

NOI TEHNOLOGII CRIOGENICE APLICATE ÎN ROMÂNIA

Alexandru ȘERBAN¹

¹ Universitatea "Transilvania" din Brașov

Rezumat: Criogenia tehnică are ca obiect dezvoltarea și perfecționarea tehnicilor de obținere a temperaturilor foarte scăzute, procese și echipamente. În contrast cu fizica temperaturilor joase, criogenia tehnică se ocupă cu utilizarea fenomenelor care au loc la temperaturi scăzute, chiar și cu cercetarea științifică de bază, mai ales că între cele două obiective nu există o linie de demarcație exactă. Cuvântul *criogenie* provine din limba greacă și înseamnă "producerea de frig", în intervalul de temperatură -150 până la zero absolut. **Aerul** este un amestec de diferite gaze, dintre care cele mai importante sunt: azotul (N₂) 78% din volum, oxigenul (O₂) 21% din volum și argonul (Ar) 1% din volum. Cele mai multe unități de separare a aerului produc aceste trei gaze sub formă lichidă. Unele unități produc mai mult oxigen și/sau azot în stare gazoasă pentru a fi livrate prin conducte la consumatori.

Cuvinte cheie: criogenie, separarea aerului, tehnologii noi

1. INTRODUCERE

Criogenia tehnică are ca obiect dezvoltarea și perfecționarea tehnicilor de obținere a temperaturilor foarte scăzute, procese și echipamente. În contrast cu fizica temperaturilor joase, criogenia tehnică se ocupă cu utilizarea fenomenelor care au loc la temperaturi scăzute, chiar și cu cercetarea științifică de bază, mai ales că între cele două obiective nu există o linie de demarcație exactă. Un inginer ar trebui să fie familiarizat cu fenomenele fizice pentru a putea să le utilizeze efectiv; un fizician ar trebui să fie familiarizat cu principiile ingineresti pentru a putea să proiecteze experimente și aparatura specifică.

Cuvântul *criogenie* provine din limba greacă și înseamnă "producerea de frig", în intervalul de temperatură -150 până la zero absolut.

Aerul este un amestec de diferite gaze, dintre care cele mai importante sunt: azotul (N₂) 78% din volum, oxigenul (O₂) 21% din volum și argonul (Ar) 1% din volum.

Cele mai multe unități de separare a aerului produc aceste trei gaze sub formă lichidă. Unele unități produc mai mult oxigen și/sau azot în stare gazoasă pentru a fi livrate prin conducte la consumatori.

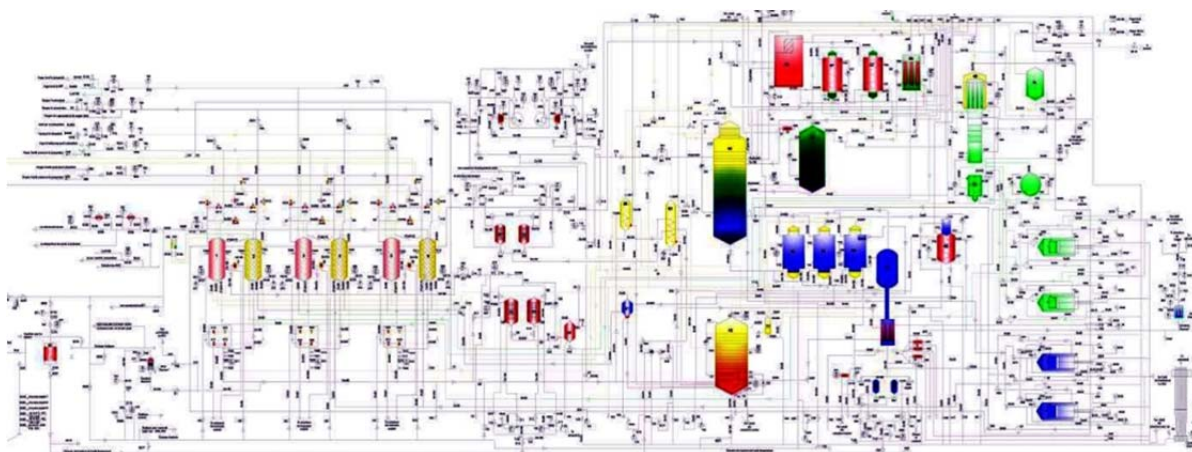


Fig. 1. Schema unei unități mai vechi de separare a aerului, de construcție rusească de tip KAAr-15.

