

DEFINIȚIE ANALITICĂ PRELIMINARĂ A UNUI SCHIMBĂTOR DE CĂLDURĂ BIOLOGIC

V.B. UNGUREANU¹ V. BENCHE¹ R. ȚÂRULESCU¹

Abstract: Se prezintă și se analizează sumar, preliminar din punct de vedere termic și hidro-energetic, schimbătoarele de căldură biologic din picioarele pescărușilor în contracurent, fără amestec, cu o singură trecere, care încălzește sângele care urcă spre inimă, cu procedeele / tehnicile utilizate pentru calculul termic al schimbătoarelor recuperatoare industriale (metoda diferenței medii logaritmice de temperatură, metoda $e - NTU$, metoda $P - NTU$, metoda $Q-P-R-NTU$); Într-o aplicație numerică s-au calculat valorile fluxului termic, puterile și energiile termice și hidraulice, coeficientul global de transfer de căldură, echivalentele consumurilor energetice (în benzină, în hrană), ș.a. Aparatul biologic exprimat prezintă o energetică uimitoare, performanțe remarcabile. Studiul lor mai exact, cu date experimentale pe care încă nu le posedăm, înțelegerea rafinată, complicatelor, eficientelor mecanisme biologice, ar putea conduce la descoperiri și sugestii / aplicații / adaptări tehnice moderne, cu performanțe extrem de avantajoase

Key words: schimbător de căldură în contracurent, eficiență termică.

1. Introducere

De ce pescărușului nu-i îngheață picioarele? Cum reușește această pasăre să-și păstreze căldura corpului când stă pe gheață (fig.1)? În parte acest lucru se datorează unor schimbătoare de căldură din picioarele pescărușului care încălzesc sângele care urcă spre inimă care au la bază principiul schimbătoarelor de căldură recuperatoare în contracurent.

Schimbătorul de căldură în contracurent este alcătuit din două tuburi alăturate, în contact fizic, prin care circulă lichid, printr-un sânge arterial, cald, prin celălalt, □fficient sânge venos rece. Între cele două lichide are loc un schimb de căldură. Dacă lichidele ar circula în același sens s-ar

transfera cel mult jumătate din căldură; circulând în sensuri opuse se transferă aproape întreaga căldură.



Fig. 1. Pescărușul, o pasăre remarcabilă.

Datorită schimbătorului de căldură sângele cald care coboară spre picioarele

¹ Dept. of Thermodynamics and Fluid Dynamics, Transilvania University of Brașov

pescărușului se răcește ajungând aproape de punctul de îngheț, iar sângele rece care urcă spre inimă se încălzește (fig.2).

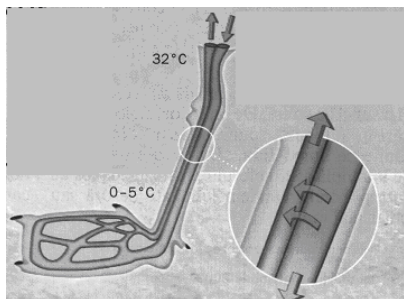


Fig. 2. Schimbătoarele de căldură din picioarele pescărușului încălzesc sângele care urcă spre inimă.

Autorii încearcă, cu date experimentale încă insuficiente să definească și să descopere, printr-un studiu analitic secretul acestui schimbător de căldură biologic atât de ingenios și eficient, cu eventualele sugestii tehnico – economice benefice asupra celui ingeniaturat de om, industrial.

În lucrările [1,2] autorii au prezentat studii energetice asupra aparatului circulator uman, demonstrând prin calcule și rezultate numerice incredibila economicitate și adaptabilitate a organismului uman.

2. Definiție – încadrare

Se numesc schimbătoare de căldură aparatele termice în care are loc un schimb de căldură între un fluid cald (agent termic primat „1”) și unul rece (agent termic secundar „2”). În cazul studiat sunt părți componente ale unei instalații complexe (aparatul circulator cardiac în circuit închis, cu lichide fără schimbare de fază), cu caracteristici fizice și termice (densitate, vâscozitate, elasticitate / compresibilitate, căldură specifică, difuzivitatea ș.a.) definitorii, pompa (inima) fiind volumică, cu parametrii funcționali variabili, adaptabili (este vorba de debit, presiunea – tensiunea arterială (sistolă, diastolică), pulsul – frecvența bătăilor ș.a.

