

Fig. 44. Centrifugă de filtrare: 1 – capac; 2 – tambur perforat; 3 – carcasă; 4 – ax; 5 – roată de transmisie; 6 – crapodină; 7 – suport; 8 – jgheab

: 260 mm și 1200 rotații/min. Numărul de rotații ale tamburului se micșorează o dată cu mărirea diametrului lui.

## Capitolul 7

### PROCESE DE CĂLDURĂ. ÎNCĂLZIREA ȘI RĂCIREA. EVAPORAREA. USCAREA

Se numesc procese de căldură acele procese tehnologice, care au loc în condițiile de admisie sau remisie a căldurii. Dintre procesele de căldură fac parte încălzirea, răcirea, condensarea, vaporizarea etc. Cazul particular al vaporizării este evaporarea. La procesele de căldură iau parte totdeauna nu mai puțin de două medii, cu temperaturi diferite. Schimbul de căldură poate avea loc de sine stătător numai în cazul de decădere a temperaturilor, deci de la

Filtrarea centrifugă se face în centrifuge de filtrare (fig. 44) care sînt alcătuite dintr-un tambur perforat, montat pe un ax, suprafața interioară a căruia este acoperită cu țesătură de filtrat. În partea exterioară tamburul este înconjurat de o carcasă puternică. Filtratul, care a trecut din tambur în carcasă, se scurge afară prin jgheab. Când filtrarea s-a terminat, din jgheab nu se mai scurge lichid. Pentru o deshidratare maximală a precipitatului centrifuga se mai învîrtește un timp oarecare la viteza maximală, apoi se oprește. După aceasta tamburul se curăță de precipitat, țesutul prin care s-a filtrat se spală, ciclul se repetă. În condiții de uzină sînt comode centrifugele medii, cu dimensiuni  $D : H = 400 :$

un mediu cu o temperatură mai ridicată la altul cu temperatură mai joasă. Mediul cu temperatura mai ridicată se numește schimbător de căldură fierbinte, iar mediul cu temperatura mai joasă – schimbător de căldură rece.

Se numește schimb de căldură procesul de răspîndire a căldurii dintr-un spațiu în altul. Schimbul de căldură dintr-o parte a spațiului în alta poate fi efectuat pe diferite căi: prin conductibilitate termică, convecție și radiație.

## 7.1. ÎNCĂLZIREA

Încălzirea este un proces zilnic în tehnologia medicamentelor și a preparatelor galenice. Ca surse directe de căldură servesc gazele de fum și energia electrică. Cu ajutorul acestor surse se obțin agenții termici: apa fierbinte, aburii, uleiurile minerale și o grupă specială de agenți termici.

Cu gaze de fum se încălzesc cazanele cu abur, care produc vapori de apă și apă fierbinte. În cazuri diferite cu acest scop se folosește curentul electric. În industria farmaceutică principalul agent termic sînt vaporii de apă.

### 7.1.1. Vaporii de apă

Vaporii de apă se produc în cazanele cu abur, instalate în încăperi speciale numite cazangerii. Vaporii din cazangerie prin conducta de abur se transmit în secțiunile întreprinderilor. Cazanele cu abur moderne se clasează: după construcție – cazane ignitubulare (cu țevi de fum) și acvatubulare (cu țevi de apă); după aranjarea suprafețelor termice în spațiu – cazane orizontale și verticale; după circulația apei în cazan – cazane cu circulație naturală și forțată a apei; după presiunea aburilor – cazane de presiune joasă – pînă la  $14,7 \cdot 10^4 - 15,7 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  (15 – 16 atm.\*), cazane de presiune medie – pînă la  $29,4 \cdot 10^4 - 34,3 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  (30 – 35 atm.) și de presiune înaltă – pînă la  $765,2 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  (180 atm.); după randament – cazane cu productivitate mare și redusă. Prin randamentul de vapori se subînțelege cantitatea sumară de aburi în tone, produsă de cazan pe oră. Cazanele cu abur produc aburi saturați, adică aburi care au o tensiune maximală, la presiunea și temperatura dată.

\* 1 atm. = 98066,5 N/m<sup>2</sup>.

Starea aburului saturat corespunde unui așa proces de vaporizare, când în spațiul de vapori se află o cantitate maximală de molecule. Aburul saturat poate fi umed și uscat.

Abur umed saturat se numește acel abur, care se obține în cazul vaporizării incomplete și e alcătuit din amestec de aburi cu picături de apă: temperatura aburului umed saturat este echivalentă cu temperatura apei de fierbere.

Abur uscat saturat se numește acel abur, care se obține în cazul vaporizării depline. Temperatura lui de asemenea este echivalentă cu cea a apei fierbinți. Aburul uscat se caracterizează printr-o stare instabilă – el se transformă sau în cel umed saturat (la răcire), sau în cel supraîncălzit (la încălzire). Presiunea aburului supraîncălzit nu se schimbă în dependență de gradul supraîncălzirii. Astfel, aburul se numește supraîncălzit când are o temperatură mai ridicată decât aburul saturat de aceeași presiune. Aburul supraîncălzit, mișcându-se prin conductă, nu se condensează, se micșorează doar temperatura lui.

Transformarea apei în abur la temperatura de fierbere este legată cu pierderea unei cantități oarecare de căldură, care nu este fixată de termometru. Căldura care se pierde la transformarea apei în abur, se numește căldură latentă de vaporizare. Căldura totală de vaporizare este alcătuită din cantitatea de căldură, pierdută pentru încălzirea apei pînă la fierbere (entalpia apei) și din căldura lentă de vaporizare. Căldura totală, consumată la vaporizare, corespunde entalpiei aburilor. Astfel, entalpia (sau conținutul de căldură) aburilor este cantitatea de căldură în kilocalorii sau joule\* pe care o conține 1 kg de aburi.

Entalpia aburilor se află în dependență de presiune, mărindu-se o dată cu ridicarea ei. Fiecare formă de abur are formula ei:

$$1) \text{ uscat } i^d = Ct + r \text{ kcal/kg; } 1 \times 100 + 539; r \times 100^\circ\text{C} = 539$$

$$2) \text{ umed } i^u = Ct + rx \text{ kcal/kg; } 0,46 \times 100 + 595 = 641 \\ r \text{ }^\circ\text{C} = 595; \text{ unde } x < 1$$

3) supraîncălzit

$$i^s = Ct + r + 0,46 (t_n - t) \text{ kcal/kg; } \\ 641 + 0,46 (t_n - t);$$

aici C – căldura specifică; t – temperatura aburului "uscat" (100°), supraîncălzit (120°); r – căldura latentă de vaporizare, k · J/kg; x – < 1; t<sub>n</sub> – t –

\* 1 kcal = 4186,8 J.

diferența de temperaturi între aburul supraîncălzit și cel uscat; 0,46 – căldura specifică a aburilor.

Cînd se folosesc aburii ce se condensează, căldura eliminată este echivalentă căldurii latente de vaporizare. Căldura de vaporizare latentă astfel scade puțin (tab. 3).

Tabelul 3

Unii parametri ai aburului saturat

Presiunea aburului, kg/cm <sup>2</sup>	Temperatura aburului, °C	Entalpia apei	Căldura latentă de vaporizare	Entalpia aburului
1,0	99,09	99,12	539,4	638,5
2,0	119,62	119,87	525,9	645,8
3,0	132,88	133,4	516,9	650,3
4,0	142,92	143,6	509,8	653,4
5,0	151,11	152,1	503,7	655,8
6,0	158,08	159,3	498,5	657,8
7,0	164,17	165,6	493,8	659,4

Transportînd aburul la locul de lucru prin conducte din țevi metalice, din cauza pierderii de căldură, aburul saturat se condensează, iar la aburul supraîncălzit căldura scade puțin. Pierderea de căldură se poate micșora esențial prin izolarea țevilor, folosind pentru acest lucru azbestul, pluta, vata de sticlă și alte materiale. Cu toate acestea chiar și în conductele izolate bine poate avea loc condensarea vaporilor. De aceea în locurile unde se strînge condensatul, se instalează separatoare, numite evacocondensatoare pentru eliminarea automată a lichidului. Construcția evacocondensatorului care lucrează pe principiul flectorului, de forma paharului, este demonstrată în fig. 45.

Apa fierbinte ce nimerește în evacocondensator umple spațiul din jurul flotorului și îl ridică în sus. Ca rezultat tija cu apă fixată cu flotorul închide orificiul în capacul evacocondensatorului. Apoi apa atinge nivelul marginii flotorului și se varsă înăuntru. Mai departe flotorul sub greutatea lichidului aflat în el se lasă în jos, deschizînd astfel orificiul superior. Aceasta este îndeajuns ca apa sub presiunea aburului să fie evacuată în afară prin țeava din jurul tijei în canalul de evacuare. Apoi flotorul se ridică în sus și supapa închide orificiul pînă flotorul din nou va fi plin cu apă. Există și alte construcții de evacocondensatoare.