Mai jos, este prezentată schema unei „instalații de separarea a aerului la presiune joasă fără producere de argon” (Figura 2), urmată mai apoi de descrierea generală a procesului tehnologic, pentru ca mai apoi să fie detaliate noutățile pe care le aduce această tehnologie.

Aerul comprimat curat, intră în cuva rece de la frontalul instalației de purificare și este răcit aproape de temperatura lui de lichefiere, circa -170°C (-274°F), prin evacuarea curenților de produs rece în schimbătorul de căldură principal. Aerul intra apoi în coloana de înaltă presiune (numită aici „coloana HP”) unde este separat prin distilare în curenții de azot de la partea superioară și un curent de lichid îmbogățit ce conține circa 37% oxigen, de la partea inferioară.

Azotul gazos de la coloana HP curge în vaporizatorul principal, unde intră în contact cu oxigenul lichid de joasă presiune în bazinul de colectare al coloanei de joasă presiune (numită aici „coloana LP”). Oxigenul lichid fierbe (la circa -179°C sau -290°F) contra condensării azotului de înaltă presiune ce furnizează refluxul în coloana HP. Separarea finală se produce în coloana LP, care funcționează la aprox. 1,4 bar (20 psi).

Refluxul și curenții de alimentare sunt furnizați de azotul lichid și lichidul îmbogățit de la coloana HP. Aceste lichide sunt subrăcite contra azotului gazos în lichidul subrăcit înainte de a fi expandat în coloana LP.

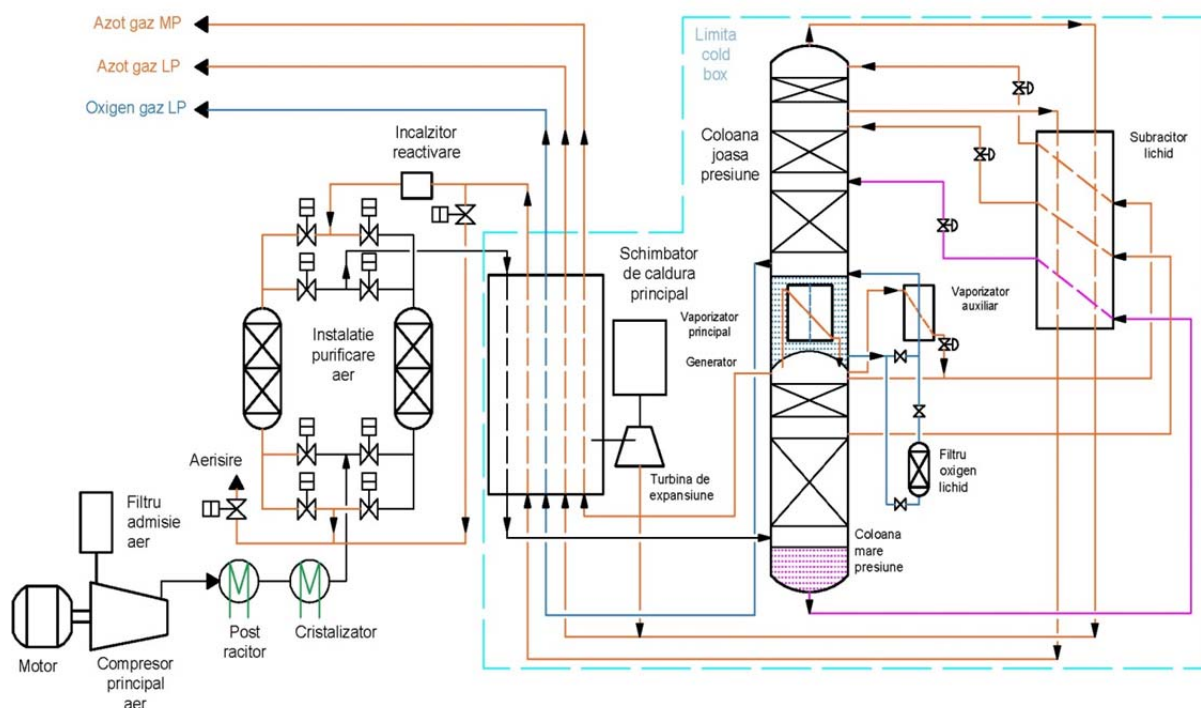


Fig. 2. Schema unei unități moderne de separare a aerului (ASU) de joasă presiune, de construcție germană.