Destinația schimbătorului de căldură fiind expusă mai sus, analogia cu cele ingeniaturate de om, industriale, foarte diverse ca tipuri, construcții și destinații, se poate face prin clasificări, cea mai reprezentativă fiind cea după modul de transmitere a căldurii, în patru grupe.

Schimbătorul de căldură biologic analizat este: nemetalic; cu perete despărțitor organic, fibroelastic / flexibil tubular; în contracurent, cu o singură trecere; compact (compactitatea unui schimbător de căldură industrial este caracterizată de raportul dintre suprafața sa de schimb de căldură și volumul său; „componentele” au capacitatea mai mare de $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$).

3. Analiza schimbătorului de căldură

Literatura de specialitate oferă diverse metode pentru calculul termic al schimbătoarelor de căldură:

- Metoda diferenței medii logaritmice de temperatură.
- Metoda eficientă termică – număr de unități de transfer de căldură ϵ - NTU;
- Metoda P-NTU;
- Metoda Q-P-R-NTU₂.

Calculul se bazează pe două ecuații generale: ecuația de transmitere a căldurii în aparat și ecuația bilanțului termic folosind în acest scop opt mărimi principale: sarcina termică a aparatului Φ ; aria suprafeței de schimb de căldură S ; temperaturile de intrare și ieșire ale agentului cald (T_1, T_2) , respectiv ale agentului rece (T'_1, T'_2) ; debitele de agent cald și rece (\dot{m}_1, \dot{m}_2) .

Calculul termic trebuie să aibă întotdeauna cunoscute de la început cinci mărimi și să determine două necunoscute (exclusiv sarcina termică). Sarcina termică nu constituie niciodată o variabilă independentă.

Prin sarcina termică Φ se înțelege fluxul de căldură transmis între cei doi agenți termici și este dată de relația:

$$\Phi = k \cdot S \cdot \Delta T_{med} \quad (1)$$

în care k este coeficientul global de transfer de căldură, iar ΔT_{med} - diferența medie logaritmică a temperaturilor celor doi agenți termici. Calculul termic este urmat de calculul hidraulic, de rezistență, energetic și tehnico – economic.

Calculul poate fi de proiectare (dimensiunare), de verificare (alegere) ș.a. Calculul regimului de funcționare, în care suprafața de transfer de căldură este cunoscută, trebuie să determine unul din debitele de agent termic, una din temperaturile, de intrare sau de ieșire, ale unui agent termic, sau sarcina termică a aparatului. Acest tip de calcul urmărește să stabilească concordanța între regimurile de funcționare, de exploatare și caracteristicile de reglaj (de autoadaptare) ale schimbătorului de căldură.

Schema de principiu a variației temperaturii într-un recuperator de căldură în contracurent este prezentată în figura 3.

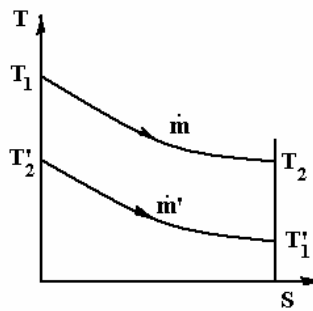


Fig. 1. Schema de principiu a variației temperaturii într-un recuperator de căldură în contracurent.

Diferența medie a temperaturilor la circulația în contracurent poate fi calculată pe baza formulei.

$$\Delta T_{med} = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2)$$

diferențele de temperatură fiind:

$$\Delta T_{max} = T_2 = T'_1; \Delta T_{min} = T_1 = T'_2 \quad (3)$$

În cazurile mai complexe, cum este și cazul în speță, calculul sarcinii termice se poate efectua după metoda propusă de Nusselt, conform căreia:

$$\Phi = F \cdot k \cdot S \cdot \Delta T_{med} \quad (4)$$

termenul de corecție F , determinat experimental sau teoretic, fiind exprimat ca o funcție:

$$F = f(P, R) \quad (5)$$

unde:

$$P = \frac{T'_2 - T'_1}{T_1 - T'_1}; R = \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T'_1} \quad (6)$$

Factorul de corecție F poate fi calculat cu relații specifice fiecărui tip de schimbător sau poate fi determinat din diagrame trasate cu ajutorul acestora, [3], [6], [7].