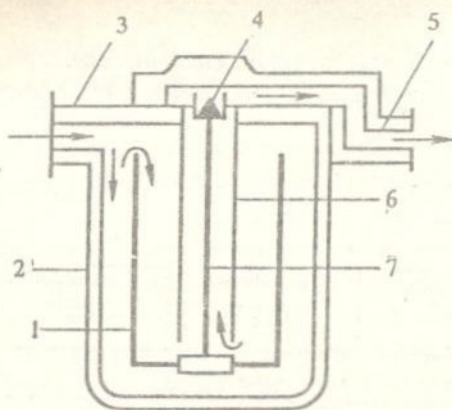


Fig. 45. Evacocondensator cu flotor deschis și acțiune continuă: 1 - flotor; 2 - corp; 3 - ștuț pentru aburi; 4 - supapă; 5 - ștuț pentru evacuarea condensatului; 6 - țevă; 7 - țijă

sunt destinate nu numai pentru pătrunderea și oprirea alimentării aburilor din colectoare în conducte, ci și pentru reducerea lui, adică transformarea aburului cu presiune ridicată în abur cu presiune scăzută. Aceasta are loc în acele cazuri când conducta de aburi alimentează un aparat sau un sistem de aparate, care nu cer o presiune atât de înaltă, sub care se află aburii în colector.

Ventile de reducere lucrează pe principiul de evacuare a aburilor prin niște orificii înguste cu o dilatare bruscă de mai departe. Astfel se micșorează presiunea aburului și, corespunzător, și temperatura lui. Îndeplinind lucrul și cedând o parte de căldură, aburul nu se elimină în atmosferă, ci nimereste în linia secundară (fig. 46). Prin aceasta, aburii de emisiune nimeresc în evaco-

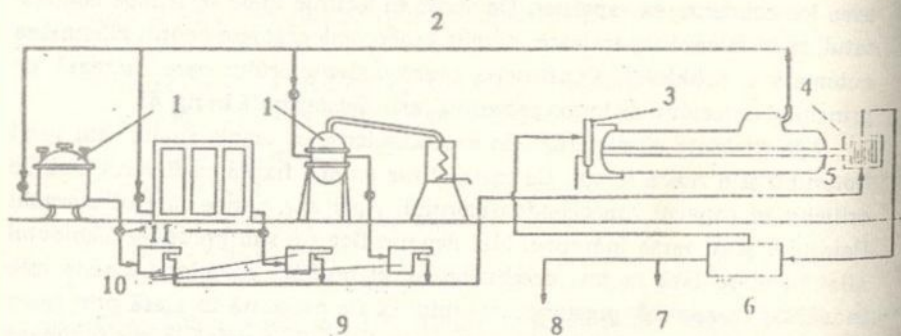


Fig. 46. Schema liniei secundare: 1 - aparate; 2 - abur suprasaturat; 3 - injector; 4 - economizator; 5 - cazan cu aburi; 6 - colector; 7 - spre duș; 8 - la spălarea vaselor; 9 - condensat; 10 - evacocondensatori; 11 - abur de emisiune

condensatoare, cu care sînt înzestrate aparatele sau grupul de aparate. Condensatorul format se colectează într-o conductă generală, prin care se scurge liber în bacul de condensare situat în cazangerie mai jos de podea, de unde cu ajutorul injectorului, după purificare, nimereste în cazanul cu aburi. În acele cazuri cînd pentru alimentarea cazanului este prea mult condensat, el se folosește pentru spălarea vaselor, pentru duș și în alte scopuri.

### 7.1.2. Metodele de încălzire cu vapori

**Încălzirea cu abur "direct".** Prin metoda dată se subînțelege încălzirea cu aburi introduși direct în lichidul care se încălzește. Aburii de încălzire se condensează și redau căldura lichidului, condensatul obținut se amestecă cu lichidul. Încălzirea cu abur "direct" deseori se combină cu amestecarea lichidului. În cazul dat aburii se introduc prin barbotori. Încălzirea cu abur "direct" se folosește în acele cazuri cînd diluarea lichidelor cu apă nu are mare însemnătate.

Cantitatea de abur direct consumată la încălzirea lichidului se calculează după următoarea ecuație:

$$D_{\text{direct}} = \frac{W(t - t_0) + q}{i - t}$$

**Încălzirea cu abur "indirect".** În cazul dat lichidul se încălzește cu abur prin peretele despărțitor în aparate cu "manta", serpentine și de alte construcții. Aburii de încălzire se condensează complet, se elimină din aparate sub formă de condensat cu ajutorul evacocondensatorului. Temperatura condensatorului este egală aproape exact cu temperatura aburului saturat de încălzire. Încălzirea cu abur "indirect" se folosește în acele cazuri, cînd lichidul nu poate fi diluat sau cînd între ele nu poate fi contact. Cantitatea de abur "indirect" consumat la încălzire de asemenea reiese din ecuația bilanțului de căldură:

$$D_{\text{indirect}} = \frac{G(t - t_0) + q}{i - Q}; \quad D_{\text{indirect}} > D_{\text{direct}},$$

unde  $D$  - cantitatea aburului consumat, kg;  $W$  - căldura specifică a lichidului, kJ/kg°C;  $G$  - cantitatea de lichid ce se încălzește, kg;  $t$  - temperatura lichidului după încălzire, °C;  $t_0$  - temperatura lichidului pînă la încălzire, °C;  $q$  - temperatura iradiată, °C;  $i$  - entalpia aburului (căldura totală), kJ/kg;  $Q$  - entalpia condensatului, kJ/kg.

### 7.1.3. Schimbătorii de căldură

Schimbătorii de căldură se numesc așa instalații în care o substanță (mediu) cedează căldura sa la altă substanță (mediu). În majoritatea cazurilor ambele substanțe sînt despărțite între ele de un perete, numit suprafață de căldură, alcătuit din țevi (sau perete plat). Una dintre substanțe se mișcă prin țevi, iar alta spală țevile pe dinafară.

Schimbătorii de căldură reprezintă diferiți încălzitori, aparate sub vid, condensatori și altă aparatură, menită pentru a efectua procesele de căldură.

### 7.1.4. Tipuri de schimbători de căldură

**Schimbătorii de căldură tubulari.** Unul dintre cei mai simpli schimbători de căldură de acest tip este prezentat în fig. 47, a.

El este alcătuit dintr-un tub cilindric (5), două grătare perforate (4) și un fascicul de țevi (6). În tub cu ajutorul flanșelor (bridelor) sînt unite fundurile (9) cu șuruburi (8). Etanșarea se face cu ajutorul garniturii (11). Curentul lichidului care încălzește (I) se introduce prin ștuțul inferior (10) și se elimină prin ștuțul superior (3). Curentul lichidului ce se încălzește (II) se introduce în ștuțul superior colateral (2) în spațiul dintre țevi, le spală pe dinafară și se scoate prin ștuțul colateral inferior (7). Schimbătorul de căldură este instalat pe un suport (1). Cel mai des sînt răspîndiți acești schimbători de căldură; aici se formează suprafețe mari de schimb de căldură, sînt simpli în construcție și trainici în exploatație. Schimbătorii de căldură pot fi cu circulație directă și în contracurent.

**Schimbătorii de căldură "țevă în țevă".** Reprezintă o baterie din două sau mai multe elemente de schimbători de căldură, aranjați unul sub altul (fig. 47, b). Fiecare element este alcătuit din țeava internă (1) acoperită cu altă țevă (2). Țevile interne sînt unite între ele cu coturi (3), iar țevile externe – cu ștuțuri (4). Lichidul care încălzește (I) circulă prin țevile externe, iar cel ce se încălzește (II) – prin țevile interne direct sau în contracurent. Factorul principal care determină lucrul schimbătorilor de căldură cu țevi este viteza de mișcare a agentului termic. La mărirea vitezei de circulație crește intensitatea schimbului de căldură, dar se mărește rezistența hidraulică. Viteza optimă pentru lichide se află în limitele 0,1-0,2 m/s.

**Schimbătorii de căldură cu serpentină.** Mediul care încălzește (lichid, abur) se alimentează într-o serpentină, sudată la capete în corpul aparatului