Fierberea oxigenului în coloana LP furnizează energia necesară pentru a se extrage azotul și argonul din curentul de lichid îmbogățit.

Produsul oxigen gazos este luat de la partea inferioară a coloanei LP, iar produsul azot pur de la partea superioară. Un curent intermediar de azot rezidual, utilizat pentru reactivarea straturilor din adsorber, este extras aproape de partea superioară a coloanei LP. De obicei, este compus din mai puțin de 2% oxigen și conține efectiv tot argonul care există în cuva rece.

Hydrocarburile care nu au fost îndepărtate din aer de la frontalul instalației de purificare (FEP) se acumulează în baia de oxigen lichid aproape de vaporizatorul principal. Pentru a reduce acest pericol, se poate prevedea un filtru adsorbant umplut cu oxigen lichid (numit aici „filtru LOX”). (Depinde de o cerință a procesului: de exemplu raportul concentrației instalației GOX este foarte scăzut, astfel filtrul LOX nu este necesar). Sunt instalate două filtre în paralel, cu unul în faza de adsorbție și celălalt în regenerare.

Pentru a menține temperatura corespunzătoare de funcționare în proces și pentru a compensa pierderea de căldură din cuva rece, este necesară o instalație de producere frig. În mod normal, pentru o instalație de gaz de joasă presiune, este prevăzută o turbină de detentă ca instalație de producere frig. Aceasta mașină ia parțial azotul încălzit din coloana HP, egal cu circa 10% din debitul de aer la cuva rece, și prin expansiune îl răcește pentru a ajunge la produsele de plecare. Pentru anumite

avantaje, un debit mic de azot de înaltă presiune poate fi încălzit înainte cu celelalte produse în schimbătorul de căldură principal. În cea mai recentă instalație proiectată, turbina funcționează la un debit mic de aer curat, care a fost ridicată în presiune de propriul lui compresor (expandor-dispozitiv auxiliar).

În cazul unei producții mari de LOX (și LIN), poate exista un lichefiator separat, cu un lichid permanent de la lichefiator (sau stocaj, când lichefiatorul este oprit).

2. PURIFICAREA AERULUI

Înlăturarea umidității și a CO₂ este necesară pentru eficiența și siguranța funcționării instalațiilor de separare a aerului (ASU). Dacă nu, umiditatea și gazul CO₂ conținut în aer va fi transformat respectiv, în solid, gheața sau zăpadă de CO₂, fiind răcit în canalele de aer ale schimbătorului cuvei reci, iar CO₂ se poate depune în canalele de oxigen ale vaporizatorului principal conducând la unele riscuri în funcționarea ASU.

Scopul Frontalului Purificării (FEP) este să înlăture impuritățile prin adsorbție după comprimarea aerului și prerăcire, deoarece umiditatea conținută în aer este mai mică la presiune mai mare și la temperatura mai mică conform cu tabelele Robitzsch (relația dintre temperatura și cantitatea maximă de apă (vapori la saturație) în volumul de aer).

Adsorbția constă în fixarea pe o suprafață solidă (numită adsorbant) a moleculelor în forma gazoasă sau lichidă. Aceste molecule penetrează porii care au diametrul de câțiva angstromi. Adsorbția este un fenomen de suprafață care este reversibil, ceea ce înseamnă că moleculele penetrante pot fi scoase prin încălzirea adsorbantului și prin depresurizare (faza de regenerare).

Fenomenul adsorbției este favorizat prin respectarea următorilor factori:

- ✓ presiune mare,
- ✓ temperatura scăzută,
- ✓ particule mici de adsorbant.

