
CAPITOLUL VI

OPERATII TERMICE

Operatiile termice sunt aplicatii practice ale transferului de caldura. Desi in majoritatea cazurilor transferul de caldura este insotit de curgere se considera ca procesul fizic determinant pentru aceste operatii este transferul termic. Principalele operatii termice sunt: **incalzirea, racirea, condensarea, fierberea si evaporarea.**

VI.1. Incalzirea, racirea, condensarea, fierberea. Schimbatoare de caldura

Multe procese tehnologice impun asigurarea unui anumit regim termic in utilajele instalatiei, ceea ce se poate realiza prin incalzire sau racire. In unele procese tehnologice o serie de produse rezulta sub forma de vapori, care pentru a fi utilizati ulterior, trebuiesc condensati. Sunt si cazuri in care unii produse necesita vaporizarea, inainte de efectuarea unei operatii oarecare, ceea ce se realizeaza prin fierbere. Aceste operatii se realizeaza cu ajutorul unor utilaje specifice, denumite generic **schimbatoare de caldura**, in care se utilizeaza **agenti termici de incalzire** sau de **racire**, in functie de operatie.

VI.1.1. Agenti termici de incalzire si de racire

Agentii termici se numesc **agenti de incalzire** atunci cand intr-un schimbator se face incalzirea sau vaporizarea unui fluid, respectiv **agenti de racire** cand se realizeaza racirea sau condensarea unui fluid. La alegerea unui agent termic se urmareste ca acesta sa indeplineasca o serie de conditii dintre care mai importante sunt:

- sa aiba conductivitatea termica si caldura specifica mare;
- sa aiba caldura latentă de condensare mare (in cazul vaporilor);
- sa aiba o buna stabilitate termica si agresivitate chimica redusa;
- sa nu fie inflamabil si toxic;
- sa fie ieftin si usor de procurat.

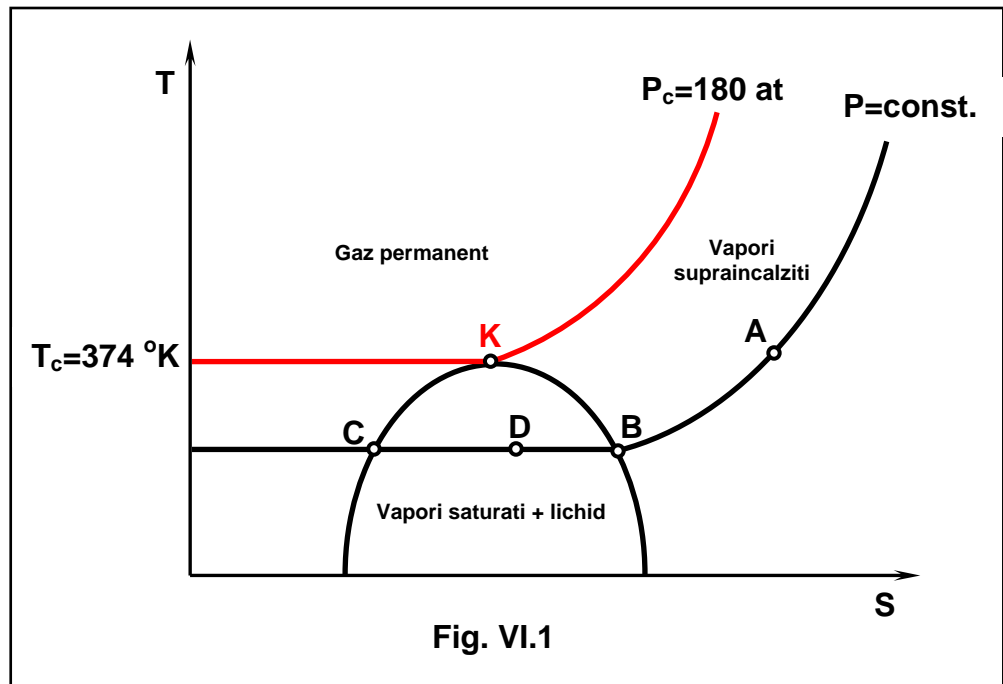
A. Agenti termici de incalzire

Cei mai utilizati agenti termici de incalzire sunt: gazele de ardere, aerul cald, vaporii de apa (aburul), vaporii unor substante organice, apa caldă, uleiuri minerale, saruri topite s.a.

