

Vaporizarea

Vaporizarea este procesul termodinamic prin care agentul frigorific își schimbă starea de agregare din lichid în vapori, absorbind căldură de la sursa rece, reprezentată de mediul răcit (aerul sau un agent termic lichid). În vaporizator, este realizat efectul util al instalațiilor frigorifice. Procesul de vaporizare va fi analizat în continuare, separat pentru cazul realizării acesteia în interiorul țevilor și separat pentru cazul realizării acesteia în spațiul dintre țevi și manta al vaporizatoarelor.

De regulă, vaporizarea este realizată în interiorul țevilor, în aparate construite din serpentine, destinate răcirii aerului sau răcirii lichidelor, respectiv în spațiul dintre un fascicul de țevi și manta, în aparate de construcție multitubulară, cel mai adesea orizontale, destinate răcirii lichidelor.

Se observă că răcirea aerului, sau eventual a altor gaze, poate fi realizată numai prin vaporizarea agentului frigorific în interiorul țevilor, iar răcirea lichidelor poate fi realizată atât prin vaporizarea agentului frigorific în interiorul țevilor, cât și prin vaporizarea acestuia între țevi și manta.

Dacă în timpul vaporizării agentului frigorific în spațiul dintre țevi și manta, prin interiorul țevilor circulă apă, aceasta poate fi răcită cel mult până în apropierea temperaturii de 0°C, pentru evitarea înghețării la interiorul țevilor. Formarea gheții în procesele de răcire a apei, este permisă numai la exteriorul țevilor, în bazine prevăzute cu serpentine în care vaporizează agentul frigorific.

*Dacă se dorește răcirea lichidelor la temperaturi negative, vor trebui utilizate alte substanțe în locul apei. De obicei se utilizează soluții apoase de tip antigel, sau saramuri, toate având temperaturi de solidificare negative. În tehnica frigului, aceste substanțe sunt denumite generic **agenți frigorifici intermediari**.*

Vaporizarea în interiorul țevelor

Răcitoare de aer

Procesul de vaporizare este reprezentat în figura 1, unde se observă că în interiorul țevelor, cantitatea de lichid se reduce treptat spre ieșirea agentului frigorific din aparat. Ultima porțiune a serpentinei, este integral umplută de vapori.

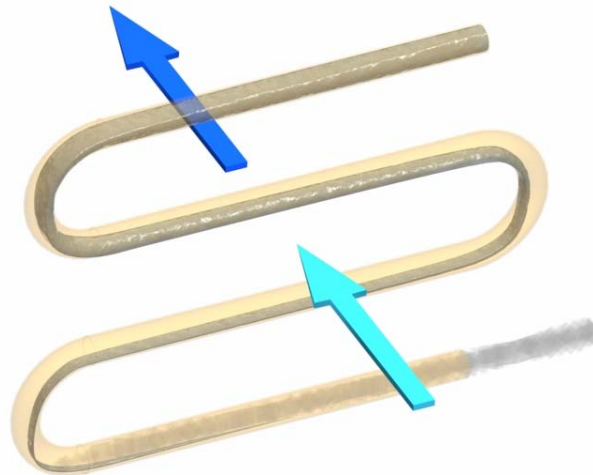


Fig. 1. Procesul de vaporizare

Schema de principiu a unui răcitor de aer, este prezentată în figura 2. Agentul frigorific provenit de la ventilul de laminare, intră în aparat sub formă de vapori umezi (v.u.) (amestec de lichid și vapori saturați) și iese din aparat sub formă de vapori supraîncălziți (v.si.). Aerul la intrarea în vaporizator (a.i.) este cald, iar la ieșirea din acesta (a.e.) devine rece, deoarece în răcitor, aerul cedează căldura preluată de agentul frigorific. *Presiunea agentului frigorific în vaporizator, este considerată constantă și are valoarea presiunii de vaporizare p_0* . Această ipoteză este corectă în condițiile în care se neglijează pierderile de presiune din vaporizator, datorate curgerii în condiții reale, a agentului frigorific.

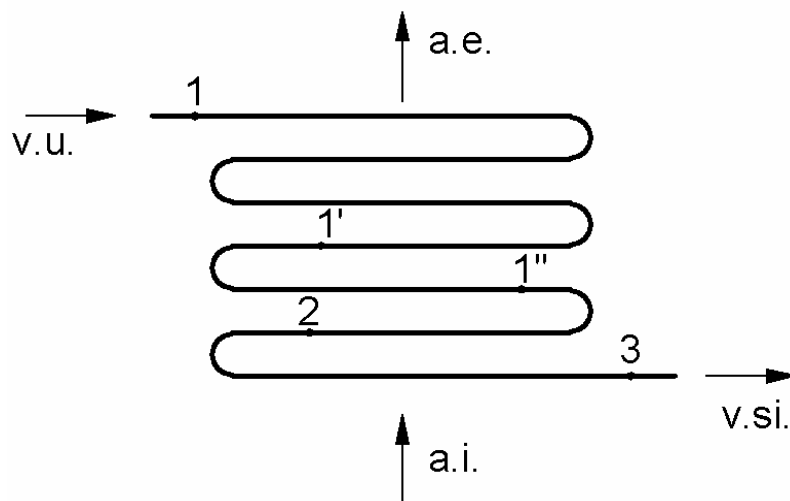


Fig. 2. Schema răcitorului răcit cu aer

Evoluția procesului de vaporizare, în interiorul țevii din care este construită serpentina vaporizatorului, este prezentată în figura 3.

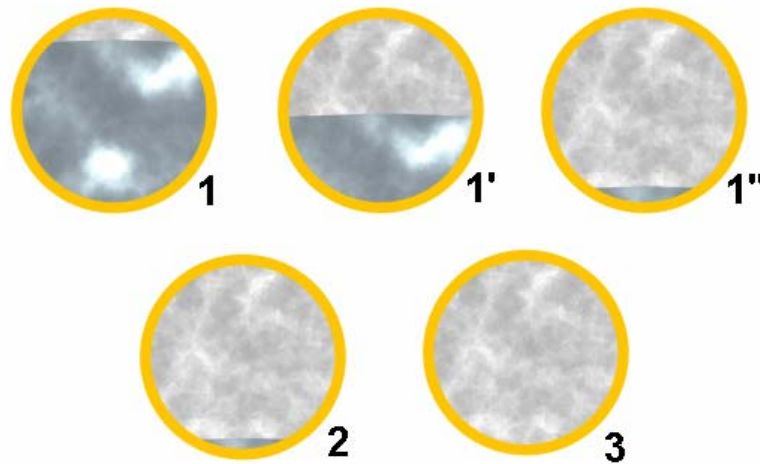


Fig. 3. Evoluția procesului de vaporizare în țevi

La intrarea în vaporizator (1) titlul vaporilor umezi, este de cca. 15...25%. Această stare poate fi considerată cea de ieșire a agentului frigorific din dispozitivul de laminare.

Ponderea vaporilor în amestecul cu lichidul crește continuu, de la intrarea spre ieșirea agentului frigorific (1', 1''). Astfel cantitatea de lichid din țevă scade continuu, iar cantitatea de vaporii crește permanent.

Vaporizarea propriu-zisă se încheie odată cu schimbarea stării de agregare a ultimei picături de lichid (2).

Pe toată durata procesului de vaporizare 1-2, temperatura rămâne constantă, la valoarea temperaturii de vaporizare t_0 , iar vaporii de agent frigorific sunt saturați și se găsesc în echilibru cu lichidul, care de asemenea este saturat.

Pentru vaporizarea propriu-zisă este utilizată aproximativ 85-90% din suprafața totală a vaporizatorului.

În ultima parte a suprafeței de transfer termic a vaporizatorului, agentul frigorific aflat în stare de vaporii, continuă să rămână în contact cu aerul cald și astfel va continua să absoarbă căldură mărindu-și temperatura cu câteva grade, ajungând ca la ieșirea din aparat să fie ușor supraîncălzit (3). Pentru supraîncălzire este utilizată cca. 10-15% din suprafața totală a vaporizatorului.