Sunt considerate două straturi diferite de adsorbție: primul (conform cu direcția de curgere a aerului) stratul de alumina care adsorbte apa, al doilea-stratul de sita moleculară care adsorbte dioxidul de carbon, de altfel o mică parte de dioxid de carbon este adsorbită prin alumina.

Schema cu două straturi reduce regenerarea de energie, deoarece dacă este folosită doar sita moleculară, este necesară o cantitate mai mare de energie pentru a elimina apa din sita moleculară.

Cea mai utilizată tehnologie este astăzi TSA cu ciclul de adsorbție-desorbție: un vas este în faza de adsorbție în timp ce celălalt este în faza de regenerare (Figura 3.a).

Există două tipuri de recipiente:

1. Recipienți, cu straturi adsorbante orizontale (Figura 3.b);
2. Recipienți cu straturi adsorbante radiale (Figura 4).

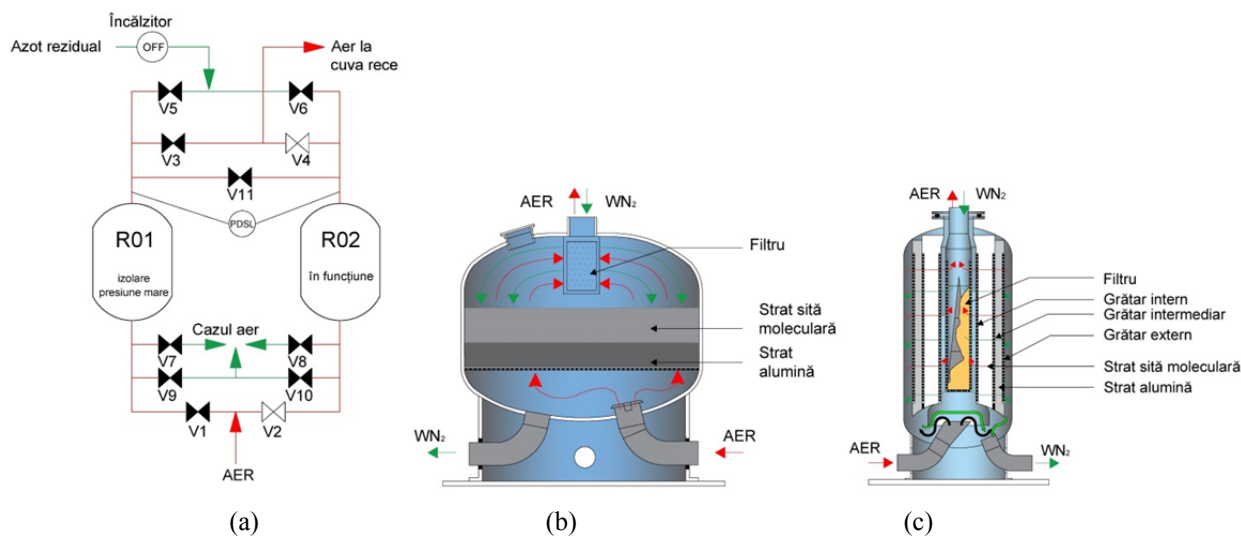


Fig. 3. Secvență dintr-un ciclu de purificare a aerului (a), recipient, cu straturi adsorbante orizontale (b) și recipient, cu straturi adsorbante verticale.

Adsorbantii utilizați pentru eliminarea apei și a bioxidului de carbon din aer, pe bază de adsorbție cu oscilarea temperaturii sunt clasificați în funcție de unele coduri. Acest cod permite produselor să fie identificate fără a aduce pagube furnizorului.

3. SCHIMBĂTOARE DE CĂLDURĂ RECUPERATOARE

Schimbătoarele de căldură constituie unul din principalele elemente care asigură obținerea temperaturilor scăzute și reprezintă o parte necesară a oricărei instalații de frig adânc.