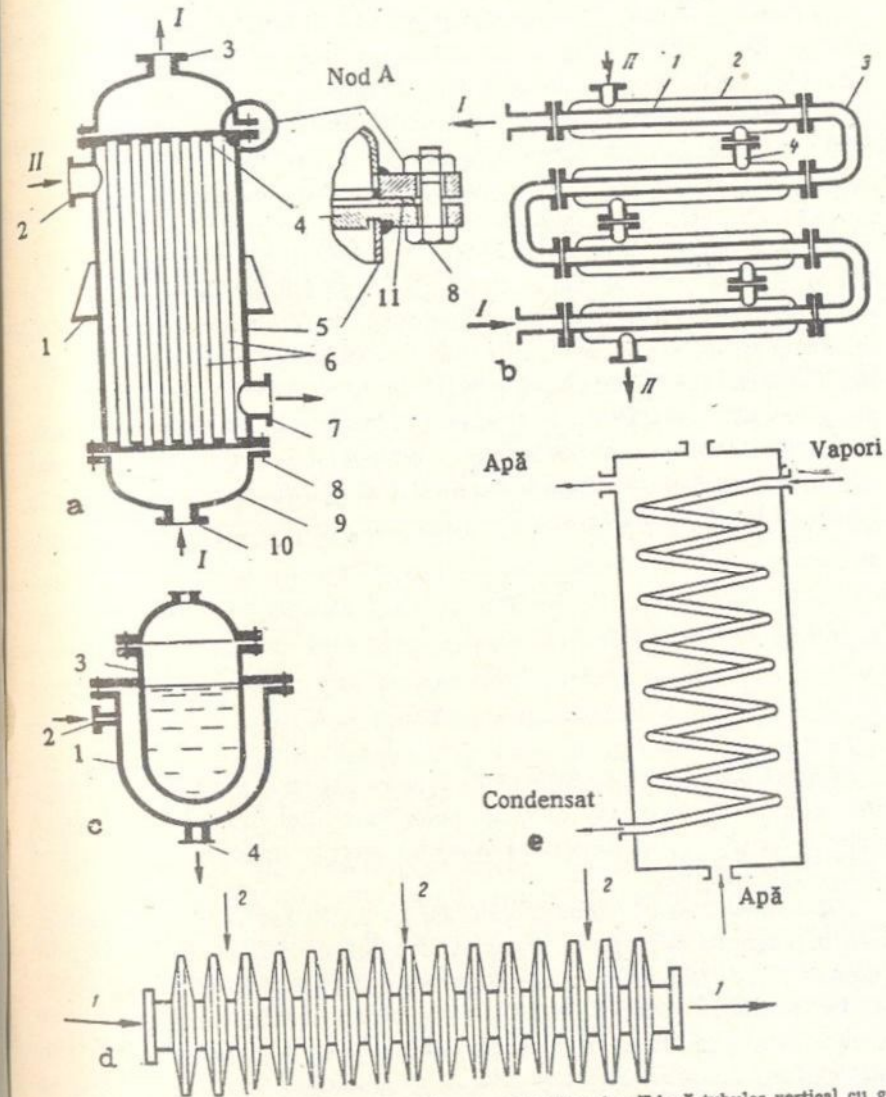


Fig. 47. Tipuri de schimbători de căldură: a - schimbător de căldură tubular vertical cu grătare tubulare fixe; b - schimbător de căldură tip "țevă în țevă"; c - aparat cu manta; d - țevă cu muchii; e - schimbător de căldură cu serpentină: 1 - agent de căldură; 2 - aer. Lămurire în text

sau turnată în pereții lui. În industria farmaceutică se folosesc schimbători de căldură cu serpentină submersibilă (fig. 47, e), în care circulă aburi ai unui lichid, care se răcesc cu apă rece ce spală serpentina. Serpentinele au o rezistență mare hidraulică, de aceea viteza agenților termici în ele este mai joasă decât în schimbătorii de căldură cu țevi drepte și nu depășesc de obicei 1 cm/s. Dintre neajunsurile lor e de menționat curățirea grea a serpentinei.

*Mantaua (cămășă) de abur.* Pereții dubli sau cămășă sînt folosiți pe larg pentru încălzirea multor aparate (de evaporare, de reacție). Schema instalațiilor schimbătorilor de căldură de așa tip este prezentată în fig. 47, c. Mantaua (1) este întărită (sudată) pe suprafața exterioară a corpului aparatului (3). În spațiul format închis etanș prin ștuțul 2 se alimentează aburi. Prin ștuțul 4 se scoate condensatul. Înălțimea cămășii trebuie să fie ceva mai sus de nivelul lichidului în aparat. De obicei cămășile se întrebuițeau pentru încălzirea cu vapori la presiunea de pînă la 5 atmosfere ( $4,90 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ). Presiunile mai mari cer pereți groși și pentru manta, și pentru aparat.

*Schimbători de căldură cu muchii (aripioare).* Sînt folosiți pentru încălzirea aerului. Muchiile măresc esențial suprafața de cedare a căldurii. Schema unui calorifer este demonstrată în fig. 47, d. Caloriferele, de obicei, se unesc în baterii consecutiv, paralel și combinat.

### 7.1.5. Răcirea și condensarea

#### 7.1.5.1. Răcirea lichidelor și a gazelor

Cea mai simplă răcire a lichidelor și a gazelor se face prin cedarea căldurii prin pereții aparatelor sau ai conductelor în spațiul înconjurător. Durata răcirii depinde de conductibilitatea termică a pereților aparatului și de temperatura lichidului rece.

Răcirea lichidelor în condiții naturale are loc în aparate deschise (bunăoară, în patentula de porțelan). În cazul dat, o dată cu cedarea de căldură prin pereți, are loc răcirea ca rezultat al evaporării lichidului de pe suprafață.

Deseori răcirea lichidelor are loc în răcitoare de contact, iar în calitate de agent frigorigen se utilizează apa sau soluțiile refrigerente. Refrigerentele folosite pot fi cu cămășă sau cu serpentină, cît și tubulare.

#### 7.1.5.2. Condensarea aburilor

Procesul de transformare a aburului în stare lichidă, efectuat prin răcirea aburilor, se numește condensare. Aparatele în care are loc lichefierea aburilor se numesc condensatoare. Condensatoarele reprezintă schimbători de căldură, în care aburul se răcește cu un agent de răcire, bunăoară apa, și astfel se lichefiază. Condensația se face cu scopul de a scurta procesul de evaporare a lichidului, și de asemenea pentru reținerea solvenților și extragenților de cost. Răcirea aburilor poate fi efectuată pe diferite căi: 1) prin amestecarea directă a aburului cu apa rece și 2) prin intermediul peretelui despărțitor al schimbătorului de căldură. Condensatoarele care lucrează pe primul principiu se numesc condensatoare prin amestec, pe al doilea – condensatoare prin suprafață. În ultimul aburul ce se condensează și apa care-l răcește sînt separate de un perete metalic. În dependență de direcția circulației apei și a aburului condensatoarele pot fi directe, cînd apa și aburul se mișcă în aceeași direcție, și în contracurent, cînd apa și vaporii se mișcă unul în întîmpinarea altuia.

*Condensatoare prin amestec.* Aceste condensatoare pot fi folosite la condensarea vaporilor de apă, care se formează la condensarea extracțiilor apoase. Condensarea are loc spontan, deoarece aburul se amestecă direct cu apa, suprafața căreia se mărește prin pulverizare și transformare în șuvițe nenumărate. Se folosesc ambele tipuri de condensatoare: afit cele directe, cît și cele în contracurent. Una din construcțiile condensatorului prin amestec este prezentată în fig. 48. Apa rece se alimentează prin țeava 2. Sucul secundar (sau aburul de suc) se alimentează prin țeava 1. Apa se amestecă cu sucii trecînd de pe o poliță pe alta. Amestecul se scoate prin țeava 3 cu ajutorul pompei de apă.

*Condensatoare superficiale.* Construcția condensatoarelor superficiale nu se deosebește prin nimic de cea a schimbătorilor de căldură tubulari. Se folosesc în acele cazuri, cînd în componența sucului secundar sînt aburi de alcool sau alt extragent prețios. În aceste condensatoare are loc mișcarea continuă în contracurent, agentul de răcire se alimentează prin partea inferioară și se mișcă în sus, pe cînd aburul sucului secundar se alimentează în partea de jos. În plan constructiv condensatoarele superficiale pot fi cu serpentină sau tubulare.

## 7.2. EVAPORAREA

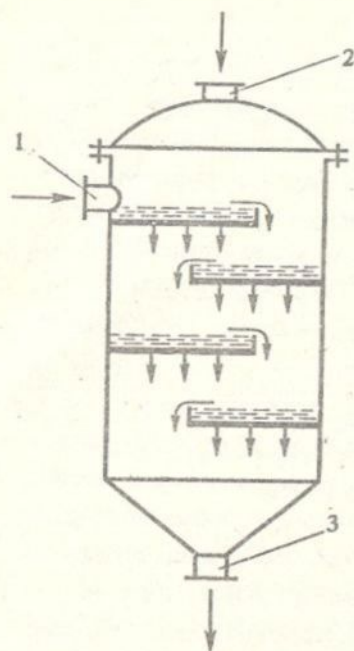


Fig. 48. Condensator prin amestec direct

Evaporarea ca proces tehnologic constă în aceea că prin încălzire o parte oarecare de solvent sau extragent se transformă în vapori și se elimină din mediul lichid. Fenomenul are loc numai la suprafața lichidului, spre deosebire de fierbere, unde trecerea în stare de vapori are loc în toată masa lichidului. Operația urmărește să aducă o substanță sub formă de vapori pentru a recupera reziduul, separând astfel un lichid de un solid. În industria farmaceutică se folosește pe larg la producerea extractelor fluide și dense și este o operație intermediară la producerea extractelor uscate. Condițiile, în care are loc evaporarea, practic sînt diferite. Astfel lichidul ce se evaporă poate fi curgător sau afit de vîscos, că abia curge. El poate forma depuneri solide pe suprafața termică, sau formează spumă, sau are temperatura de fierbere ridicată etc. Aceste condiții diferite au dus la construcția diferitelor tipuri de aparate de evaporare. Cea mai simplă este evaporarea într-o patentulă de porțelan, în care lichidul ce se evaporă se află la presiune normală. Patentula de porțelan se folosește pentru a înlătura din solvenți o cantitate relativ mică de apă, bunăoară la producerea siropurilor. În practica farmaceutică, de obicei, se înfilnesc soluții sau extracte care conțin substanțe termolabile. Dintre ele fac parte, bunăoară, alcaloizii, glicozidele, vitaminele, hormonii, pentru care chiar temperatura de fierbere a apei la presiunea normală este prea ridicată. Descompunerea substanțelor date poate fi preîntîmpinată, dacă evaporarea soluțiilor sau a extractelor se va face la temperatura presiunii scăzute a lichidului de evaporat. Aburii formați în patentula de porțelan la evaporare se duc în atmosferă. Dacă însă, în loc de patentula de porțelan deschisă se va folosi una închisă, cu un capac sferic, și ultimul de unit etanș cu condensatorul, iar cu ajutorul pompei de rarefiat aburul și aerul amestecat în el, se poate de coborît esențial temperatura de fierbere a soluției sau a extractului.