Există particularități constructive ale răcitoarelor de aer, în funcție de tipul aplicației pentru care sunt utilizate: instalații și echipamente de condiționare a aerului, sau instalații și echipamente pentru producerea frigului industrial. Particularitățile sunt datorate comportării diferite a aerului răcit în aceste vaporizoare, datorată temperaturilor diferite ale suprafețelor acestor aparate.

- **În aplicațiile frigului industrial**, chiar dacă temperatura care trebuie menținută în spațiile răcite este pozitivă, cel mai adesea temperatura medie a suprafeței răcitoarelor, coboară sub 0°C, ceea ce determină acumularea pe vaporizator a unor depuneri de zăpadă sau gheață (în funcție de densitatea depunerii, care la rândul ei depinde de viteza de formare a acesteia, de condițiile de lucru, etc.). Acest fenomen, denumit și **givrare**, este des întâlnit în practica instalațiilor frigorifice. *Depunerile de zăpadă sau gheață au două efecte negative majore*, pe de-o parte reduc intensitatea transferului termic dintre aer și agentul frigorific și pe de altă parte reduc secțiunea de curgere a aerului. Pentru evitarea colmatării complete a

răcitorului, spațiul prevăzut între nervurile lamelare montate pe serpentine, este mult mai mare decât în cazul condensatoarelor răcite cu aer, sau decât în cazul răcitoarelor care nu givrează. În plus, răcitoarele de aer pe care în timpul exploatării se poate depune zăpadă sau gheață, trebuie prevăzute cu dispozitive pentru degivrare, care să încălzească zăpada până la topire și cu dispozitive pentru colectarea și evacuarea apei produse în timpul degivrării.

- **În aparatele de condiționare a aerului**, temperatura medie a suprafeței răcitoarelor, este de regulă pozitivă, dar inferioară temperaturii punctului de rouă (corespunzător aerului la intrarea în răcitor), ceea ce determină condensarea umidității din aer pe suprafața vaporizatoarelor. Această umiditate trebuie colectată și evacuată. Conex cu necesitatea evacuării apei, este cunoscut faptul că din aparatele de condiționare a aerului picură adesea apă. Deoarece umiditatea depusă în stare lichidă pe suprafața de transfer termic dintre aer și agentul frigorific, nu pune în pericol curgerea aerului, *spațiul dintre nervurile prevăzute pe serpentine, este mult mai mic decât în cazul răcitoarelor de aer care givrează.*

La intrarea în vaporizator, vaporii umezi de agent frigorific (1) au temperatura de vaporizare t_0 , iar la ieșire (3), vaporii obținuți sunt ușor supraîncălziți, valoarea temperaturii acestora purtând denumirea de temperatură de supraîncălzire t_{si} .

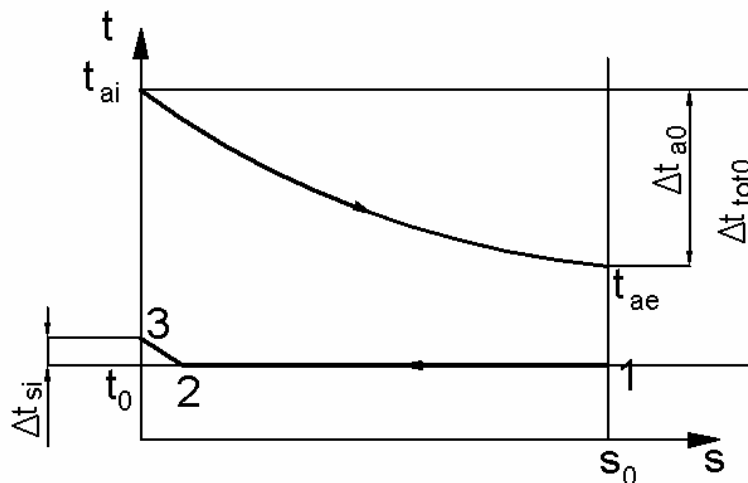


Fig. 4. Regimul termic al vaporizatorului răcitor de aer

Regimul termic al vaporizatorului răcitor de aer, este determinat de caracteristicile constructive ale aparatului (materiale, dimensiuni geometrice, starea suprafețelor, etc.), de regimul de curgere (debite, respectiv viteze de curgere), modul de amplasare a ventilatoarelor care asigură circulația aerului, etc. și este prezentat în figura 4.

Variațiile și diferențele de temperatură, caracteristice regimului termic sunt specifice, în funcție de destinația vaporizatoarelor răcitoare de aer. Astfel, aceste valori sunt indicate separat pentru cazul răcitoarelor de aer utilizate în condiționarea aerului și separat pentru cele utilizate în aplicații ale frigului industrial.

Calculul regimului termic al vaporizatorului constă în determinarea tuturor temperaturilor caracteristice. La proiectarea vaporizatoarelor, un obiectiv important al calculului regimului termic, este determinarea temperaturii de vaporizare t_0 , care reprezintă unul din parametrii interni de lucru ai instalației.

Temperatura aerului la intrarea în vaporizator t_{ai} , este cunoscută, indiferent de tipul aplicației, reprezentând temperatura aerului, care trebuie menținută în incinta răcită.

Temperatura aerului la ieșirea din vaporizator a fost notată cu t_{ae} , iar variația temperaturii aerului în vaporizator, sau gradul de răcire a aerului, a fost notată cu Δt_{a0} .

$$\Delta t_{a0} = t_{ai} - t_{ae} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

Variația temperaturii aerului în vaporizator, are în cazul unor construcții uzuale și condiții de lucru normale, următoarele valori:

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$\Delta t_{a0} = 6 \dots 10^\circ\text{C} \quad (2)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$\Delta t_{a0} = 3 \dots 5^\circ\text{C} \quad (3)$$

Temperatura aerului, la ieșirea din vaporizator se poate determina cu relația:

$$t_{ae} = t_{ai} - \Delta t_{a0} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$t_{ae} = t_{ai} - 6 \dots 10 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (5)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$t_{ae} = t_{ai} - 3 \dots 5 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (6)$$

Diferența dintre temperatura aerului la ieșirea din aparat și temperatura de vaporizare, este la construcții uzuale și în condiții normale:

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$t_{ae} - t_0 = 6 \dots 10^\circ\text{C} \quad (7)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$t_{ae} - t_0 = 3 \dots 5^\circ\text{C} \quad (8)$$

Diferența totală de temperatură din vaporizator, este diferența dintre temperatura aerului la intrarea în acesta și temperatura de vaporizare, iar în condițiile prezentate, valorile normale pentru aceasta sunt:

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$\Delta t_{tot0} = t_{ai} - t_0 = 12 \dots 20^\circ\text{C} \quad (9)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$\Delta t_{tot0} = t_{ai} - t_0 = 6 \dots 10^\circ\text{C} \quad (10)$$

Temperatura de vaporizare, se poate determina direct în funcție de temperatura aerului la intrare și diferența totală de temperatură în vaporizator:

$$t_0 = t_{ai} - \Delta t_{tot0} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (11)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$t_0 = t_{ai} - 12 \dots 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (12)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$t_0 = t_{ai} - 6 \dots 10 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (13)$$

Presiunea de vaporizare p_0 , poate fi determinată ușor, dacă se cunoaște temperatura de vaporizare, cu ajutorul diagramelor sau tabelelor termodinamice, corespunzătoare agentului de lucru din instalație:

$$t_0 \rightarrow p_0 \quad (14)$$

Gradul de supraîncălzire a vaporilor Δt_{si} , reprezintă diferența dintre temperatura vaporilor la ieșirea din vaporizator și temperatura de vaporizare:

$$\Delta t_{si} = t_{si} - t_0 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (15)$$

Valorile normale ale gradului de subrăcire, se încadrează în intervalul:

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$\Delta t_{si} = 5 \dots 8^\circ\text{C} \quad (16)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$\Delta t_{si} = 3 \dots 6^\circ\text{C} \quad (17)$$

Temperatura de supraîncălzire, cea la care ies vaporii de agent frigorific din vaporizator, se poate calcula cu relația:

$$t_{si} = t_0 + \Delta t_{si} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (18)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$t_{si} = t_0 + 5 \dots 8 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (19)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$t_{si} = t_0 + 3 \dots 6 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (20)$$

În figura 5 este prezentat un exemplu de regim termic normal, pentru un răcitor de aer, utilizat în climatizare, iar în figura 6 este prezentat un exemplu de regim termic normal, pentru un răcitor răcit de aer, utilizat într-un depozit frigorific pentru păstrarea produselor congelate, ambele vaporizatoare având o construcție uzuală și condiții de lucru medii.