Metodele contemporane de obținere a temperaturilor scăzute se bazează într-o măsură considerabilă pe principiul regenerativ, care permite acumularea frigului în sistem, ceea ce este posibil numai cu ajutorul schimbătoarelor de căldură. Acest principiu a fost realizat pentru prima dată în 1895 de Linde și Hampson, care au lichefiat aerul, folosind schimbătorul de căldură în contracurent pentru acumularea frigului în ciclul cu laminare.

Particularitatea caracteristică a schimbătoarelor de căldură folosite în instalațiile de frig adânc, o reprezintă tendința de a asigura o diferență de temperatură minimă la extremitatea caldă a schimbătorului de căldură. Această diferență de temperatură reprezintă pierderea de frig și într-o măsură considerabilă determină mărirea costurilor energetice într-o instalație. O altă sursă de consum de energie, legat de prezența schimbătorului de căldură, este căderea de presiune Δp , inevitabilă la circulația fluxurilor în schimbătorul de căldură.

Astfel, la proiectarea oricărui schimbător de căldură în mod obișnuit ne confruntăm cu unele cerințe contradictorii și anume cu necesitatea asigurării unei diferențe minime de temperatură la extremitatea caldă a schimbătorului ΔT și a unei căderi minime de presiune Δp pe de o parte, și necesitatea de a realiza un aparat ușor și compact, pe de altă parte. Tendința de a micșora Δp are legătură cu scăderea vitezei fluxurilor în aparat, ceea ce micșorează coeficienții de transfer de căldură și respectiv mărește suprafața de transfer de căldură. La același rezultat duce și micșorarea Δt .

Necesitatea de a reduce dimensiunile și greutatea se leagă de faptul că schimbătoarele de căldură ale instalațiilor mari moderne de răcire înaintată sunt destul de voluminoase, cântăresc zeci de tone, sunt confecționate din cupru și aliajele lui. Raportul optim dintre diferiții parametri ai schimbătorului de căldură poate fi găsit prin alegerea formei de construcție cea mai adecvată condițiilor concrete și proiectării raționale a aparatului. Întreaga diversitate a formelor de construcție și tipurilor de schimbătoare de căldură ale instalațiilor de frig adânc poate fi împărțită în următoarele trei grupe principale: a) aparate tubulare cu manta; b) schimbătoare de căldură spiralate; c) schimbătoare eficiente sau compacte.

Dezvoltarea intensivă a tehnicii criogenice a sporit mult exigentele impuse aparatelor schimbătoare de căldură. Ca urmare a creșterii considerabile a randamentului diferitelor agregate și a necesității realizării în anumite cazuri a unor construcții de dimensiuni mici schimbătoarele tubulare cu manta și spiralate obișnuite s-au dovedit a fi nepotrivite pentru o serie de instalații de temperaturi scăzute.

Legat de aceasta, s-au elaborat multe forme de construcție pentru aparate cu transfer de căldură eficient, din care câteva sunt de mare perspectivă.

Schimbătoarele de căldură eficiente sunt aparate destinate transferului de puteri termice considerabile la mase și dimensiuni de gabarit relativ mici, cât și rezistențe hidraulice reduse la circulația fluidelor.

Există două direcții principale care permit mărirea productivității schimbătoarelor de căldură:

- ✓ intensificarea și modernizarea construcțiilor existente ale aparatelor spiralate și tubulare cu manta;
- ✓ elaborarea unor forme ale suprafețelor de transfer de căldură noi.

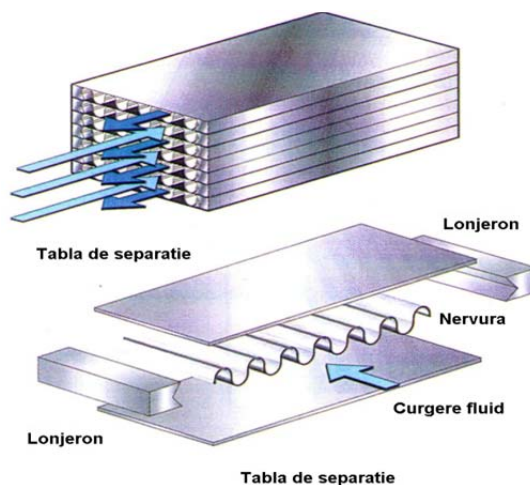


Fig. 5. Structura schimbătorului de căldură cu plăci din aluminiu.