Cu scopul păstrării substanțelor active, extrase din produsul vegetal, evaporarea extractelor apoase, de obicei, se efectuează la temperatura de circa 45°C. Această temperatură corespunde presiunii reziduale de circa 0,1 kg/cm<sup>2</sup>. În unele cazuri evaporarea se face la temperaturi și mai joase.

Nu numai temperatura duce la descompunerea substanțelor. O mare însemnătate are și durata evaporării. Dauna temperaturii va fi cu afit mai mare, cu cît durata de acțiune a ei este mai mare. Micșorarea timpului de încălzire se atinge prin folosirea instalațiilor de înaltă putere. Astfel, avem doi factori care influențează asupra indicilor calității produsului: scăderea temperaturii de evaporare și mărirea puterii instalațiilor de evaporare. De aceea, calea ce trebuie de urmat se va lua de fiecare dată aparte. De obicei, întrebarea se hotărăște pe calea scăderii temperaturii de evaporare, deoarece cheltuielile în cazul dat sînt mai mici decît cheltuielile capitale la instalații de înaltă putere.

### 7.2.1. Evaporarea sub vid

Tipul de instalație pentru evaporarea sub vid este alcătuit din următoarele aparate: vaporizatorul, condensatorul, receptorul, rezervorul, pompa cu vid.

*Aparate sub vid.* În industria farmaceutică sînt răspîndite pe larg două tipuri de vaporizatoare sub vid, care se deosebesc prin metoda de încălzire: a) vaporizatoare în care aburii calzi se află în cămașă – vaporizatoare sferice; b) vaporizatoare sub vid cu suprafața de încălzire sub formă de tuburi – vacuumaparate tubulare.

*Vaporizatoare sub vid sferice.* Construcția unui astfel de aparat este demonstrată în fig. 49. Corpul aparatului (10) de formă sferică sau ovală este înzestrat cu o manta de abur (11), iar în partea superioară cu o patentulă (5) unită cu condensatorul. Corpul aparatului demontabil este alcătuit din două părți, care se unesc între ele cu bordură (9) cu șuruburi. Partea superioară a sferei este înzestrată cu o gură de vizitare (3), care servește pentru curățirea suprafeței interioare a aparatului, robinetul de aer (6), termometrul (4), vacuumetrul (7) și două ferestruici de sticlă (8) (una care nu se vede, deoarece este de partea opusă și se luminează cu un bec electric). Aburii în manta se alimentează prin ștuțul 1, iar condensatul se elimină prin ștuțul 12. Extracția ce trebuie concentrată se alimentează în aparatul sub vid prin ștuțul 2, cea concentrată, însă curgîndă, se scurge prin țeava 13. Vapori-

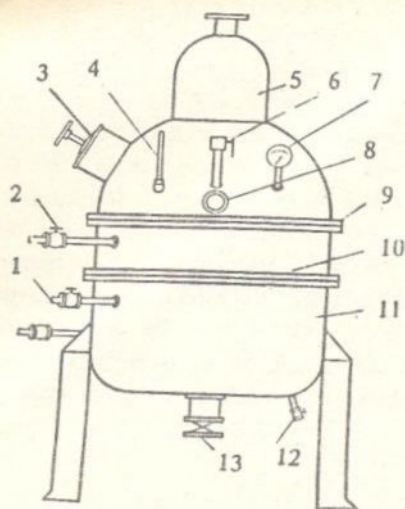


Fig. 49. Vaporizatorul sub vid sferic. Lămurire în text

zatorul se confecționează din aramă, aluminiu sau oțel emailat. Mantaua din oțel turnat se sudează direct pe corpul cazanului. Pentru obținerea lichidelor dense se folosesc vacuumaparate cu capace și patentulă înzestrată cu malaxor, care se răstoarnă.

*Aparate sub vid tubulare.* În industria farmaceutică sînt răspîndite pe larg aparatele cu tuburi verticale, la care camera de încălzire sau fierbătorul reprezintă un schimbător de căldură. Ele sînt de diferite construcții. În aceste aparate lichidul ce se evaporă se află de o parte a pereților tubulari, iar agentul de căldură (aburii) — de alta. Spuma care se formează se separă continuu de vaporii

secundari la ieșirea din aparat. Separarea picăturilor de vaporii se efectuează în spațiul aburilor (cu separatorul). Vacuumaparatele tubulare pot fi cu circulația liberă sau forțată a soluției; cît și constructiv pelicular.

*Aparatul cu țevă de circulație centrală și circulația liberă a soluției în procesul evaporării* este prezentat în fig. 50. În partea inferioară a aparatului este montată camera de încălzire, în formă de tuburi de fierbere verticale cu diametrul 50-75 mm. În centrul ei este sudată o țevă de circulație (4) cu diametrul cca 500 mm. Aburii se alimentează în spațiul dintre tuburi și încălzesc lichidul ce se evaporă, aflat în interiorul lor, care se alimentează prin ștuț (1). În urma fierberii lichidului în tuburi se formează o emulsie de aburi și lichid, densitatea căreia este mai mică decît a lichidului ce se încălzește. În țevă de circulație de asemenea are loc evaporarea lichidului, însă densitatea acestei emulsii este mai mare decît cea din tuburile de fierbere, rezultat în aparat are loc reglarea mișcării lichidului fierbător (în țevă de circulație — de sus în jos, în tuburile subțiri — de jos în sus), adică circulație liberă.

Separarea picăturilor de lichid de sucul secundar are loc în captator (3), cînd el traversează sistemul de capcane (3), astfel aburul secundar nimește în condensator. Soluția concentrată se scurge în colector prin ștuț (6).

O întrebunțare largă are *aparatură de evaporare cu fierbătorul vertical alăturat*, în care se atinge o circulație liberă mai intensă a soluției ce se evaporă decît în aparatul cu țevă de circulație centrală (fig. 51). Evaporarea lichidului are loc în schimbătorul de căldură tubular (1), care reprezintă un fascicul de țevi subțiri cu lungimea de pînă la 7 m. Emulsia de vaporii și lichid obținută în el se aruncă în separator (2), unde aburul secundar se separă de picăturile de lichid și nimește în condensator, iar lichidul se întoarce în fierbător prin țevă de circulație (3). Aparatură cu fierbătoare alăturate se deosebesc prin randamentul mare, exploatarea și reparația satisfăcătoare.

Procesul evaporării poate fi intensificat simțitor în *aparatură cu circulația forțată a lichidului ce se evaporă*, care se efectuează cu ajutorul pompelor.

Din tuburile fierbătorului soluția ce se evaporă se aruncă în separator, aici o parte din aburul secundar se separă, iar lichidul parțial se întoarce prin țevă de circulație în linia de aspirație a pompei și se amestecă cu o porție nouă de soluție ce se evaporă. Viteza de circulație a lichidului în țevi este de 1,5-3,5 m/s, ce asigură mărirea coeficientului de conductibilitate a căldurii de 3-4 ori, comparativ cu circulația liberă, însă aparatură în exploatare sînt mai complicate.

Pentru concentrația lichidelor termolabile sînt în perspectivă aparatură peliculară. *Aparatură cu vid pelicular cu circulație liberă a lichidului ce se evaporă* se deosebesc prin mărimi mai valoroase ale coeficientului de conductibilitate a căldurii (fig. 52). Camera de încălzire a aparatului reprezintă un fascicul de țevi (4) cu diametrul mic, cu lungimea de 6-9 m, încălzite din exterior cu aburi. Lichidul ce se evaporă se alimentează în țevi din partea inferioară prin ștuțul 5 și se umple la 1/5 din lungime. Cînd lichidul ce se evaporă fierbe, toată secțiunea interioară a țevilor este ocupată de bulele de vaporii,

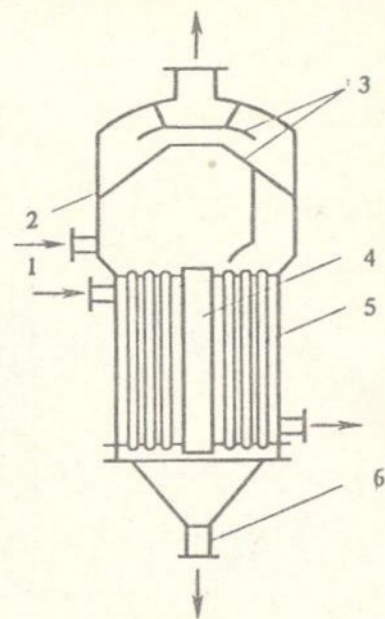


Fig. 50. Schema aparatului cu țevă de circulație centrală. Lămurire în text

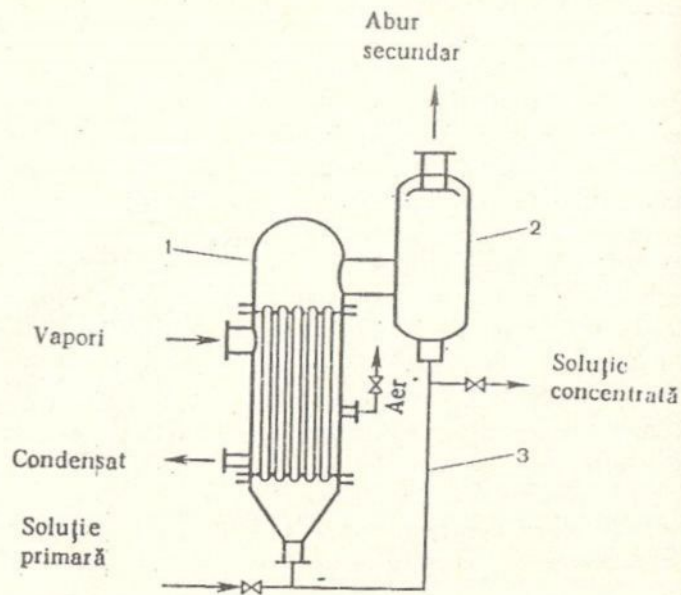


Fig. 51. Schema aparatului de evaporare cu fierbător vertical alăturat. Lămurire în text