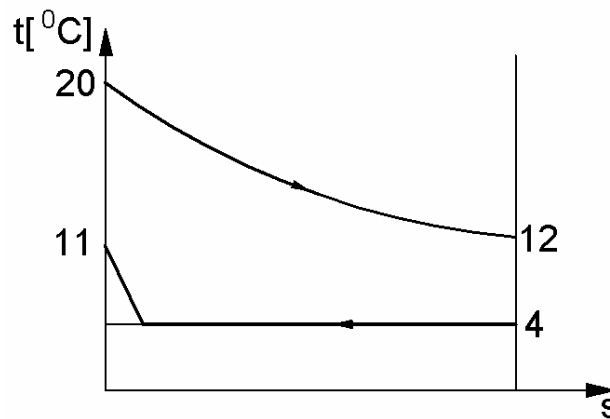


Fig. 5. Exemplu de regim termic al unui răcitor de aer utilizat în climatizare

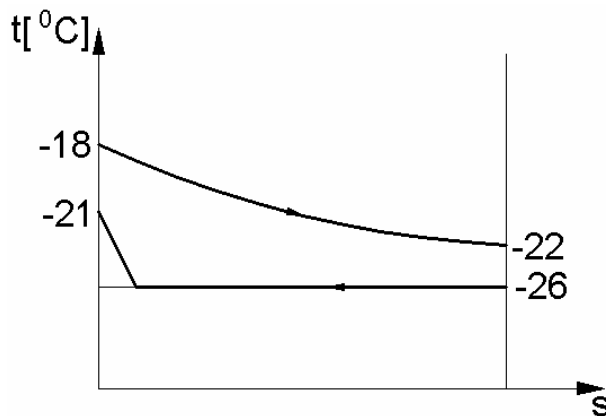


Fig. 6. Exemplu de regim termic al unui răcitor utilizat într-un depozit de produse congelate

Pentru răcitorul utilizat în climatizare:

Temperatura aerului la intrarea în vaporizator (temperatura din incintă): $t_{ai} = 20^{\circ}\text{C}$

Temperatura de vaporizare: $t_0 = 4^{\circ}\text{C}$

Diferența totală de temperatură în vaporizator: $\Delta t_{tot0} = 20 - 4 = 16^{\circ}\text{C}$

Temperatura aerului la ieșirea din vaporizator: $t_{ae} = 12^{\circ}\text{C}$

Gradul de răcire a aerului: $\Delta t_{a0} = 20 - 12 = 8^{\circ}\text{C}$

Diferența dintre t_{ae} și t_0 : $12 - 4 = 8^{\circ}\text{C}$

Temperatura de supraîncălzire: $t_{si} = 11^{\circ}\text{C}$

Gradul de supraîncălzire: $\Delta t_{si} = 11 - 4 = 7^{\circ}\text{C}$

Pentru răcitorul utilizat în depozitul pentru păstrarea produselor congelate:

Temperatura aerului la intrarea în vaporizator(temperatura din depozit): $t_{ai} = -18^{\circ}\text{C}$

Temperatura de vaporizare: $t_0 = -26^{\circ}\text{C}$

Diferența totală de temperatură în vaporizator: $\Delta t_{tot0} = -18 - (-26) = 8^{\circ}\text{C}$

Temperatura aerului la ieșirea din vaporizator: $t_{ae} = -22^{\circ}\text{C}$

Gradul de răcire a aerului: $\Delta t_{a0} = -18 - (-22) = 4^{\circ}\text{C}$

Diferența dintre t_{ae} și t_0 : $-22 - (-26) = 4^{\circ}\text{C}$

Temperatura de supraîncălzire: $t_{si} = -21^{\circ}\text{C}$

Gradul de supraîncălzire: $\Delta t_{si} = -21 - (-26) = 5^{\circ}\text{C}$

Răcitoare pentru lichide

Schema de principiu a unui vaporizator imersat într-un bazin de răcire a lichidelor, este prezentată în figura 7. Din punct de vedere constructiv, spre deosebire de răcitoarele de aer, cele pentru lichide nu sunt prevăzute cu nervuri. Această particularitate este ușor explicabilă prin faptul că în cazul lichidelor, coeficientul de convecție este mult mai mare decât în cazul aerului, deci nu mai trebuie prevăzute soluții constructive pentru intensificarea transferului termic. Bineînțeles, în bazinele pentru răcirea lichidelor, care sunt izolate termic, deoarece se găsesc la temperaturi sub cele ale mediului ambiant, sunt plasate mai multe serpentine, legate în paralel pe circuitul de agent frigorific.

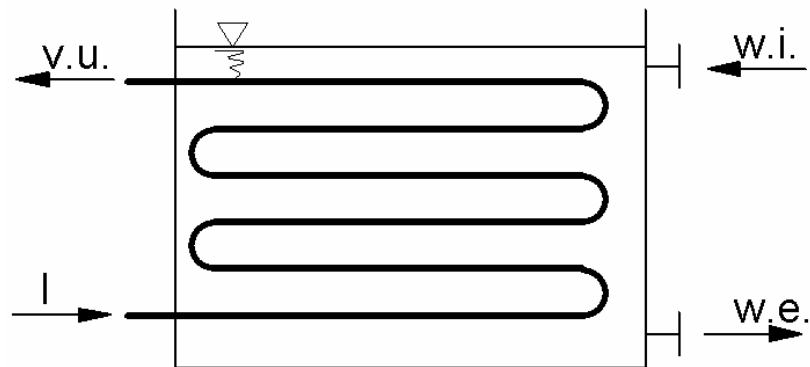


Fig. 7. Schema unui bazin de răcire a lichidelor, cu vaporizator imersat, realizat din serpentine

Din punct de vedere al agentului frigorific, acesta se comportă în vaporizatoarele destinate răcirii lichidelor, asemănător ca în răcitoarele pentru aer, cu deosebirea că la intrarea în vaporizator (1), agentul frigorific se găsește adesea în stare de lichid saturat, iar la ieșirea din vaporizator (2) se obține de regulă un amestec de lichid și vapori, *vaporizarea fiind incompletă*. Notațiile se referă la figura 9.

Alimentarea vaporizatoarelor imersate în bazinele de răcire a lichidelor VIB, se realizează ca în figura 8 și schema prezentată în figura 9.

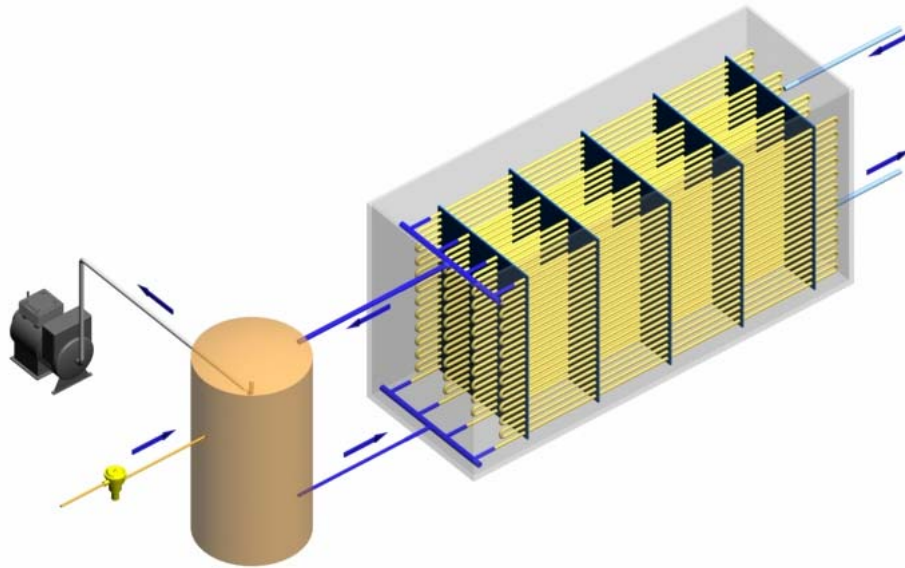


Fig. 8. Alimentarea cu lichid a vaporizatorului imersat într-un bazin de răcire a lichidelor