În interiorul fiecărui strat sunt nervuri, care măresc suprafața de transfer de căldură. Acestea nu cresc doar suprafața de schimb de căldură, dar au și un scop structural. Există mai multe tipuri de nervuri corespunzător tipului de proces și fluidelor caracteristice (Figura 6).

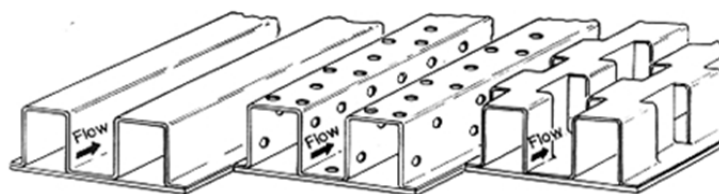


Fig. 6. Tipuri de nervuri pentru schimbătoare cu plăci de aluminiu.

Montarea de schimbătoare de căldură cu plăci din aluminiu înseamnă:

1. Suprafață mică;
2. Eliminarea supapelor de comutare;
3. Posibilitatea de a face transfer de căldură între mai multe fluide;
4. Se pot utiliza echipamente de înaltă presiune. În cazul regeneratoarelor presiunea nu poate fi mai mare de 7-8 bar, pentru că generează implicit grosimi și greutatea prea mari pentru rezervoare.

4. RECTIFICAREA SAU SEPARAREA

De obicei, componentele unei unități de separare a aerului sunt coloana inferioară, coloana superioară și condensatorul.

Acest tip de instalare duce la:

- ✓ Deficiențe majore la start-up-ul instalației;
- ✓ Pierderi hidraulice între condensator și coloana de înaltă presiune
- ✓ Suprafețe mari acoperite de cele trei rezervoare enorme;
- ✓ Consum mare de materiale scumpe (oțeluri austenitice, cupru, alamă, aluminiu etc).

