815-842.

Asist.Dr.Ing. Mihaela FLORI
mihaela.flori@fih.upt.ro

Conf.Dr.Ing. Lucia VÎLCEANU
lucia.vilceanu@fih.upt.ro

membri AGIR
Facultatea de Inginerie Hunedoara
Universitatea "Politehnica" Timișoara
Hunedoara, Str. Revoluţiei, Nr.5, 331128