a. Gazele de ardere. Se utilizeaza pentru incalziri la temperaturi ridicate, cuprinse intre 200-1200 °C. Se obtin prin arderea in aer a unor combustibili gazosi, lichizi sau solizi. Principalele dezavantaje ale gazelor de ardere sunt: caldura specifica si conductivitatea termica mica, coeficienti individuali de transfer de caldura mici, posibilitatea redusa de transport la distante mai mari.

b. Aerul cald. Se utilizeaza in special la operatia de uscare.

c. Aburul. Este cel mai utilizat agent termic de incalzire din industrie, datorita avantajelor pe care le prezinta: caldura latentă de condensare mare, coeficienti individuali de transfer termic ridicati, reglarea usoara a temperaturii prin reglarea presiunii. Principalul dezavantaj al aburului consta in aceea ca poate fi utilizat decat pentru incalziri la temperaturi de maxim 180 °C, in mod exceptional pana la 230 °C. Aceasta deoarece pentru cresterea temperaturii de condensare trebuie marita mult presiunea, ceea ce complica constructia schimbatoarelor de caldura.



Incalzirea cu abur se poate face prin contact direct sau indirect (printr-un perete despartitor).

In functie de valoarea parametrilor de stare, P , V , exista trei calitati de abur: **abur saturat**, **abur umed** si **abur supraincalzit**. Cele trei calitati de abur pot fi caracterizate cu ajutorul diagramei T-S (fig.VI.1). Punctul **A**, din fig.VI.1, corespunde starii de abur supraincalzit, punctul **B** reprezinta starea aburului saturat iar punctul **C** starea aburului umed. Cel mai bun agent termic este aburul saturat iar cel mai putin recomandat este aburul supraincalzit. Aburul saturat si aburul umed, in contact cu o suprafata mai rece condenseaza, cedand acesteia caldura latentă de condensare, care, in cazul vaporilor de apa, are o valoare mare, de peste 2000 KJ/Kg. Aburul supraincalzit in contact cu o suprafata mai rece se comporta ca un gaz, el nu condenseaza ci se raceste izobar pana temperatura de saturatie. Caldura sensibila pe care o cedeaza aburul supraincalzit prin racire este mica si se transfera greu prin suprafata de schimb de caldura, deoarece aburul are caldura specifica mica si coeficient individual de transfer termic redus. Aburul umed reprezinta un amestec de vapori saturati si lichid provenit din condensarea partiala a aburului saturat. In practica aburul este intotdeauna umed deoarece condensarea partiala este inevitabila la transportul aburului (prin conducte) de la generator la utilizatori, oricat de bine ar fi izolate termic conductele. Continutul de umiditate al aburului se numeste, in termeni tehnici, **titlul aburului**.

d. Apa calda se utilizeaza pentru incalziri sau vaporizari de pana la 80 °C, la presiune atmosferica. Pentru temperaturi mai mari se foloseste apa sub presiune. De exemplu pentru temperatura de 180 °C, presiunea apei este de 11,23 ata. Apa are avantajul ca este ieftina, are caldura specifica mare si asigura valori ridicate ale coeficientului individual de transfer de caldura, dar necesita tratamente preliminare de dedurizare, ceea ce implica cheltuieli suplimentare.

e. Vaporii unor substante organice se folosesc pentru incalziri la temperaturi mai ridicate decat poate realiza aburul, dar la presiuni mici, apropiate de presiunea atmosferica. Cel mai utilizat agent termic de incalzire este un amestec eutectic de difenil si difenil eter, cunoscut sub denumirea tehnica de **difil**, care condenseaza la o temperatura in jur de 250 °C, la presiunea atmosferica.

f. Uleiurile minerale sunt utilizate pentru incalziri la temperaturi de pana la 300 °C. Acestea se folosesc, in special in bai de incalzire, dar au dezavantajul ca au proprietati termice modeste, deoarece au viscozitate mare iar caldura specifica si conductivitatea lor termica este mica.