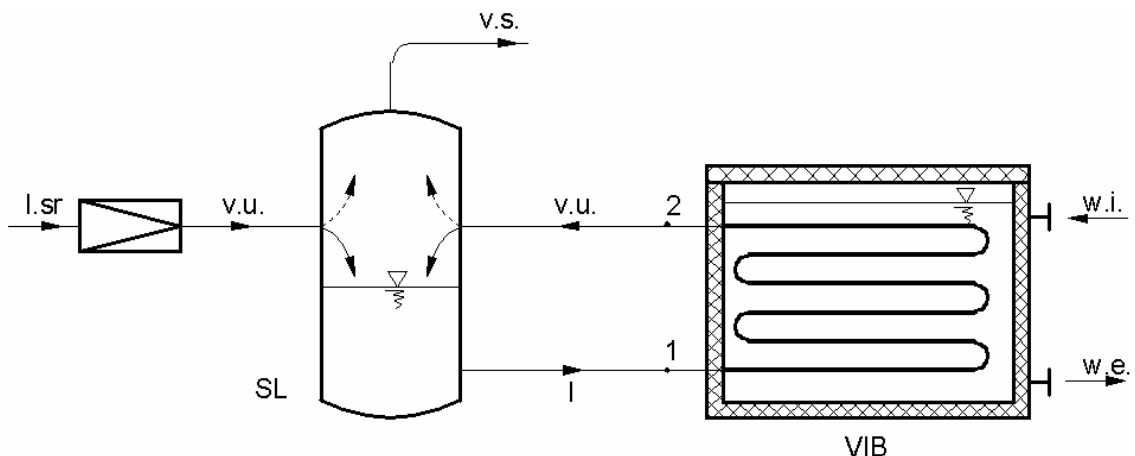


Fig. 9. Schema de alimentare cu lichid a vaporizatorului imersat într-un bazin de răcire a lichidelor

Această schemă, include un *separator de lichid* SL, având rolul de a alimenta vaporizatorul cu lichid și nu cu vapori umezi. Se dorește alimentarea vaporizatoarelor cu lichid și nu cu un amestec de lichid și vapori, pentru că doar lichidul poate realiza putere frigorifică, prin fierbere și pentru că lichidul prezintă coeficienți de transfer termic mai ridicați decât vaporii, acesta fiind și principalul motiv pentru care în aceste aparate vaporizarea este de regulă incompletă. În separatorul de lichid, se produce atât separarea lichidului de vaporii produși în ventilul de laminare VL, cât și separarea vaporilor de lichidul care iese din vaporizator, datorită vaporizării incomplete. Separatorul de lichid protejează și compresorul împotriva pătrunderii de lichid pe conducta de aspirație. Detalii funcționale și de calcul, privind separatorul de lichid, vor fi prezentate într-un capitol ulterior.

Apa, sau celelalte lichide răcite, curg prin spațiul dintre țevi și cedează căldură agentului frigorific, iar intensificarea curgerii este realizată cu ajutorul unor agitatoare acționate de motoare electrice, montate în partea superioară a bazinelor, Viteza de curgere a

lichidelor în interiorul bazinelor este redusă. Racordul de intrare a apei a fost notat cu w_i , iar racordul de ieșire a apei cu w_e .

În figura 10 este prezentat regimul termic al unui vaporizator imersat într-un bazin pentru răcirea lichidelor. Temperatura agentului frigorific este constantă și egală cu temperatura de vaporizare t_0 .

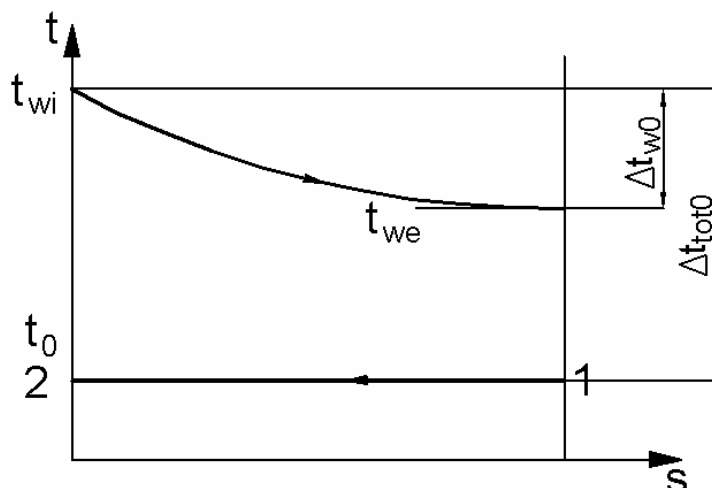


Fig. 10. Regimul termic al vaporizatorului imersat în bazinul pentru răcirea lichidelor

Regimul termic al vaporizatorului răcitor de aer este determinat de caracteristicile constructive ale aparatului (materiale, dimensiuni geometrice, starea suprafețelor, etc.), de regimul de curgere (debite, respectiv viteze de curgere), modul de amplasare a agitatoarelor care asigură circulația lichidului, etc.

Calculul regimului termic al vaporizatorului constă în determinarea tuturor temperaturilor caracteristice. La proiectarea vaporizatoarelor, un obiectiv important al calculului regimului termic, este determinarea temperaturii de vaporizare t_0 , care reprezintă unul din parametrii interni de lucru ai instalației.

Temperatura lichidului la intrarea în vaporizator t_{wi} , este cunoscută reprezentând temperatura cu care lichidul rece, care cel mai adesea deservește un proces tehnologic, se întoarce în bazin, pentru a fi răcit din nou.

Temperatura lichidului la ieșirea din vaporizator a fost notată, cu t_{we} , iar variația temperaturii lichidului în vaporizator, sau gradul de răcire a lichidului, a fost notată cu Δt_{w0} .

$$\Delta t_{w0} = t_{wi} - t_{we} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (21)$$

Variația temperaturii lichidului în vaporizator, are în cazul unor construcții uzuale și condiții de lucru normale, următoarele valori:

$$\Delta t_{w0} = 2 \dots 6^\circ\text{C} \quad (22)$$

Temperatura lichidului, la ieșirea din vaporizator se poate determina cu relația:

$$t_{we} = t_{wi} - \Delta t_{w0} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (23)$$

$$t_{we} = t_{wi} - 2 \dots 6 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (24)$$

Diferența dintre temperatura lichidului la ieșirea din aparat și temperatura de vaporizare, este la construcții uzuale și în condiții normale:

$$t_{we} - t_0 = 4 \dots 8^\circ\text{C} \quad (25)$$

Diferența totală de temperatură din vaporizator, este diferența dintre temperatura lichidului la intrarea în acesta și temperatura de vaporizare, iar în condițiile prezentate, valorile normale sunt:

$$\Delta t_{tot0} = t_{wi} - t_0 = 6 \dots 12^\circ\text{C} \quad (26)$$

Temperatura de vaporizare, se poate determina direct în funcție de temperatura lichidului la intrare și diferența totală de temperatură în vaporizator:

$$t_0 = t_{wi} - \Delta t_{tot0} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (27)$$

$$t_0 = t_{wi} - 6 \dots 12 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (28)$$

Presiunea de vaporizare p_0 , poate fi determinată ușor, dacă se cunoaște temperatura de vaporizare, cu ajutorul diagramelor sau tabelor termodinamice, corespunzătoare agentului de lucru din instalație:

$$t_0 \rightarrow p_0 \quad (29)$$

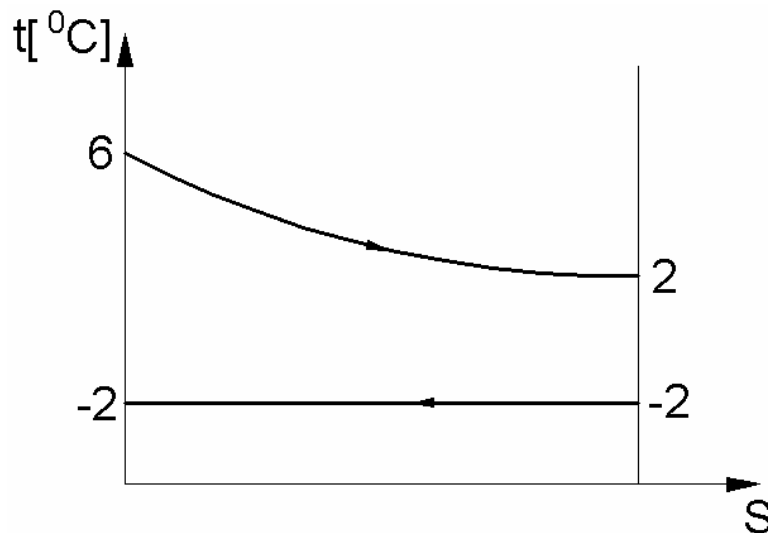


Fig. 11. Exemplu de regim termic al unui vaporizator imersat într-un bazin pentru răcirea apei

În figura 11 este prezentat un exemplu de regim termic normal, pentru un vaporizator imersat într-un bazin pentru răcirea apei. O asemenea utilizare se întâlnește adesea în industria alimentară.