care se mișcă în sus cu viteze mari. Lichidul lângă pereții țevilor se află în formă de peliculă subțire, care se antrenează cu vaporii și se întinde în sus. Evaporarea are loc în peliculă la numai o circulație a lichidului prin tuburile fierbătorului. Amestecul din aburul suculent și picăturile de lichid concentrat nimeresc în separatorul (1) înzestrat cu palete în formă de serpentină (2). Sub acțiunea forței centripete picăturile de lichid se separă de fluxul de abur secundar și se colectează pe fundul camerei (3) de unde se scoate din aparat. Aburul suculent, trecând prin captatorul picăturilor, iese prin partea superioară. Viteza mare de mișcare a lichidului în țevi (cca 20 m/s) și evaporarea în strat subțire dau posibilitate de a evapora în atare aparate extracte care conțin substanțe termolabile, cât și cu saponine, garantând nedescompunerea componentelor lor.

**Evaporarea multiplă.** Principiul evaporării multiple constă în aceea că aburul secundar, obținut în primul aparat sub vid, este îndreptat în calitate de agent termic în al doilea aparat sub vid, iar aburii obținuți în el (II) pot fi utilizați pentru încălzirea la al treilea aparat ș. a. m. d. Schema unui astfel de aparat în contracurent este prezentată în fig. 53.

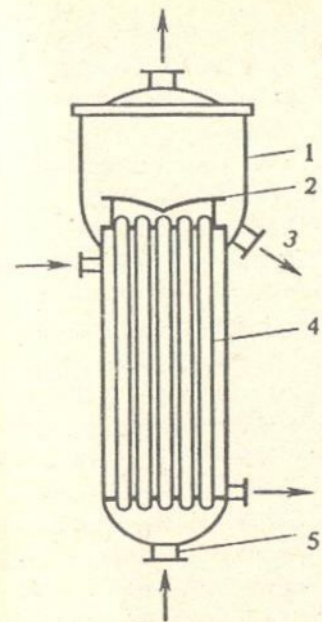


Fig. 52. Schema aparatului de evaporare pelicular. Lămurire în text

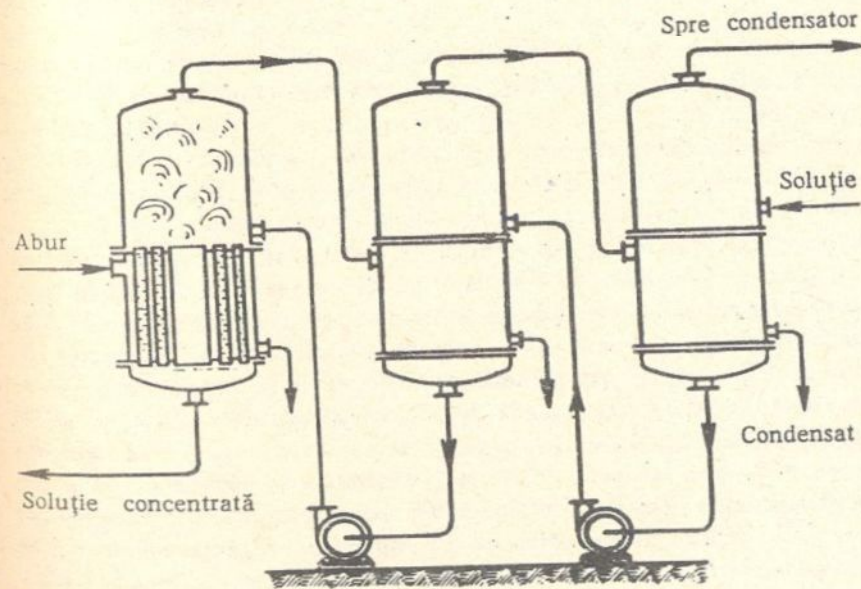


Fig. 53. Schema instalației de evaporare cu efect multiplu și circulație în contracurent



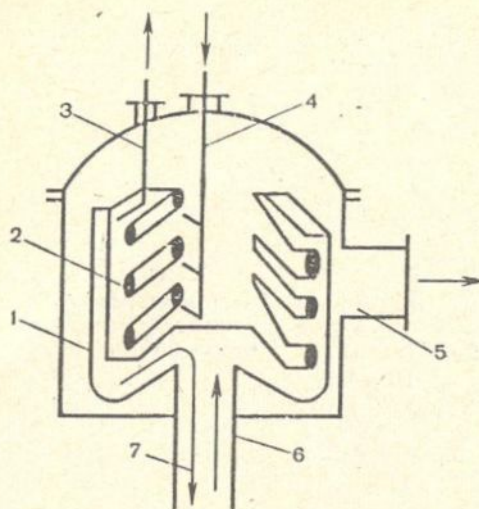


Fig. 54. Schema aparatului Centri-Therm. Lămurire în text

schimbului indirect de căldură a straturilor subțiri ale lichidului curgător și separarea lui centrifugă. Schimbătorul de căldură (1) reprezintă un bloc de talere conice (2), tăiate la vîrf, care se rotesc pe un valț central (6) gol cu o viteză de 500-600 turații/min. Lichidul ce se concentrează se alimentează prin țeava de distribuție (4) pe suprafața internă a talerelor rotitoare, formînd sub acțiunea forței centripete straturi subțiri (nu mai groase de 0,1 mm). Termenul aflării lichidului pe suprafața talerelor este de circa o secundă.

Contactul stratului subțire de lichid cu suprafața talerelor încălzite duce la fierberea spontană. Aburii nimeresc în coloana centrală, formată de marginile interne ale talerelor, apoi se scot din instalație printr-un ștuț special (5). Concentratul se strînge la periferia talerelor conice și se scate prin partea superioară a aparatului prin țeavă (3). Aburii se alimentează prin valțul gol (6) al cămășii, care înconjoară blocul talerelor, de acolo nimereste pe suprafața exterioară a talerelor, unde are loc condensarea lui ca rezultat al schimbului de căldură cu lichidul, ce se află pe partea interioară a talerelor. Condensatul format sub acțiunea forței centripete se aruncă spre periferia talerelor și se elimină prin orificiile cămășii, apoi printr-un sistem de canale și conducte (7) din aparat. La înlăturarea aburului suculent (secundar) are loc separarea

eficace a picăturilor condensatului, ce micșorează considerabil pierderile substanțelor, în comparație cu instalațiile înzestrate cu separatoare externe.

Viteza de transmisie de căldură la instalația Centri-Therm atinge 7 000 kcal/m<sup>2</sup>, vîscozitatea dinamică a lichidului ce se prelucrează - 20 000 MPa · s, conținutul substanțelor uscate după prima condensare (primul ciclu) - 85%.

Întrebuințarea instalațiilor Centri-Therm permite de a îmbunătăți caracterele produsului final în așa limite, care mai înainte nu puteau fi atinse. În afară de aceasta, folosirea instalației pentru evaporarea preliminară a lichidului, înainte de a fi uscat, permite să se mărească solubilitatea produselor pulverulente din contul micșorării pierderilor legate de descompunerea lor.

Cu ajutorul instalațiilor de evaporare Centri-Therm se pot concentra antibioticele, plasma sanguină, fermenții, gelatina, insulina etc.

Aparatul cu vid centripet rotor-pelicular cu rotor gofrat este prezentat în fig. 55. În corpul vertical cilindric (5), separat după înălțime în cîteva secții, cu cămăși este instalat un ax (4) cu tobe goale (9). Suprafața tobelor este gofrată. Pe crestele gofrate în formă de serpentină sînt aranjate niște găuri (orificii) pentru înlăturarea lichidului ce se evaporă pe suprafața de încălzire, iar în fundul gofrat - orificii pentru trecerea aburului secundar. Între tobe se află un colector inelar (8) cu jgheaburi. Lichidul ce se evaporă nimereste prin ștuț (2) în golul inelului de distribuție (6), de unde sub acțiunea forței centrifuge se aruncă pe suprafața interioară a tobei gofrate și se repartizează sub formă de jet. Ajungînd la orificiile din gofre, se aruncă prin ele pe suprafața de încălzire (7) și formează astfel o peliculă ascendentă, care se tulbură continuu cu jeturile lichidului. Datorită repartizării orificiilor în gofre, conform formei șurubului, are loc o irigare uniformă a suprafeței corpului pe