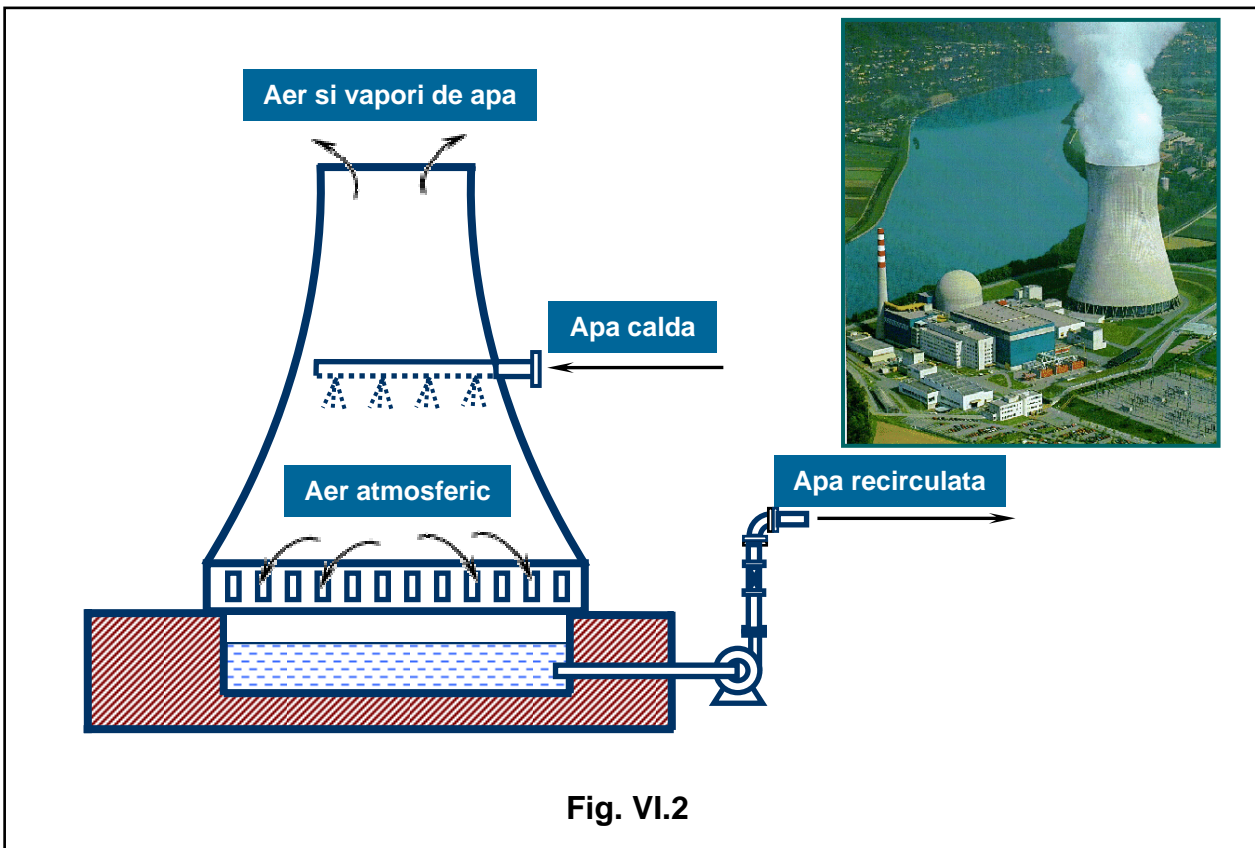
g. Saruri topite se utilizeaza pentru incalziri de pana la 500 °C si sunt amestecuri de saruri anorganice, in special de azotiti si azotati de sodiu si potasiu.