Temperatura apei la intrarea în vaporizator: $t_{wi} = 6^{\circ}\text{C}$

Temperatura de vaporizare: $t_0 = -2^{\circ}\text{C}$

Diferența totală de temperatură în vaporizator: $\Delta t_{tot0} = 6 - (-2) = 8^{\circ}\text{C}$

Temperatura apei la ieșirea din vaporizator: $t_{we} = 2^{\circ}\text{C}$

Gradul de răcire a apei: $\Delta t_{w0} = 6 - 2 = 4^{\circ}\text{C}$

Diferența dintre t_{we} și t_0 : $2 - (-2) = 4^{\circ}\text{C}$

Gradul de supraîncălzire: $\Delta t_{si} = 0^{\circ}\text{C}$

Vaporizarea în exteriorul țevilor

Răcirea lichidelor este posibilă și prin vaporizarea agentului frigorific în exteriorul țevilor. În acest caz, apa sau lichidul răcit, curge prin interiorul țevilor, dispuse într-un fascicul, montat într-o manta.

În figura 12 este reprezentată schema de montaj în circuitul frigorific a unui vaporizator multitubular orizontal VMO, având construcția descrisă anterior.

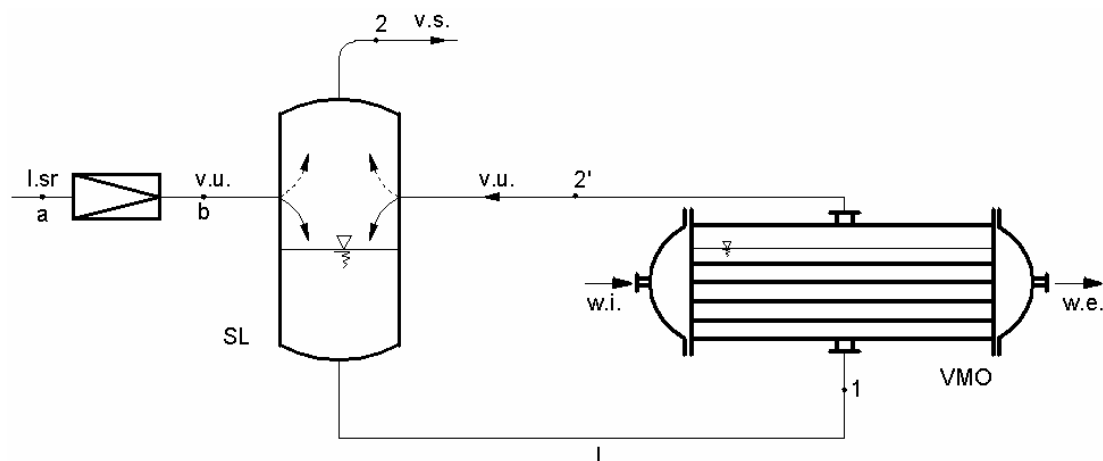


Fig. 12. Schema de montaj a unui vaporizator multitubular orizontal cu fierbere între țevi, pentru răcirea lichidelor

Separatorul de lichid are același rol, ca și în cazul schemei de alimentare a vaporizatorului imersat în bazinul de răcire a lichidelor, prezentat în paragraful anterior. Vaporizatorul prezentat în această schemă, produce vapori umezi de agent frigorific, în sensul că pe conducta de ieșire din vaporizator pot exista picături de lichid, care sunt antrenate de vaporii rezultați în urma fierberii, mai ales în cazul în care aceasta este intensă.

În figurile 13 și 14 este prezentat un vaporizator multitubular orizontal, pentru răcirea lichidelor care curg prin interiorul țevilor. Aparatul este prevăzut la partea superioară cu un dom pentru liniștirea vaporilor. Acest dom permite separarea picăturilor de lichid antrenate de vapori și reîntoarcerea acestora în spațiul dintre țevi și manta.

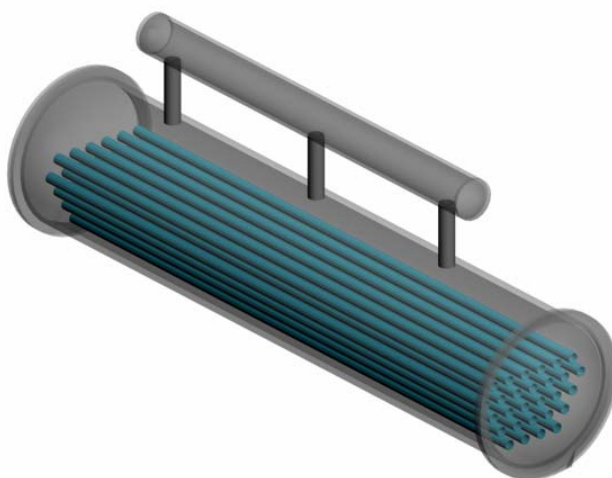


Fig. 13. Vaporizator multitubular orizontal pentru răcirea lichidelor

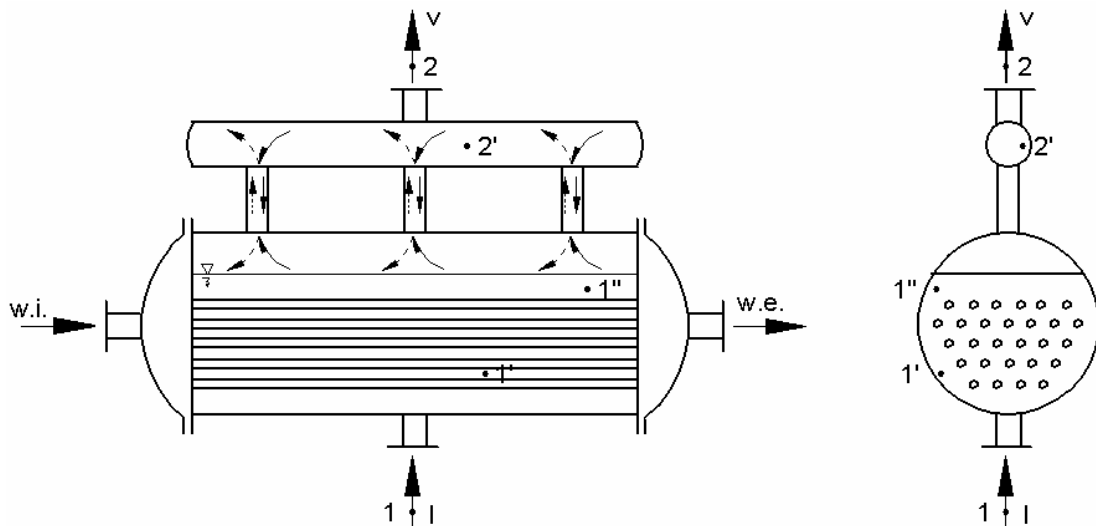


Fig. 14. Schema constructivă a unui vaporizator multitubular orizontal pentru răcirea lichidelor

Spre deosebire de condensatoarele multitubulare orizontale, vaporizatoarele de acest tip, prezintă un fascicul de țevi incomplet în partea superioară a aparatului, deoarece țevile se montează numai sub nivelul liber al agentului frigorific lichid.