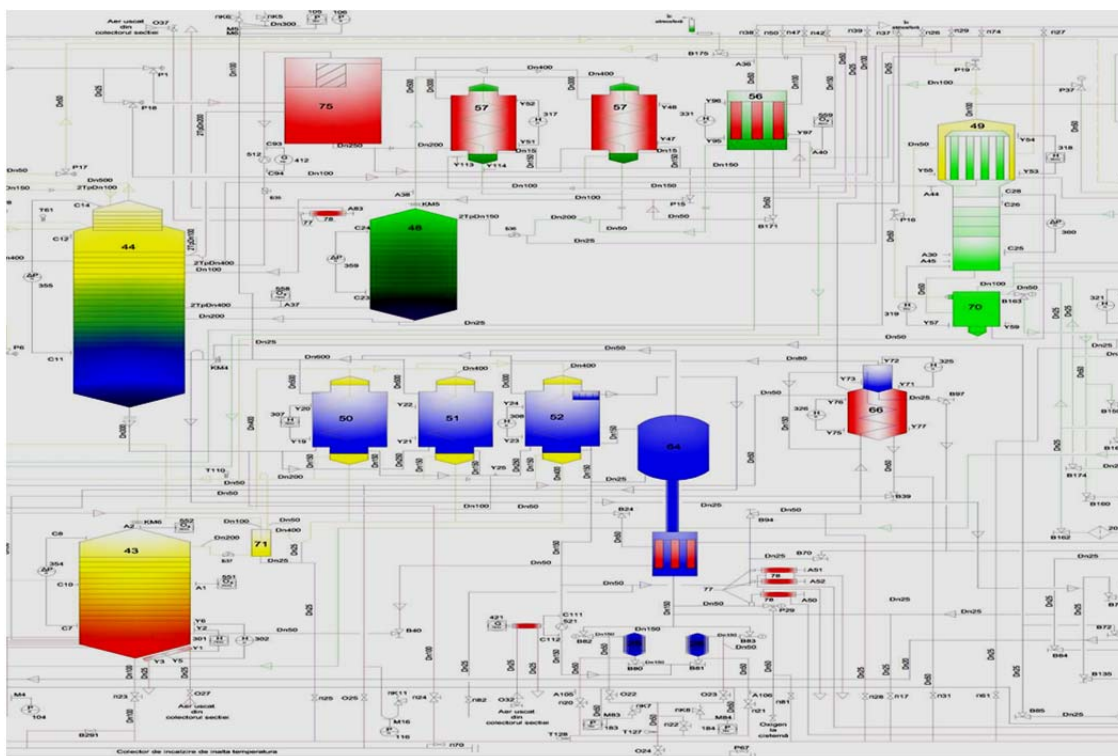


Fig. 7. Schemă veche a unei unități de separare a aerului cu colană inferioară, colană superioară și condensator.

O instalație de separare aer utilizează distilarea pentru separarea aerului de alimentare în componentele lui naturale : azot, argon și oxigen. Procesul de distilare realizează această separare prin utilizarea proprietăților termodinamice care sunt specifice fiecărui component. Pentru a dezbate suficient distilarea, este necesară analiza proceselor termodinamice și a echilibrului vapor-lichid.

O coloană de distilare realizează separarea dorită utilizând etapele secvențiale. Figura 8.a prezintă schema generală a unei coloane de distilare simple. Etajele facilitează contactul vapor-lichid, care determină elementele grele să condenseze, iar elementele ușoare să se vaporizeze. Teoretic, vaporii și lichidul la fiecare etaj trebuie să fie în echilibru perfect.

Totuși, etajele de distilare reale nu realizează omogenitatea perfectă a întregului amestec prezent. Prin urmare, un turn de distilare are nevoie de mai multe etaje reale decât etajele calculate teoretic.

Puritatea produsului este o funcție directă a numărului de etaje din coloană (mai multe etaje, puritate mai mare).

Există două tipuri de etaje de distilare : talere și umplutura. Acestea prezintă amândouă același interes, deoarece sunt încă utilizate.

Noile tehnologii din domeniul separării aerului implică o coloană dublă cu mai multe etaje și cu schimbător de căldură cu plăci cu rol de condensator (Figura 8.a).