B. Agenti termici de racire

Cei mai utilizati agenti termici de racire sunt: apa, ghiata, aerul, bioxidul de carbon solid, soarele, s.a.

Florin Vitan - Ingineria proceselor in textile si pielarie
Vol. III – Operatiile transferului de caldura si de difuzie si utilaje specifice

a. **Apa de racire** este cel mai utilizat agent termic de racire din industrie. Temperatura apei depinde de natura surselor disponibile. Apele de adancime (puturi, fântani) au temperaturi cuprinse între 10-15 °C, care sunt constante în tot timpul anului. Apele de suprafață care pot proveni din lacuri, râuri, ș.a. au, iarna, temperaturi cuprinse între 0-5 °C iar vara, temperaturi între 18-25 °C. Apa de racire este recirculată la turnuri de racire în care aceasta se răcește prin contact cu aerul atmosferic și prin autoevaporare. Pentru a se răci cu 10 grade se autoevapora circa 2% din apa trecută prin turnul de racire.



Turnurile de racire pot fi cu **circulația naturală** (fig.VI.2) sau cu **circulația forțată** a aerului. Turnurile de racire cu circulația naturală a aerului se folosesc pentru racirea unor cantități mari de apă recirculată, cum ar fi, de exemplu, apa de racire de la centralele electrice sau nucleare termice ori de la marile combinate chimice sau siderurgice. Acestea se construiesc din beton și au dimensiuni foarte mari. Apa care trebuie răcită este dispersată în interiorul turnului. Aerul în contact cu apa caldă se încălzește ceea ce face ca în turn să se creeze un tiraj natural ascendent. Racirea este determinată atât de contactul cu aerul atmosferic cât și de autoevaporarea apei. De aceea la racirea în astfel de turnuri se pierde destul de multă apă. Astfel pentru racirea apei de la 55 °C la 25 °C se pierde 8% din apa intrată în turn, din care 6% prin autoevaporare iar 2% prin antrenarea sub formă de picături de către aer. Turnurile cu circulația forțată a aerului funcționează pe același

Florin Vitan - Ingineria proceselor in textile si pielarie
Vol. III – Operatiile transferului de caldura si de difuzie si utilaje specifice

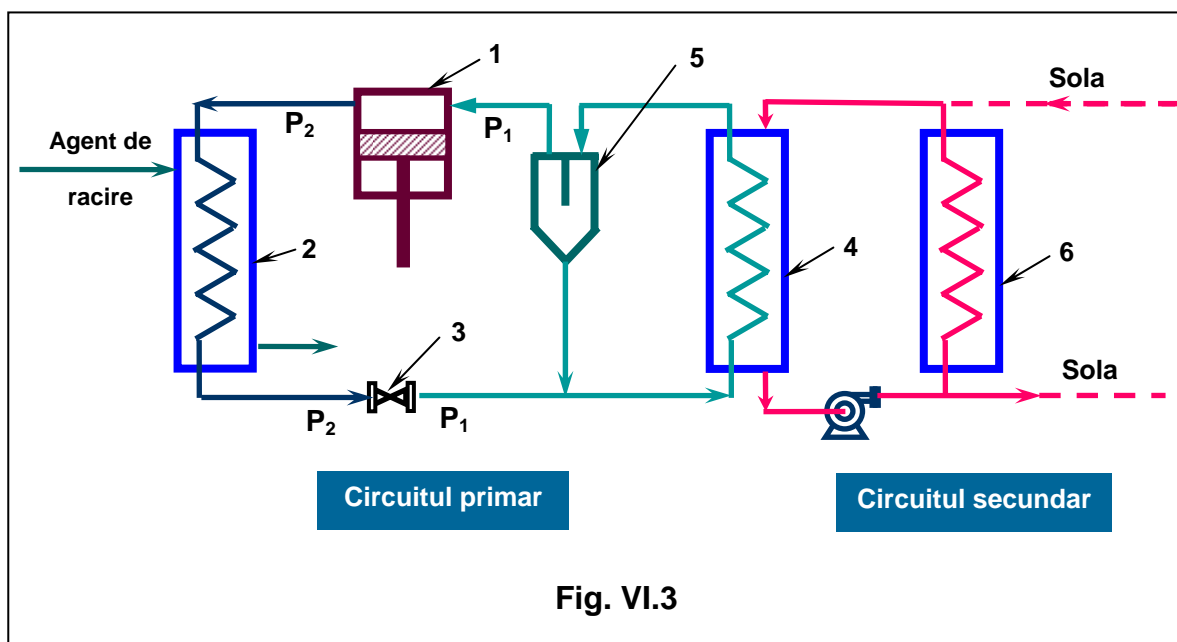
principiu doar ca circulatia aerului este determinata de un ventilator axial montat la partea superioara a turnului, ceea ce face ca inaltimea acestora sa fie mult mai mica decat aceea a turnurilor cu circulatia naturala a aerului.