Metoda eficientă termică – număr de unități de transfer de căldură $\epsilon - NTU$, pentru studiul schimbătoarelor de căldură existente, la care suprafața de schimb de căldură fiind dată, se poate face niște calcule de determinare a indicilor de funcționare. Metoda se bazează pe eficiența aparatului în transferul unei cantități de căldură date.

Metoda utilizează trei parametri adimensionali: eficiența termică ϵ , numărul de unități de transfer de căldură

NTU și raportul fluxurilor de capacități termice W_{\min}/W_{\max} .

Eficiența termică a schimbătorului de căldură ε se definește ca raportul dintre sarcina termică reală Q a aparatului și sarcina termică maximă posibilă Q_{\max} :

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{W_1 \cdot (T_1 - T_2)}{W_{\min} \cdot (T_1 - T_1')} \quad (7)$$

unde W_{\min} reprezintă fluxul minim de capacitate termică dintre $W_1 = m_1 c_{p1}$ și $W_2 = m_2 c_{p2}$. Se definește:

$$Q_{\max} = W_{\min} \cdot (T_1 - T_1') \quad (8)$$

Sarcina termică reală a aparatului se calculează cu ajutorul eficienței termice din relația:

$$Q = \varepsilon Q_{\max} = \varepsilon W_{\min} \cdot (T_1 - T_1') = W_1 \cdot (T_1 - T_2) = W_2 \cdot (T_2 - T_1') \quad (9)$$

Pentru ε , din condiția că fluidul rece are capacitatea W_{\min} :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-\frac{kS}{W_{\min}} \cdot \left(1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}}\right)\right]}{1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}} \cdot \exp\left[-\frac{kS}{W_{\min}} \cdot \left(1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}}\right)\right]} \quad (10)$$

Notând grupul adimensional $\frac{kS}{W_{\min}} = NTU_{\max}$ (numărul de unități de transfer de căldură) expresia generală a eficienței termice pentru aparatul în contracurent este:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU_{\max} \cdot \left(1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}}\right)\right]}{1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}} \cdot \exp\left[-NTU_{\max} \cdot \left(1 - \frac{W_{\min}}{W_{\max}}\right)\right]} \quad (11)$$

Formula (11) este reprezentată grafic în fig.3.6 din [3].

Ca regulă, performanțele unui aparat se îmbunătățesc prin creșterea valorii NTU .

5. Metoda Θ -P-R-NTU2

Preocupări relativ recente au condus la metoda, Θ -P-R-NTU2 utilizabilă atât în calculele de dimensionare, cât și în cele de verificare și de stabilire a indicilor de funcționare a aparatelor schimbătoare de căldură. Aceasta combină principalii parametri adimensionali, P , R și NTU , din metodele precedente, introducând suplimentar mărimea adimensională θ .

Cu ajutorul parametrilor de mai sus se exprimă analitic și / sau grafic, pentru orice schemă de curgere, relații de forma:

$$\theta = \frac{\Delta T_{med}}{T_1 - T_1'} = f\left(P, R, \frac{W}{kS}, sch.curg.\right) \quad (12)$$

S-au folosit [3], [4], [5], [6].

6. Aplicație numerică

Se estimează că un pescăruș matur are o masă corporală de circa 25 ori mai mică decât a unui om având 75 kg. Păstrând proporția, apreciem un debit cardiac volumic de $\dot{V} = 3,3 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s}$ și o tensiune sistolică normală de:

$$(TAS) = 130 \text{ tor} = 0,173 \text{ bar} = 1,73 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Pentru, pomparea sângelui este necesară o putere hidraulică:

$$P_{hidr} = (TAS) \cdot \dot{V} = 5,7 \cdot 10^{-2} W ,$$

căreia îi corespunde o energie de $E_{hidr} = 0,205 kJ / oră$. Valorile sunt uimitor de mici.

Referitor la schimbătorul de căldură, preîncălzirea sângelui venos (retur) se face de la $T_1 = (0...5)^0 C$ la $T_2' = 32^0 C$. Se estimează o suprafață totală (ambele picioare) de $S = 6,6 \cdot 10^{-3} m^2$, tuburile având raza hidraulică $R_h = 1,5 mm$, pentru un diametru echivalent $D_{ech} = 6 mm$.

Rezultă fluxurile de căldură extreme $\Phi_{max} = 385 watt$ și $\Phi_{min} = 343 watt$, care reprezintă, în energie termică, $E_{t_{max}} = 1,286 MJ$ și $E_{t_{min}} = 1,23 MJ$, valori apreciabile.