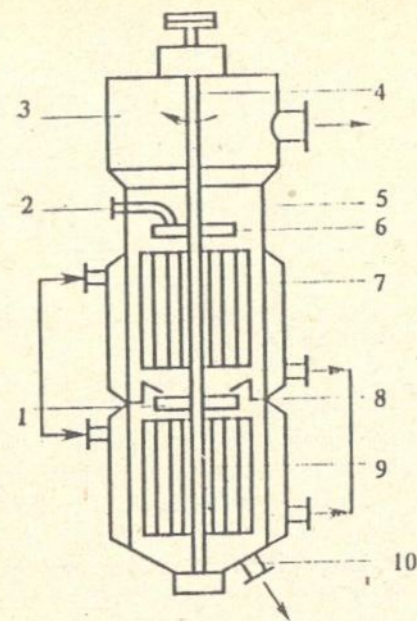


Fig. 55. Schema aparatului cu vid centripet cu rotor gofrat. Lămurire în text

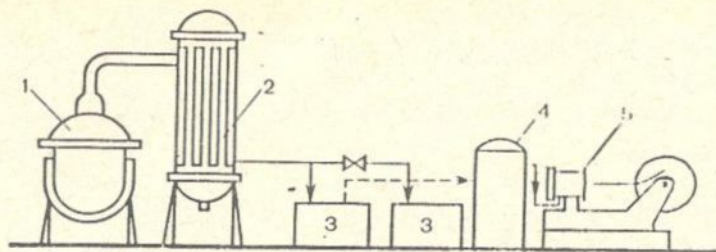


Fig. 56. Schema instalației de evaporare sub vid cu condensator de suprafață: 1 - evaporator sub vid; 2 - condensator de suprafață; 3 - colector; 4 - rezervor; 5 - pompă cu vid

toată înălțimea corespunzătoare a tobei. O parte de lichid se evaporă pe suprafața de încălzire a primei secții, iar partea neevaporată de pe pereții corpului nimereste în colectorul inelar, de unde prin jgheaburi nimereste pe inelul de repartizare (1) al secției inferioare, unde procesul se repetă. Lichidul ce se evaporă (gradul optim de concentrare 5 : 1) se înlătură din aparat prin ștuț (10). Aburul secundar se ridică în sus prin interspațiul dintre corp și tobe, cît și prin orificiile în tobe și după trecerea separatorului prin camera de separare (9) se îndreaptă în condensator. Timpul contactului lichidului ce se evaporă cu suprafața de încălzire (ea poate fi de la 0,8 pînă la 40 m) alcătuieste cîteva secunde, prin aceasta suprafața se purifică continuu cu un jet, aruncat din rotor. Contactul nemijlocit al elementelor rotorului cu suprafața de încălzire lipsește (distanța dintre ele comparabil nu e mare), ca rezultat se exclude murdărirea produsului evaporat cu particule mecanice.

Pentru evaporarea maselor vîscoase și a pastelor se folosesc pe larg aparate rotor directe, pe axul cărora sînt fixate cujite de răzuire, care curăță stratul subțire de pulbere uscată sau pastă.

În fig. 56 este prezentată schema instalației de evaporare sub vid, alcătuită din toate elementele, deoarece aburul suculent conține vapori de solvent costisitor. Cu acest scop se instalează un condensator superficial, care poate fi tubular sau în formă de serpentină, direct ori în contracurent. Rarefierea se face cu ajutorul pompei de ulei.

Colectorul reprezintă un vas cilindric, pereții căruia sînt calculați pentru vidul creat. De obicei în instalație se află două colectoare, unul dintre care se află în funcție, al doilea se descarcă. Aceasta se face prin închiderea robinetelor. Între colectoare și pompa sub vid se instalează un vas de protecție (rezervor), care nu permite condensatului să nimerescă în colector. Ca de obicei rezervorul are un rol de tampon, care reglează lucrul lent al instalației.

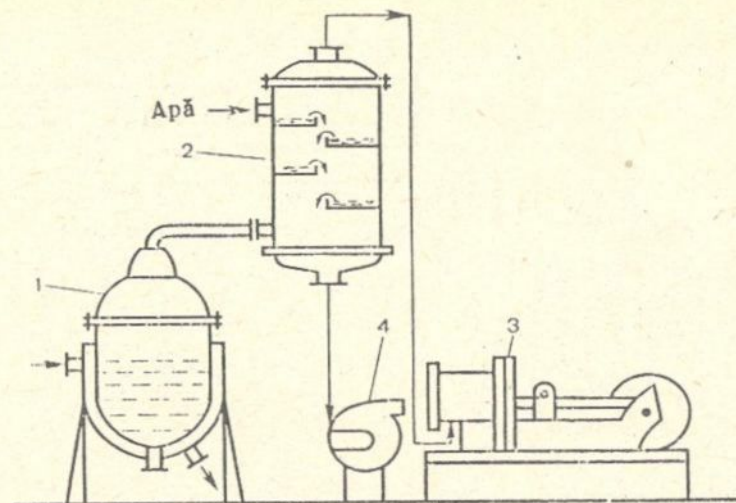


Fig. 57. Schema instalației de evaporare sub vid cu condensator prin amestec în contracurent: 1 - aparat cu vid; 2 - condensator; 3 - pompă cu ulei; 4 - pompă cu apă

Schema instalației pentru evaporarea extractelor apoase. În fig. 57 este prezentată schema instalației sub vid pentru evaporarea extractelor apoase cu condensator prin amestec în contracurent. În cazul dat sînt necesare două pompe: una - pentru evacuarea gazelor (pompă cu ulei sub vid), alta - cu apă.

### 7.2.2. Fenomene secundare la evaporare

**Formarea spumei.** Unele extracte, îndeosebi cele ce conțin saponine, la evaporare sub vid produc afita spumă, încît apare pericolul de detașare a lichidului în condensator. Există cîteva măsuri practice, pentru a înlătura spuma sau măcar a o micșora. Mai înfii de toate, spațiul pentru aburi trebuie să fie mai mare decît cel al lichidului, pentru ca spuma să aibă posibilitate să se ridice în sus; aceasta duce la unirea bulelor în aparatele tubulare. Amestecului de spumă și lichid i se mărește viteza, încît fiind aruncată pe suprafața de reflectare spuma se sparge prin lovire.

Mai puțină spumă se formează lucrînd cu aparate înzestrate cu malaxor, care este cufundat aproape complet în spumă. Există și alte metode de micșo-

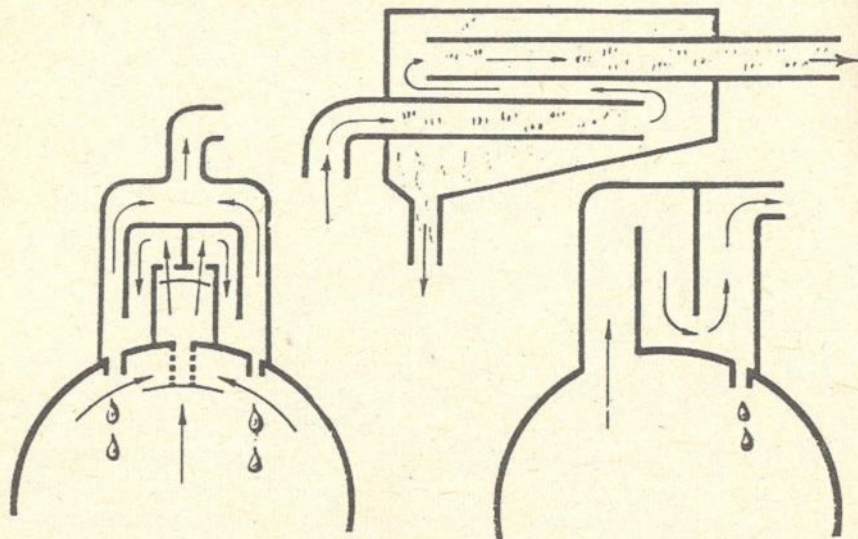


Fig. 58. Captatori de spumă și picături

rare a spumei, bazate pe aceea că din cînd în cînd în evaporator se introduce aer prin robinetul de aer; din cauza diferenței de presiune spuma se stinge. Formarea spumei de asemenea se micșorează la filtrarea riguroasă a extracelui înainte de evaporare.

**Transportarea picăturilor.** La evaporare poate avea loc pierderea de lichid la transportarea picăturilor, ce apar din cauza spumei sau a vitezei mari a aburului, care mecanic antrenează cu sine picăturile de lichid. Transportarea picăturilor se poate scădea, micșorînd viteza aburului într-afîit, încît viteza de cădere a picăturilor lichidului, antrenat în camera cu abur, va fi mai mare decît viteza aburilor. În afară de aceasta, se folosesc niște captatoare speciale (fig. 58) pentru picături și de asemenea pentru lichidul transportat.

Captatoarele se montează între evaporatoare și condensatoare. Există un șir de construcții de captatoare. Bunăoară, în unele din ele aburii și picăturile antrenate cu el parcurg o cale în formă de zigzag.