b. Gheata se utilizeaza pentru raciri de pana la $2-5^{\circ}\text{C}$ prin amestecare directa cu substanta care trebuie racita.

c. Aerul realizeaza raciri pana la temperaturi minime de pana la 65°C si este utilizat in special in regiunile in care nu exista suficiente resurse de apa.

d. Bioxidul de carbon solid, cunoscut si sub numele de **zapada carbonica** se foloseste pentru raciri de pana la -78°C . Acesta are proprietatea de a sublima cu un efect termic de 574 KJ/kg . Pentru raciri in mediu fluid bioxidul de carbon solid se dizolva in solventi care nu se solidifica la -78°C , cum ar fi: eter, acetona, tetraclorura de carbon, s.a.

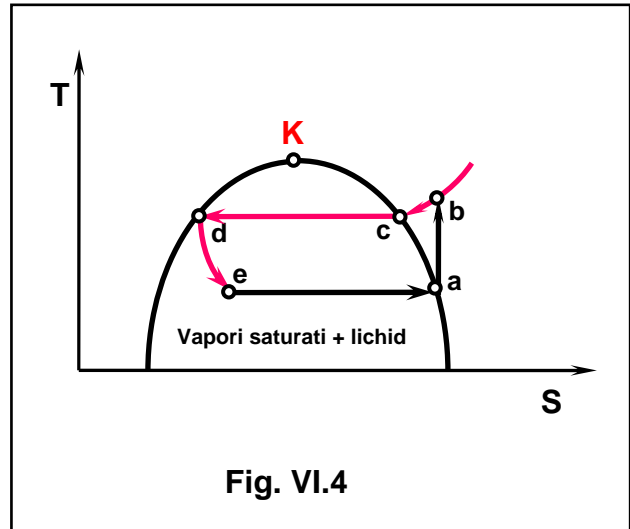
e. Solele sunt solutii apoase ale unor saruri anorganice sau ale unor substante organice, cum ar fi: cloruri de sodiu, de calciu sau de magneziu, glicerina, metanol, etilen glicol, s.a. Solele au punctul de inghet la temperaturi negative cuprinse intre -35 si -40°C .



Solele sunt racite la temperaturi scazute in circuitul primar al unor **instalatii frigorifice**. Cele mai utilizate instalatii frigorifice sunt cele care se bazeaza pe comprimarea, lichefiera prin condensare urmata de vaporizarea unor agenti frigorifici cum ar fi: amoniacul, bioxidul de sulf, bioxidul de carbon, clorura de metil, freon, s.a. Principiul de functionare al unei astfel de instalatii este prezentata in fig.VI.3. Agentul frigorific primar (gaz sau vapori) este aspirat de compresorul (1) dupa care este racit si condensat in

schimbatorul de caldura (2). Lichidul rezultat este trecut printr-un ventil de laminare (3) care asigura o destindere izoentalpa de la presiunea P_2 la presiunea P_1 , cu care intra in vaporizatorul (4). Vaporizarea are loc la temperaturi negative cu consum de caldura, ceea ce determina racirea solei din circuitul secundar al instalatiei frigorifice. Vaporii agentului frigorific trec printr-un separator de picaturi (5) in care se separa eventualele picaturi antrenate de acestia, dupa care sunt aspirati de compresorul (1). In functie de starea vaporilor din circuitul primar instalatiile frigorifice prin comprimare pot fi: cu vapori umezi, cu vapori saturati sau cu lichid subracit. In fig.VI.4 se prezinta un ciclu de racire cu vapori saturati. Fazele unui astfel de ciclu sunt:

- ab—comprimare;
- bc—racirea vaporilor supraincalziti;
- cd—condensarea vaporilor saturati;
- de—destindere izoentalpa;
- ea—evaporare izobara.