Rezultă un coeficient global de transfer de căldură $k_{biologic} = 3,5 \cdot 10^3 \frac{W}{m^2 K}$ mai mare decât unul tehnic (al schimbătorului ingeniatic de om, cu oportunități industriale), de circa 23 de ori. Performanța este remarcabilă.

Privind consumul echivalent, convențional, de energie, echivalentul în benzină este de, maxim, $33 \frac{gr.benzină}{oră}$, iar cel în hrană (hidranți de carbon), maxim, este de $90 \frac{gr.hrană}{oră}$. Ceea ce nu ni se pare puțin / ușor de asigurat de către pescărușul viețuind în condiții aspre.

Adaptabilitatea la variațiile de temperatură semnalate $T_1 = (0...5)^0 C$, deci asigurarea fluxului de căldură corespunzător în limitele extreme, se face prin variația debitului masic de sânge pompat – aspirat de inimă (variația pulsului / frecvenței / ritmului cardiac),

între limitele $\dot{m}_{max} = 3,3 \cdot 10^{-3} kg / s$ și $\dot{m}_{min} = 2,97 \cdot 10^{-3} kg / s$.

Utilizând metoda de studiu $\epsilon - NTU$, s-au obținut $W_{min} = 11,9 W / K$, $W_{max} = 13,2 W / K$, $W_{min} / W_{max} = 0,9$, $kS = 23,2 W / K$, $NTU_{max} = kS / W_{min} = 1,95$.

Formulele (10) și (11) au condus la aceeași expresie / valoare, $\epsilon = 0,7$, valoare superioară celor ale radiatoarelor motoarelor cu combustie internă, de exemplu, după cum era de așteptat.

7. Concluzii

Este remarcabilă opțiunea / realizarea schimbătorului de căldură biologic în contracurent (cu eficacitatea maximă).

În aparatul biologic studiat, dacă $W_2 < W_1$ temperatura de intrare a sângelui cald / încălzitor, iar dacă $W_1 < W_2$ temperatura de ieșire a sângelui cald egalează temperatura de intrare a sângelui rece. În ambele cazuri eficiența tinde spre valoarea maximă, $\epsilon = 1$.

În ton cu datele tehnice de mai sus, care ne aparțin, menționăm că ornitologul Gary Ritchison a afirmat că mecanismul de preîncălzire a sângelui rece (aspirat de inimă), pe care l-a constatat la păsările din zonele reci, este atât de eficient și ingenios, încât este aplicat și la alte animale, inclusiv la câteva specii de pești și la om, pentru minimalizarea pierderilor de energie.

Aparatul biologic în chestiune (schimbătorul de căldură), dar și pompa (inima), prezintă o adaptabilitate (variația corespunzătoare a indicilor funcționali) uimitoare la condiții de exploatare extrem de variate, păstrând o eficiență remarcabilă și, printre altele, un consum energetic nimic.

Într-un sens mai larg, studiul și înțelegerea incredibilei eficacități a organismului viu, rafinatele, complicatele, corelatele și inteligentele lui mecanisme / tehnici (procedee poate conduce la descoperiri și aplicații tehnice spectaculoase, moderne, extrem de avantajoase.

Bibliografie

1. Benche, V., Ungureanu, B.V.: *Contribuții la studiul energetic al aparatului circulator: despre incredibila economicitate a organismului uman*. Universitatea Tehnică din Oradea. Conferința METIME, mai 2005.
2. Benche, V., Ungureanu, B.V.: *The amyig complex and high performance hydraulic loop circuit: the human cardiovascular system*. Ovidius University Press. Constanța, Vol.X, Tom I. 2008.
3. Șerbănoiu, N., Mureșan, M., Ungureanu, V.B., Mihalcea, M.: *Modular Heat Exchangers*. Transilvania University Press, Brașov. 2007.
4. Badea, A., Necula, H., Stan, M., Ionescu, L., Blaga, P., Darie, G.: *Echipamente și instalații termice*. Editura Tehnică, București. 2003.
5. Ștefănescu, D., Leca, A., Luca, L., Badea, A., Marinescu, M.: *Transfer de căldură și de masă*. EDP București. 1983.
6. Kreith, F.: *Handbook of Thermal Engineering* CRC Press LLC, Boca Raton, USA. 2000.
7. x x x *Heat Exchanger Handbook*, Vol.3., V.D.I. Verlag Dusseldorf. 1986.