Evoluția procesului de vaporizare în spațiul dintre țevi, este prezentată în figura 15.

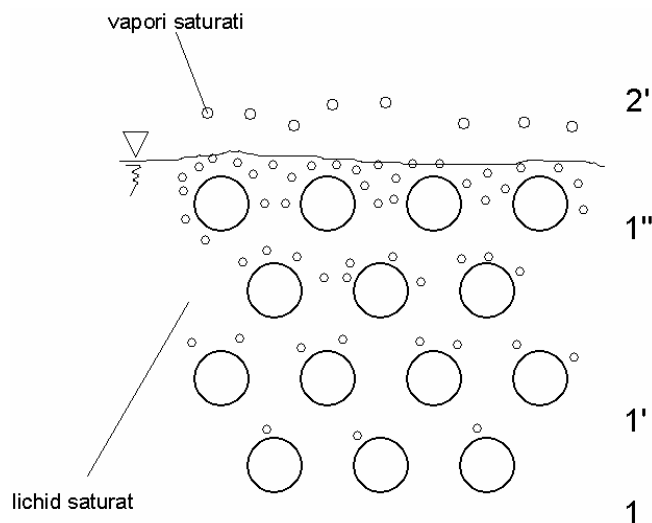


Fig. 15. Evoluția procesului de vaporizare în spațiul dintre țevi

Agentul frigorific lichid este introdus vaporizator prin partea inferioară a acestuia și chiar dacă provine direct din ventilul de laminare și nu din separatorul de lichid, deci chiar dacă există și vapori în lichidul frigorific, aceștia se vor ridica spre partea superioară a aparatului, iar în partea de jos, vaporizatorul va fi plin cu lichid saturat (1). Agentul frigorific preia căldură de la lichidul care curge prin țevi și se răcește. Prin urmare, pe suprafața exterioară a țevelor se formează vapori, care se ridică spre suprafață, astfel încât ponderea vaporilor, sau titlul acestora, crește continuu spre suprafața lichidului (1', 1''). Suprafața liberă a lichidului este agitată, deoarece agentul frigorific fierbe, mai mult sau mai puțin intens, în spațiul dintre țevi și manta. Mai mult, această suprafață liberă a lichidului frigorific lichid, este puternic spumată, datorită prezenței uleiului antrenat din circuitul de ungere al compresorului. Deasupra lichidului, vaporii saturați pot conține și picături antrenate datorită

“agitației” de la suprafața lichidului (2’). În domul de colectare și liniștire a vaporilor, de la partea superioară a vaporizatorului, picăturile de agent frigorific lichid se separă de vapori și cad înapoi în aparat, astfel încât la ieșirea din acesta se obțin vapori saturați (2).

Regimul termic al vaporizatorului multitubular orizontal, este asemănător cu cel al vaporizatorului imersat în bazin, din punct de vedere calitativ, așa cum este prezentat în figura 10. În cele două tipuri de vaporizatoare, se realizează aceleași diferențe semnificative de temperaturi, iar regimul termic prezentat în figura 11, poate fi realizat și de vaporizatorul multitubular orizontal. Trebuie însă precizat că *în cazul vaporizatorului multitubular orizontal, temperatura lichidului din interiorul țevilor, în cazul în care acesta este apa, trebuie să fie superioară valorii de 0°C, deoarece apa ar îngheța și ar distruge țevile, ceea ce nu se întâmplă în cazul vaporizatoarelor imersate în bazine. Acesta este, pe lângă simplitatea constructivă și unul din motivele pentru care vaporizatoarele imersate în bazine sunt mai des utilizate decât cele multitubulare orizontale.*

Reprezentarea proceselor în diagrame termodinamice

Procesele termodinamice, care au loc în diferitele tipuri de vaporizatoare analizate anterior, pot fi reprezentate în diagramele termodinamice T-s și lgp-h, ca în figurile 16, 17, 18 și 19.

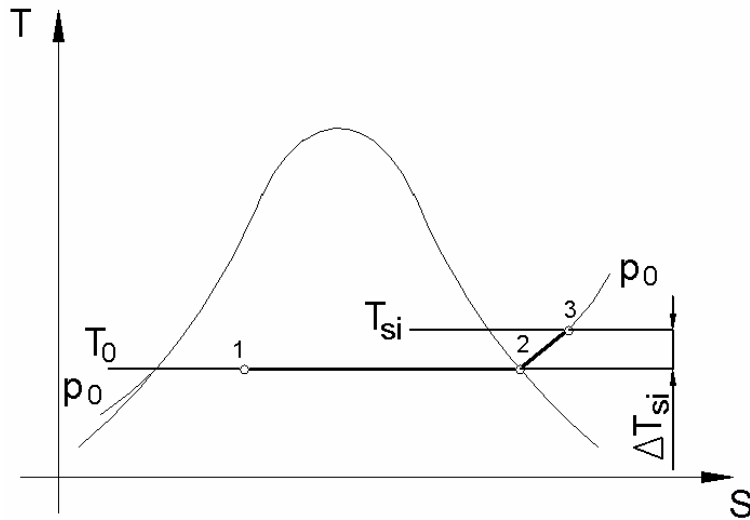


Fig. 16. Reprezentarea procesului de vaporizare dintr-un răcitor de aer, în diagrama T-s

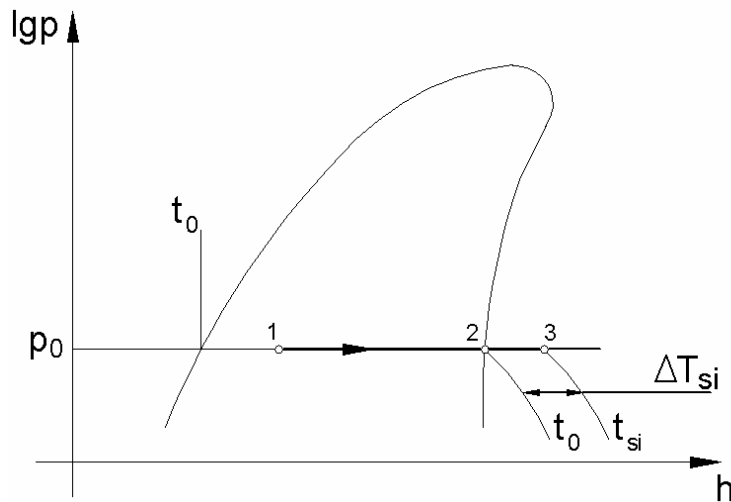


Fig. 17. Reprezentarea procesului de vaporizare dintr-un răcitor de aer, în diagrama lgp-h

Răcitoarele de aer sunt vaporizatoare în care se realizează vaporizarea completă a agentului frigorific, urmată de o ușoară supraîncălzire. Starea 1 reprezintă intrarea agentului frigorific în vaporizator (amestec de lichid și vapori), starea 2 reprezintă sfârșitul vaporizării propriu-zise (vapori saturați uscați), iar starea 3 reprezintă ieșirea agentului frigorific din vaporizator (vapori supraîncălziți).

Vaporizatoarele imersate în bazine pentru răcirea lichidelor, sunt caracterizate prin faptul că la intrarea în aparat agentul frigorific se găsește în stare de lichid saturat, iar vaporizarea este incompletă, obținându-se un amestec de lichid și vapori. Starea 1 reprezintă intrarea agentului frigorific în vaporizator (lichid saturat), iar starea 2 reprezintă ieșirea agentului frigorific din vaporizator (vapori umezi).