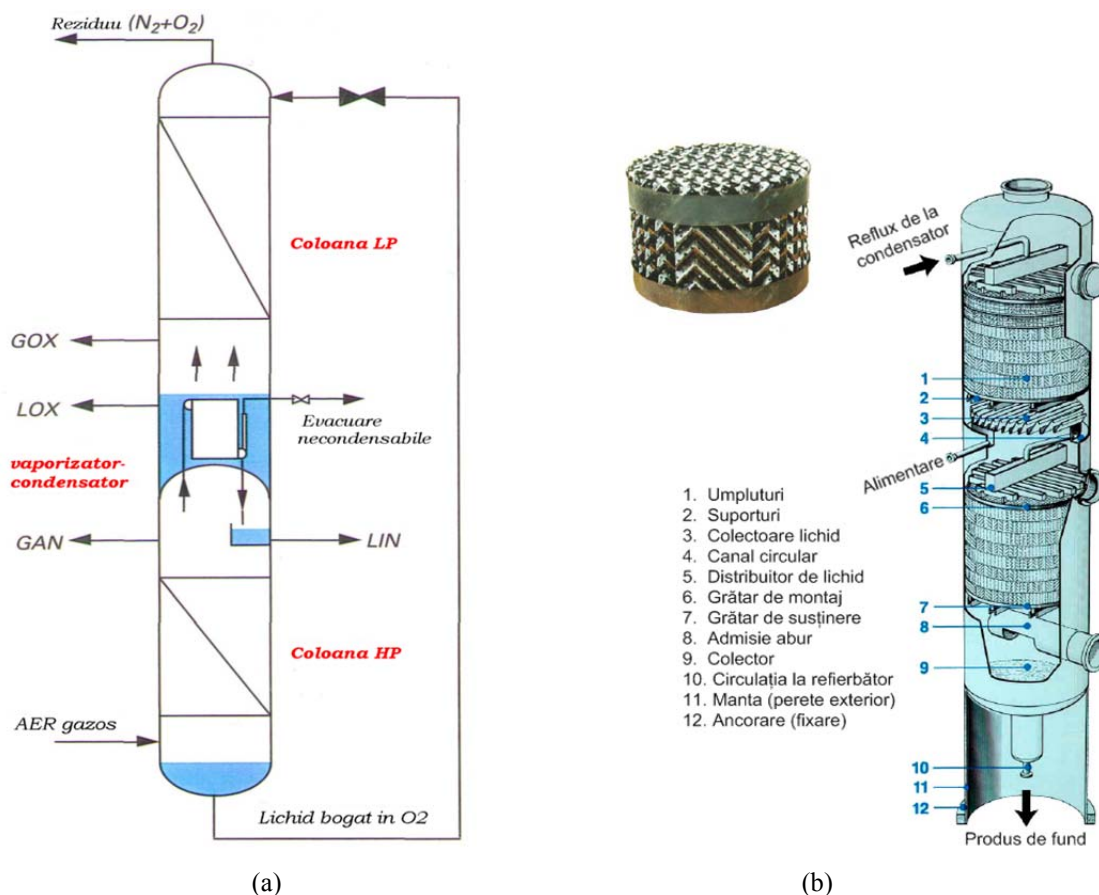


Fig. 8. Coloana dublă (a) și coloana cu umplură (b).

Multe instalații de separare a aerului utilizează modelul de mai sus ca un mod eficient de a produce o cantitate mare de oxigen și cantități limitate de azot pur.

8. CONCLUZII

Tranziția de la vechile tehnologii la cele noi înseamnă:

1. Reducerea cantității de metale (oțel inoxidabil) utilizat în fabricarea de echipamente;
2. Reducerea suprafeței ocupate de instalație;

3. Creșterea fiabilității unităților de separare;
4. Reducerea consumului de energie prin eliminarea evacuării la regenerator în atmosferă de cantități considerabile de azot deșeuri, la 7 bar comprimat, care nu pot fi recuperate;
5. Reducerea perioadei de punere în funcțiune de la 6-7 zile la una;
6. Coeficientul de îndepărtare a impurităților îmbunătățit prin anularea evacuării în atmosferă a azotului;
7. Utilizarea coloanelor cu umplutură mărește suprafața de transfer de căldură și scade volumul total al coloanei.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Alexandru ȘERBAN, Florea Chiriac - „Criogenie Tehnică”- ISBN 978-973-720-065-5, Editura AGIR, București, 2006;
- [2] Alexandru ȘERBAN, Florea Chiriac - „Criogenie Tehnică - Echipamente: Construcție. Funcționare. Mentenanță” - ISBN 973-720-154-6, Editura AGIR, București, 2007;

NEW CRYOGENIC TECHNIQUES IN ROMANIA

Alexandru ȘERBAN¹

¹“Transilvania” University of Brașov

Cryogenics is about developing and improving techniques for obtaining very low temperatures, processes and equipment. In contrast to the low temperature physics, cryogenics technique deals with the use of phenomena that occur at low temperatures, even with basic scientific research, especially that between the two objectives there is no exact dividing line. An engineer should be familiar with the physical phenomena to be able to use them effectively; a physician should be familiar with the principles of engineering to be able to design experiments and specific equipment. The word ***cryogenics*** stems from Greek and means “the production of freezing cold”, within the temperature range -150 to absolute zero. **Air** is a mixture of different gases, and the most important are: nitrogen (N₂) 78% by volume, oxygen (O₂) 21% by volume and argon (Ar) 1% by volume. Most air separation plants produce these three gases in liquid form. Some plants produce more oxygen and/or nitrogen as gas to deliver them through pipelines.

The transition from old to new technologies means:

1. Reducing the amount of metal (stainless steel) used in the manufacture of equipment;
2. Reducing the surface occupied by plant;
3. Increase plant reliability;
4. Reducing energy consumption by eliminating the regenerator exhausting into the atmosphere of considerable amounts of waste nitrogen, to 7 bar compressed, that cannot be recovered;
5. Reducing the start-up period from 6-7 days to one day;
6. Removal coefficient improves by canceling the exhausting into the atmosphere;
Using column with fillers the heat exchange increase and the total volume of the column decrease