**Incrustarea (formarea crustei).** La concentrarea unor extracte apar greutăți ca rezultat al coagulării substanțelor, care se depun pe suprafața de încălzire în formă de crustă. Crusta micșorează productivitatea aparatului, diminuînd astfel cedarea de căldură. Evaporarea trebuie efectuată astfel, încît să se formeze cît mai puțină crustă. În aparatele tubulare uneori efectul se

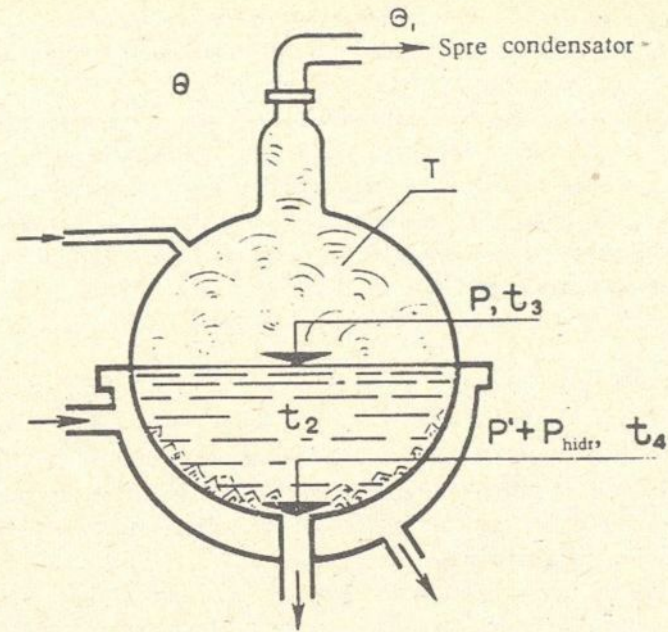


Fig. 59. Demonstrarea fenomenelor secundare la evaporare

atinge prin sporirea circulației, în cele sferice – cu ajutorul malaxoarelor cufundate în lichid. Cînd procesul s-a terminat, aparatul trebuie curățit de fiecare dată de crustă. Pentru înlăturarea ei se folosesc diferite metode (mecanice și chimice). În afară de aceasta, evaporarea este însoțită de pierderi de căldură din contul: depresiunilor de temperatură, hidrostatică și hidraulică.

Depresiunea de temperatură este diferența dintre temperatura de fierbere a soluției și temperatura aburului (sau temperatura de fierbere a solventului). Mărimea ei depinde de natura solventului, substanța dizolvată în el, concentrația soluției și presiunea la care are loc fierberea. Depresiunea de temperatură atinge uneori mărimea de 5-8°C. Formula este următoarea:  $\Delta' = t_2 - t_1$ . În fig. 59 sînt prezentate fenomenele secundare la evaporare.

Depresiunea hidrostatică este legată cu fenomenul hidrostatic, adică o dată cu ridicarea temperaturii de fierbere a lichidului, ca rezultat al măririi presiunii hidrostatice a coloanei de lichid, poate atinge mărimea de 1-3°C. Formula:  $\Delta'' = t_4 - t_3$ .

Depresiunea hidraulică este legată de micșorarea temperaturii la 1,5–2°C și căderea presiunii la transportarea aburului prin conductă din pricina fricției (o rezistență oarecare hidraulică). Formula:  $\Delta''' = Q - Q_1$ .

Din cele spuse, e clar că, depresiunea totală reprezintă suma depresiunilor  $\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta'''$ , iar temperatura soluției, luând în considerație pierderile de căldură, va fi:  $t = T + \Delta$ . În formule sînt însemnate temperaturile de fierbere:  $t_1$  – a solventului;  $t_2$  – a soluției;  $t_3$  – în straturile superioare;  $t_4$  – în straturile inferioare;  $T$  – a aburului secundar;  $Q$  – la începutul conductei;  $Q_1$  – la intrarea în condensator.

### 7.3. USCAREA

Uscarea este o operație care constă în eliminarea apei sau a altui lichid dintr-un material în care acesta este menținut prin adeziune superficială sau capilaritate. De obicei, se cere eliminarea apei dintr-un material. Produsul final obținut în urma uscării este substanța solidă.

Aparatul în care se efectuează uscarea se numește uscător, iar strîns în ansamblu cu toate aparatele auxiliare – instalație de uscare. În dependență de starea de agregare a substanței care urmează a fi uscată, uscătoarele se împart în cele de contact și aeriene. În primul caz substanța este situată direct pe suprafața de căldură; în al doilea – uscarea se face de un curent de gaz – agent de căldură, care deseori este aerul.

*Uscarea substanțelor solide.* Substanțele solide sînt la fel de sensibile la acțiunea temperaturii înalte ca și cele lichide. De exemplu, plantele medicinale își pierd o parte din substanțele active utile. În cazul cînd organele animale sînt uscate incorect, hormonii și fermenții se inactivează. Schimbări în componență pot avea loc în urma uscării substanțelor chimico-farmaceutice la pregătirea lor pentru comprimare (deshidratare, topire, aglutinare). Deci, temperatura și viteza de uscare sînt factorii principali, care acționează asupra calității substanțelor ce se usucă. Uscarea substanțelor solide este efectuată atît în uscătorii de contact, cît și în cele de aer.

#### 7.3.1. Bazele teoretice ale uscării

Procesul de uscare a substanțelor medicamentoase solide în mare măsură depinde de caracterul legăturilor dintre umiditate și material.

#### 7.3.1.1. Formele și tipurile umidității

Clasînd formele și tipurile legăturii dintre umiditate și substanță, se ține cont de caracterul fizic al legăturii, care denotă calitatea, și de energia de legătură, care oglindește semnul cantitativ.

Prin energia de legătură se subînțelege acea energie, care trebuie consumată în condiții constante de temperatură și conținut de umiditate pentru a rupe un mol de apă de la materie. Prin conținut de umiditate se subînțelege raportul dintre umiditatea materiei față de substanța absolut uscată și se exprimă prin: kg umiditate/kg material. Pentru apă energia de legătură este egală cu zero.

Deosebim următoarele forme și tipuri de legături între umiditate și materie: 1) legătura chimică, caracteristică pentru umiditatea hidrată, sau cristalină; această umiditate la uscare nu este cedată; 2) legătura fizico-chimică, caracteristică pentru toate tipurile de umiditate intracelulară: a) absorbivă – legată; b) reținută osmotic (umiditatea gonflării); c) umiditatea de structură; 3) legătura fizico-mecanică, care cuprinde umiditatea macrocapilarelor ( $r > 10^{-5}$  cm) și umiditatea microcapilarelor ( $r < 10^{-5}$  cm).

La baza împărțirii capilarelor în macro- și microcapilare stă comparația distanței mișcării libere a moleculei de vapori și raza capilarului. Energia legăturii fizico-mecanice este egală cu zero (aceasta e umiditatea liberă), forma chimică se deosebește printr-o mărire spontană a energiei de legătură.

Independent de caracterul legăturii, umiditatea strîns legată cu materialul se numește *higroscopică*. Această umiditate nu poate fi eliminată complet din substanță prin uscare. Umiditatea, eliminată din substanță prin uscare, se numește *umiditate liberă*. Mărind considerabil temperatura aerului și coborînd umiditatea lui relativă, se poate de eliminat încă o parte oarecare de umiditate higroscopică. Această umiditate se numește *umiditate legată*.

Uscînd substanțele solide, de obicei, se elimină umiditatea capilară și intracelulară. Umiditatea capilară umple numeroasele macro- și microcapilare, ce pătrund produsul vegetal sau corpurile solide granulate. Umiditatea intracelulară se înfilnește la uscarea materiei prime endocrine și a plantelor medicinale proaspete.

#### 7.3.1.2. Mecanismul uscării

Mecanismul uscării corpurilor capilaroporoase se determină de legitățile transferării de masă în interiorul corpurilor și la interfața dintre fazele

solidă și gazoasă. Mecanismul transferării de masă în interiorul corpurilor se determină prin forma de legătură dintre umiditate și material: de structura corpului capilaroporos și regimul uscării. În interiorul corpurilor capilaroporoase la uscare se produc următoarele tipuri de transferare a umidității: difuziunea lichidului; difuziunea aburului; transferarea moleculară și prin convecție a lichidului și a aburului presat la ridicarea temperaturii; efuziunea (scurgerea moleculară) aburului în microcapilare ( $r < 10^{-5}$  cm). Prin efuziune se subînțelege o mișcare îndreptată, dar nu haotică (ca la difuziune) a moleculelor de abur. Particularitatea ei constă în transferarea substanțelor din locurile mai reci în cele mai calde. Efuziunea are loc anume în microcapilare, atunci când lungimea mișcării libere a moleculei de abur este comparabilă față de capilar; alunecarea caldă a vaporilor în macrocapilare ( $r > 10^{-5}$  cm), care apare la decăderea de temperatură față de lungimea peretelui capilarului și se lămurște prin aceea că la suprafața pereților capilarelor aerul umed se mișcă nu contra curențului termic, ci pe centrul capilarului – în direcția curențului termic.

Manifestarea tipurilor descrise mai sus de transferare a umidității la uscare depinde de regimul procesului și de proprietățile materialului ce se usucă.

La interfață și în apropierea corpului solid în condiții relativ simple de uscare ( $t < 100^{\circ}\text{C}$ ) mecanismul de transferare a maselor rămâne îndeosebi molecular. O dată cu depărtarea de la suprafața corpului crește fracția transferării prin convecție a masei și în centrul torentului predomină mecanismul dat.

### 7.3.1.3. Cinetica uscării

Uscarea, la fel ca și alte procese de transferare a maselor, se exprimă prin relația de transferare a maselor, care unește difuziunea moleculară cu cea prin convecție:

$$W = KF (P_m - P_a),$$

unde  $W$  – cantitatea de umiditate evaporată;  $K$  – coeficientul de transferare a maselor;  $F$  – suprafața interfațială;  $P_m$  – presiunea aburilor la suprafața materialului;  $P_a$  – presiunea parțială a aburului în aer.