VI. 1.2. Clasificarea si descrierea schimbatoarelor de caldura

Schimbatoarele de caldura pot fi clasificate dupa mai multe criterii, dintre care cele mai importante sunt prezentate in continuare:

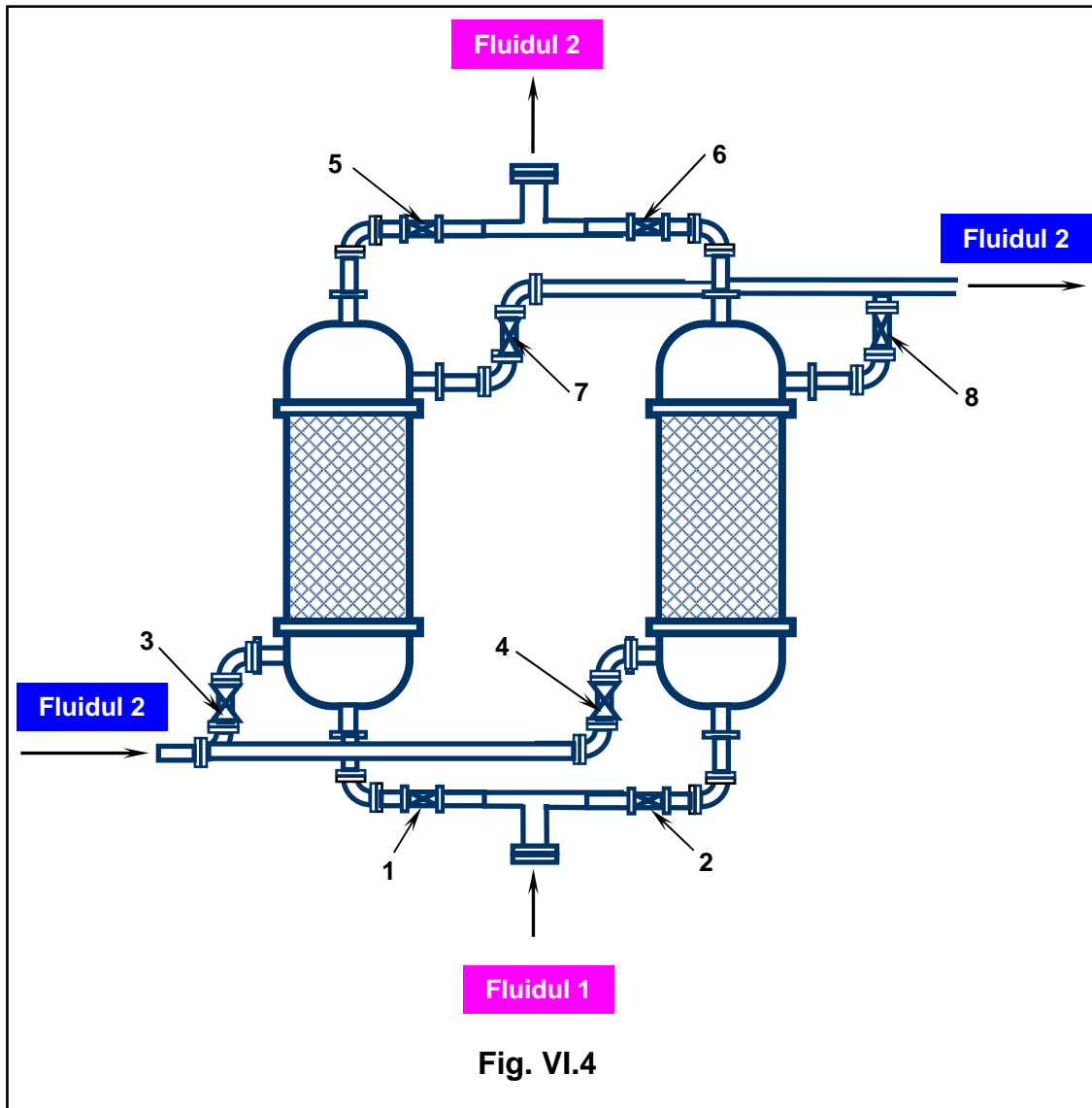
a. Dupa operatia termica (dupa destinatia lor) se deosebesc:

- incalzitoare;
- racitoare;
- condensatoare;
- fierbatoare;
- calorifere;
- cazane de abur si altele.

b. Dupa modul in care se realizeaza schimbul termic intre fluide, se deosebesc:

- **schimbatoare de caldura de suprafata** in care fluidele care schimba caldura intre ele sunt despartite de o suprafata solida;
- **schimbatoare de caldura de amestec** in care transferul de caldura se realizeaza prin contactul direct dintre fluide;
- **schimbatoare de caldura regeneratoare** care sunt aparate termice cu functionare in doua faze care se succed alternativ:
 - **faza de incalzire**, in care caldura unui fluid este acumulata de un material solid (umplutura);
 - **faza de racire**, in care umplutura solida cedeaza caldura altui fluid.

Principiul de functionare al unui regenerator de caldura este prezentat in fig.VI.5.



Aceste schimbatoare se folosesc in special ca recuperatoare de caldura. De obicei se cupleaza doua regeneratoare astfel incat intotdeauna unul sa fie in faza de incalzire iar celalalt in faza de racire.

c. Dupa sensul de circulatie al fluidelor prin schimbator, se deosebesc:

- schimbatoare de caldura in echicurent;
- schimbatoare de caldura in contracurent;
- schimbatoare de caldura in curent mixt;
- schimbatoare de caldura in curent incrucisat.

d. Dupa numarul de treceri a fluidelor prin schimbator, schimbatoarele pot fi;

- cu o singura trecere;
- cu mai multe treceri.

e. Dupa pozitia lor de functionare, se deosebesc:

- schimbatoare de caldura orizontale;
- schimbatoare de caldura verticale;
- schimbatoare de caldura inclinate;

VI.1.2.1. Schimbatoare de caldura cu manta si serpentina

Aceste utilaje nu sunt schimbatoare de caldura propriuzise, deoarece ele au diverse destinatii cum ar fi: reactoare chimice, vase de dizolvare, cristalizoare, s.a., in care operatia care se realizeaza necesita incalzire sau racire. Utilajul cu una dintre destinatiile mentionate anterior este format dintr-un cilindru inconjurat la exterior de o manta (fig.VI.6). In spatiul dintre peretele exterior al recipientului si peretele interior al mantalei circula agentul termic de incalzire sau de racire. In cazul utilizarii aburului acesta se introduce printr-un racord practicat la partea superioara a mantalei. Pentru intensificarea transferului de caldura, in interiorul aparatului se poate monta un agitator. Utilizarea mantalei este posibila atunci cand incalzirea sau racirea nu necesita o suprafata de transfer termic prea mare. In cazul in care suprafata necesara nu este asigurata numai de manta, in interiorul recipientului se