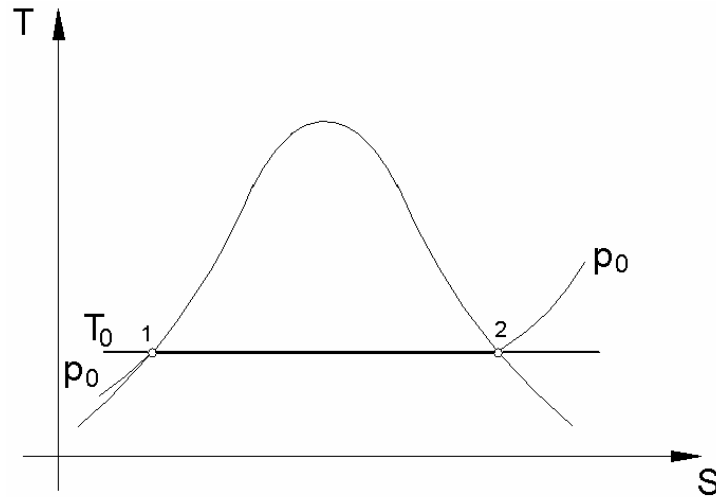


Fig. 18. Reprezentarea procesului de vaporizare dintr-un VMO, în diagrama T-s

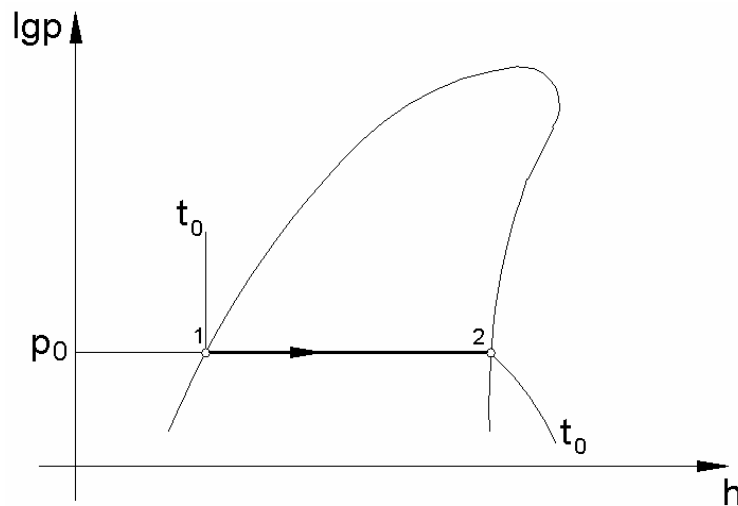


Fig. 19. Reprezentarea procesului de vaporizare dintr-un VMO, în diagrama lgp-h

Vaporizatoarele multitubulare orizontale sunt caracterizate prin faptul că la intrarea în aparat agentul frigorific se găsește în stare de lichid saturat, iar vaporizarea este completă. Starea 1 reprezintă intrarea agentului frigorific în vaporizator (lichid saturat), iar starea 2 reprezintă ieșirea agentului frigorific din vaporizator (vapori saturați uscați).

Pentru vaporizatoarele destinate răcirii lichidelor, reprezentarea regimului termic, în diagrama temperatură (t) – suprafață de transfer termic (S), oferă toate informațiile necesare pentru determinarea parametrilor termodinamici ai lichidului respectiv.

În cazul vaporizatoarelor răcitoare de aer, datorită prezenței umidității în aerul care preia căldura degajată de agentul frigorific, în vederea studierii procesului termodinamic suferit de aer, este necesară reprezentarea acestuia în diagrama entalpie (h) – umiditate (x) a aerului umed, ca în figurile 20 și 21.

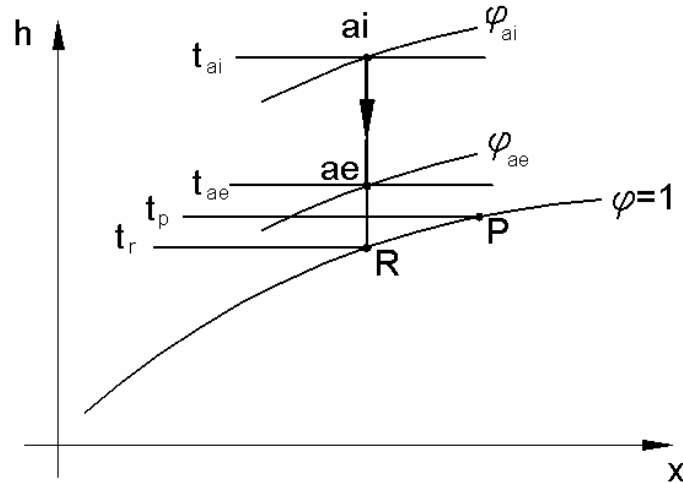


Fig. 20. Reprezentarea procesului de răcire a aerului, în diagrama h-x, dacă temperatura peretelui este mai mare decât temperatura punctului de rouă

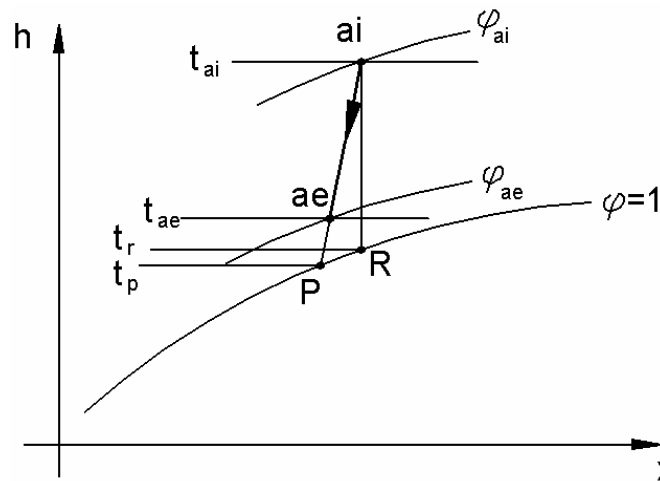


Fig. 21. Reprezentarea procesului de răcire a aerului, în diagrama h-x, dacă temperatura peretelui este mai mică decât temperatura punctului de rouă

Notațiile au aceeași semnificație ca și cele utilizate anterior:

- ai – starea aerului la intrarea în condensator;
- ae – starea aerului la ieșirea din condensator;
- R – punctul de rouă;
- P – starea de saturație aflată la temperatura peretelui.

Comportarea aerului umed în timpul procesului de răcire, este diferită în funcție de relația existentă între temperatura medie exterioară a peretelui suprafeței răcitorului de aer (t_p) și temperatura punctului de rouă (t_r), corespunzător aerului la intrarea în vaporizator. **Dacă temperatura peretelui este mai mare decât temperatura punctului de rouă, atunci răcirea se realizează la umiditate absolută constantă**, deoarece cantitatea de vapori de apă conținută de aer, rămâne constantă. Această situație este reprezentată în figura 20. **Dacă temperatura peretelui este mai mică decât temperatura punctului de rouă, atunci se produce uscarea aerului.** În acest caz, procesul de răcire este însoțit, pe lângă reducerea temperaturii aerului și de fenomenul de depunere a unei cantități semnificative de condens, care determină scăderea umidității absolute a aerului, așa cum se observă în figura 21. Răcirea aerului se reprezintă în acest caz, pe diagrama h-x a aerului umed, printr-o dreaptă, care unește punctul reprezentând starea aerului la intrarea în vaporizator (ai), cu punctul caracterizat prin temperatura exterioară a peretelui răcitorului de aer și curba de saturație a aerului umed (P). Punctul reprezentând

starea aerului la ieșirea din vaporizator (ae), se va găsi pe această dreaptă, și va avea temperatura ceva mai ridicată decât temperatura peretelui:

- Pentru răcitoare de aer utilizate în climatizare:

$$t_{ae} = t_p + 4 \dots 8^{\circ}\text{C} \quad (30)$$

- Pentru răcitoare de aer utilizate în aplicații industriale:

$$t_{ae} = t_p + 2 \dots 3^{\circ}\text{C} \quad (31)$$

Temperatura peretelui răcitorului de aer, este foarte apropiată de temperatura de vaporizare:

$$t_p = t_0 + 2 \dots 3^{\circ}\text{C} \quad (32)$$

În climatizare, cea mai des întâlnită situație, este cea în care temperatura peretelui este mai mică decât temperatura punctului de rouă.

În aplicațiile industriale, temperatura peretelui este cel mai des negativă, ca și temperatura de vaporizare. În acest caz, umiditatea se va depune sub formă de brumă, zăpadă, sau gheață.

Supraîncălzirea

Analiza detaliată a procesului de supraîncălzire, a vaporilor de agent frigorific, în țevile vaporizatoarelor, este importantă pentru înțelegerea completă a proceselor termodinamice și pentru formarea unei imagini mai clare a manierei în care evoluează agentul frigorific în aceste aparate. În primul rând trebuie constatat că supraîncălzirea se produce de regulă în toate vaporizatoarele răcitoare de aer și foarte rar în vaporizatoarele destinate răcirii lichidelor.

Analiza valorii gradului de supraîncălzire, este importantă în procesul de diagnoză a stării de funcționare a vaporizatorului. În plus, așa cum se va arăta în continuare, valoarea gradului de supraîncălzire, sau mai simplu valoarea supraîncălzirii, permite evaluarea cantității de lichid din vaporizator.

În figura 22 este figurat un detaliu al vaporizatorului răcitor de aer, reprezentând zona în care se realizează supraîncălzirea 2-3.

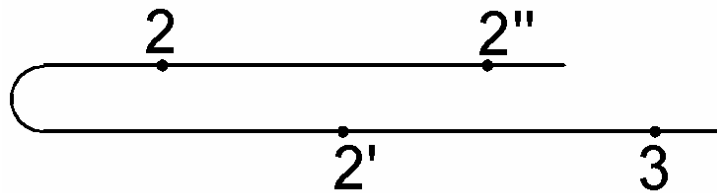


Fig. 22. Detaliu al vaporizatorului răcitor de aer. Supraîncălzirea.

Având în vedere că poziția stării 2, corespunde locului în care se produce vaporizarea ultimei picături de lichid din vaporizator, lungimea de țevă a vaporizatorului 2-3, este cea care asigură suprafața de transfer termic, necesară realizării în condiții normale a supraîncălzirii. Această porțiune de conductă este în condiții normale, plină cu vapori.

Dacă dintr-un motiv oarecare, ultima picătură de lichid, vaporizează mai târziu decât în mod normal (în 2'), atunci *pentru supraîncălzire va fi disponibilă o porțiune mai scurtă de țevă, care va asigura o suprafață de transfer termic mai redusă. Gradul de supraîncălzire realizat va fi mai redus și în vaporizator se va găsi mai mult lichid decât în mod normal.*

Dacă dintr-un motiv oarecare, ultima picătură de lichid, vaporizează mai, repede decât în mod normal (în 2''), atunci *pentru supraîncălzire va fi disponibilă o porțiune mai lungă de țevă, care va asigura o suprafață de transfer termic mai mare. Gradul de supraîncălzire realizat va fi mai mare și în vaporizator se va găsi mai puțin lichid decât în mod normal.*

Se constată că există o corelație între gradul de supraîncălzire și cantitatea de lichid existentă în vaporizator. ***Cu cât crește gradul de supraîncălzire, cu atât scade cantitatea de lichid din vaporizator. Cu cât scade gradul de supraîncălzire, cu atât crește cantitatea de lichid din condensator.*** La limită, dacă gradul de supraîncălzire este nul, se poate considera că procesul de vaporizare se termină exact la ieșirea din vaporizator, sau chiar că din vaporizator, ies vapori umezi, adică un amestec de lichid saturat și vapori saturați. Lichidul care ar ajunge pe conducta de aspirație, ar reprezenta un mare pericol pentru compresor, putând determina producerea loviturilor hidraulice în cilindrii acestuia. Pentru evitarea unei asemenea situații, vaporizatoarele sunt prevăzute cu dispozitive specializate de alimentare cu lichid, care simultan controlează și procesul de supraîncălzire. Aceste dispozitive realizează și laminarea agentului frigorific lichid, de la presiunea de condensare, până la cea de vaporizare, purtând denumirea de **ventile de laminare termostactice**. Aceste aparate urmează să fie analizate într-un alt capitol.

Aspecte practice

Un grad de supraîncălzire prea redus, poate fi asociat cu o cantitate prea mare de lichid în vaporizator.

Această concluzie poate fi exploatată eficient în activitatea de diagnoză a instalațiilor frigorifice, dar valoarea gradului de supraîncălzire, trebuie corelată și cu valorile altor parametri funcționali ai instalației.

Cantitatea de lichid din vaporizator, depinde și de temperatura aerului la intrarea în acesta. Cu cât temperatura aerului din spațiul răcit de vaporizator este mai redusă, cu atât mai mare va fi lungimea de țevă, deci suprafața de transfer termic, necesară realizării unei supraîncălziri normale. Astfel, în răcitoarele de aer din depozitele pentru păstrarea produselor congelate, gradul de supraîncălzire va fi ceva mai redus decât în răcitoarele de aer din aparatele de climatizare.

Temperatura de vaporizare poate fi citită pe manometrul montat pe conducta de aspirație a compresorului, iar temperatura de supraîncălzire poate fi citită pe un termometru de contact, montat pe conducta de ieșire a agentului frigorific din vaporizator.

Prima parte a afirmației anterioare poate fi considerată la prima vedere hazardată, de către un cititor neavizat, dar este perfect adevărată. Pentru a se înțelege mai ușor cum anume se poate determina temperatura de vaporizare cu ajutorul unui manometru, în figura 23, este prezentat un manometru frigorific de aspirație.



Fig. 23. Manometru frigorific de aspirație

Se observă că manometrele frigorifice prezintă cinci scale gradate, dintre care două plasate la interior, indică presiunea, iar trei plasate spre exterior, indică ***temperaturile de saturație***, pentru trei agenți frigorifici diferiți.

Fiind montat pe conducta de aspirație, manometrul va indica presiunea de vaporizare, iar temperatura de saturație corespunzătoare acestei presiuni este temperatura de vaporizare, care trebuie citită pe scala corespunzătoare agentului de lucru din instalație.

În figura 24, este prezentată o schemă de montaj într-o instalație frigorifică a unui manometru, pe conducta de aspirație a compresorului și a unui termometru, pe conducta de ieșire a agentului frigorific din vaporizator. Gradul de supraîncălzire a vaporilor de agent frigorific în vaporizator, este reprezentat de diferența dintre temperatura agentului frigorific la ieșirea din vaporizator, citită pe termometru și temperatura de vaporizare, citită pe manometrul de aspirație.

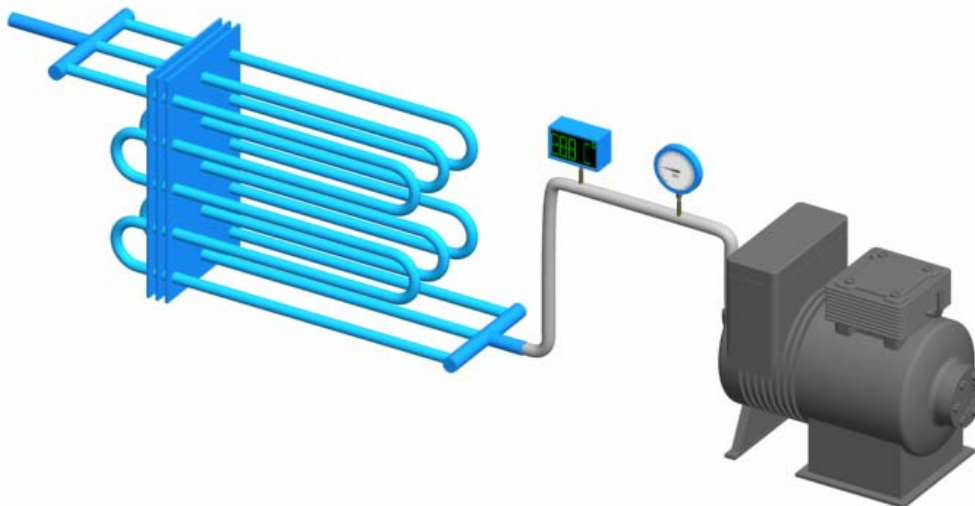


Fig. 24. Schema de montaj a manometrului și termometrului pentru determinarea gradului de supraîncălzire

Principiul pentru determinarea experimentală a gradului de supraîncălzire, prezentat anterior, este valabil atât pentru vaporizatoarele funcționând cu freoni, utilizate preponderent în instalații cu puteri frigorifice mici și medii cât și pentru vaporizatoarele funcționând cu amoniac, utilizate preponderent în instalații cu puteri frigorifice mari.