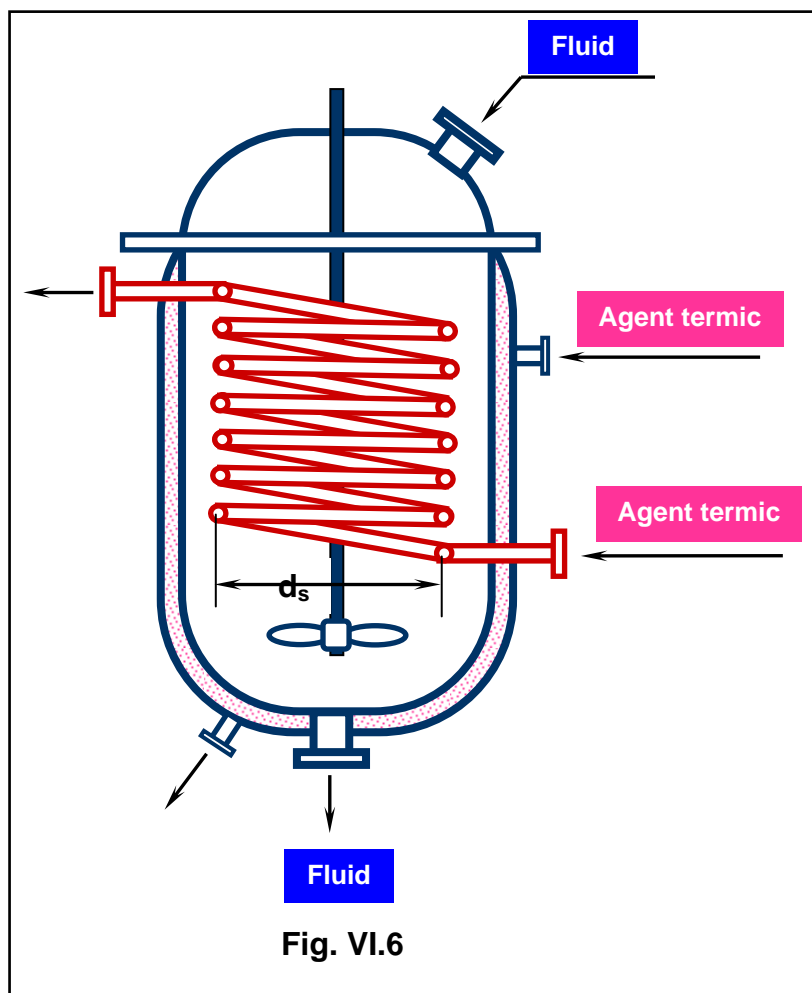


Fig. VI.6

introduce una sau mai multe serpentine concentrice.

Serpentina se confectioneaza dintr-o teava indoita dupa o elice.

Dimensionarea serpentinelor se face din ecuatia transferului de caldura:

$$A = \frac{Q}{K \cdot \Delta T_m} = \pi \cdot d \cdot L \quad (\text{VI.1})$$

Din suprafata de transfer de caldura, A, se calculeaza lungimea totala a serpentinei, L, dupa ce se calculeaza diametrul tevii din care este confectionata serpentina, d, din ecuatiile debitului de fluid:

$$M_v = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (\text{VI.2})$$

in care viteza, v, se determina din valoarea criteriului Reynolds, care se admite.

Lungimea unei spire, l, considerata ca o linie elicoidala se calculeaza cu relatia:

$$l = \sqrt{(\pi \cdot d_s)^2 + h^2} \cdot \pi \cdot d_s \quad (\text{VI.3})$$

in care, d_s , este diametrul spirei serpentinei iar, h, este pasul elicei. Lungimea totala a serpentinei este corelata cu lungimea unei spire prin relatia:

$$L = n \cdot l = n \cdot \pi \cdot d_s \quad (\text{VI.4})$$

in care, n, este numarul de spire.

Din relatiile (VI.1) si (VI.4) rezulta:

$$n = \frac{A}{\pi^2 \cdot d \cdot d_s} \quad (\text{VI.5})$$

Inaltimea serpentinei rezulta din relatia:

$$H = n \cdot h \quad (\text{VI.6})$$

Daca inaltimea serpentinei, H, este prea mare se confectioneaza o serpentina cu doua sau trei randuri de spire concentrice.

Dezavantajul acestor aparate consta in aceea ca au totusi suprafata de transfer mica si nu se pot utiliza pentru fluide care au depuneri de crusta, deoarece curatirea serpentinei si a mantalei este dificila.