Forța motrice a procesului de uscare este diferența de presiune a aburilor la suprafața materialului și presiunea parțială în aer, deci  $P_m - P_a$ . Cu cât este mai mare această diferență, cu atât mai intens decurge vaporizarea umidității. Când  $P_m - P_a = 0$ , procesul se echilibrează. În așa stare umiditatea devine constantă și uscarea se oprește. Viteza de uscare  $U$  se determină prin raportul dintre cantitatea de umiditate  $W$ , vaporizată de pe o unitate de suprafață  $F$  de uscare într-o unitate de timp  $\tau$ :

$$U = \frac{W}{F \cdot \tau} \text{ kg/m}^2\text{s}.$$

Eliminarea umidității are loc pe contul vaporizării ei de pe suprafață (difuziunea externă). În locul umidității evaporate, sub acțiunea forțelor capilare, spre suprafață se îndreaptă umiditatea din straturile interne ale materialului (difuziunea internă). Mai întâi se evaporă umiditatea de la suprafață care ușor se substituie cu cea din interior. În această perioadă substanța care se usucă este acoperită cu un film umed și procesul de evaporare superficială poate fi comparat cu evaporarea simplă de pe oglinda lichidului.

Pe măsură ce umiditatea în materie se micșorează, suprafața ei treptat se va elibera de filmul lichidului, dezgolindu-se în cazul dat de pe suprafață se va evapora numai acea umiditate, care se aduce din interior la suprafață prin capilare pe baza forțelor difuziunii interne.

Pe măsura evaporării, umiditatea tot mai greu pătrunde la suprafață. În acest timp asupra vitezei de difuziune, adică vitezei de uscare, încep să acționeze proprietățile naturale ale materialului și capacitatea lui de a reține umiditatea. Mai departe are loc încălzirea stratului superior al materialului. Din această cauză o parte de umiditate se volatilizează în capilare, neajungînd la suprafață. În acest moment proprietatea materialului de a reține umiditatea se manifestă puternic. Căderea continuă a vitezei de uscare durează pînă la starea de echilibru al conținutului de umiditate în material.

Procesul uscării poate fi reprezentat în formă de curbă, dusă pe diagrama cu coordonatele: viteza de uscare – umiditatea (fig. 60).

Din diagramă se vede că curba uscării are cîteva segmente. Segmentul AB corespunde perioadei de încălzire a materialului, este de scurtă durată și se caracterizează prin starea instabilă a procesului. Viteza de uscare crește și spre sfîrșitul perioadei de încălzire atinge o mărime maximală, umiditatea absolută –  $W_a$  – se micșorează puțin. Segmentul  $BK_1$  este o linie dreaptă, paralelă la linia absciselor, care corespunde perioadei vitezei de uscare constante (perioada difuziunii externe). În această perioadă de uscare

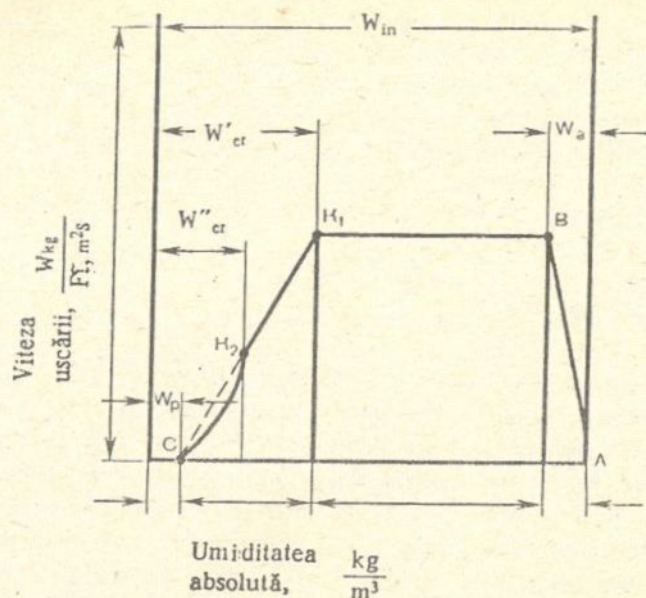


Fig. 60. Diagrama procesului uscării. Lămurire în text

difuziunea internă este atât de intensă, încît asigură o cantitate suficientă de umiditate la suprafață. De aceea în cazul stabilit al stării aerului înconjurător și al temperaturii constante de uscare, cantitatea de aburi, înlăturată de pe o suprafață de evaporare constantă, va fi una și aceeași. Punctul  $K_1$  este punctul inițial al perioadei de *cădere a vitezei de uscare*, altfel vorbind, punctul critic al procesului de uscare, iar umiditatea  $W_{cr}^I$  – primară critică. În această perioadă viteza de uscare depinde completamente de viteza de difuziune a umidității interne. La început viteza difuziunii interne cade mai mult sau mai puțin uniform, de aceea și viteza de uscare în perioada dată se micșorează uniform  $K_1K_2$  (scăderea uniformă a vitezei de uscare). Segmentul  $K_1C$  la început se prezintă prin linie dreaptă. La sfîrșit se transformă în curba  $K_2C$ , care caracterizează scăderea neuniformă a vitezei de uscare, ce, după cum a fost menționat mai sus, corespunde procesului evaporării mai adînci, cînd umiditatea se evaporă în capilare. Punctul  $K_2$  – al doilea punct critic, cu umiditatea  $W_{cr}^{II}$ .

Sfîrșitul uscării (conținutul de umiditate constant) pe curbă este redat prin punctul C – umiditatea echilibrată  $W_p$ . Trebuie de menționat că la început la suprafața evaporării se aduce umiditatea capilarelor ca fiind mai liberă. Pereții celulelor sînt penetrabili pentru apă și aburi.

Durata procesului de uscare, de aici și a productivității lui, depinde de viteza de uscare. Viteza de uscare este funcția unui șir de factori. Principalii dintre ei sînt: particularitățile naturale ale materialului de uscat – structura sa, caracterul legăturii cu apa, componența chimică etc., suprafața totală a materialului de uscat, care depinde de mărimea fragmentelor, grosimea stratului: cu cît va fi mai mare suprafața materialului, cu atît mai repede va avea loc uscare; cantitatea de umiditate necesară de înlăturat; umiditatea și temperatura aerului: cu cît mai mare va fi temperatura aerului și mai mică umiditatea lui relativă, cu atît mai spornic are loc uscare; viteza de schimb a agentului termic: cu cît mai intens are loc mișcarea aerului cald în uscătorie, cu atît mai intens se va produce schimbul de căldură dintre aer și substanță; amestecarea intensă a materialului: cu cît mai bine se amestecă materialul, cu atît e mai activă suprafața de evaporare și deci mai spornic are loc uscare.

Agentul de căldură, aerul cald, reprezintă un amestec de aer uscat și aburi. Aducînd cu sine căldură, aerul o cedează substanței umede. Totodată, în aer trec vaporii eliberați din substanța ce se usucă. Însă proprietatea lor de a se satura cu vaporii este limitată de mărimi determinate de temperatura și presiunea concrete. După limitele saturării aburii cad din aer în formă de ceață, ce duce la umectarea substanței. Capacitatea aerului de a usca materialul se determină prin parametrii următori: umiditatea absolută și relativă, conținutul de umiditate și conținutul de căldură a aerului umed.

*Umiditatea absolută* a aerului se numește masa de vaporii în kg dintr-un metru cub ( $1 \text{ m}^3$ ) de aer umed.

*Umiditatea relativă* a aerului se numește raportul dintre umiditatea absolută și cantitatea de aburi maximală care poate fi în  $1 \text{ m}^3$  de aer la aceeași temperatură și presiune. Umiditatea relativă caracterizează gradul de saturare a aerului cu umiditate.

*Conținutul de umiditate (entalpia) (x)* a aerului se numește cantitatea de aburi în kilograme, aflată într-un kg de aer uscat. Entalpia caracterizează componența relativă în greutate a aerului umed.

*Conținutul de căldură* a aerului umed (j) reprezintă suma conținutului de căldură al aerului uscat și al aburului aflat în aer.

Însemnînd prin:  $\rho_a$  – densitatea relativă a aburului aflat în aerul umed nesaturat, exprimat în  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho_s$  – densitatea relativă a aburului în aerul saturat, exprimat în  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $P_a$  – presiunea parțială a aburului practic aflat în aerul umed, exprimat în  $\text{N}/\text{m}^2$ ;  $P_s$  – presiunea parțială a aburului aflat în aerul saturat, exprimat în  $\text{N}/\text{m}^2$ ;  $G_a$  – masa aburului în aerul umed;  $G_{au}$  – masa aerului uscat în același volum;  $M_a$  și  $M_{au}$  – mărimile maselor moleculare ale

aburului și ale aerului uscat;  $P$  – presiunea totală a aerului umed,  $N/m^2$ , se pot alcătui următoarele relații.

1) Pentru umiditatea relativă a aerului:

$$G = \frac{\rho_a}{\rho_s} = \frac{P_a}{P_s} \text{ N/m}^2,$$

deci, umiditatea relativă se determină prin raportul densităților sau, deoarece densitatea aerului este proporțională presiunii lui parțiale în amestec, ca raportul dintre presiunea parțială a aburului, aflat în aer, față de presiunea aburului saturat aflat la temperatura dată.

2) Pentru conținutul de căldură a aerului:

$$X = \frac{G_a}{G_{au}} = \frac{M_a}{M_{au}} = \frac{P_a}{P - P_a}.$$

Din relația umidității relative reiese:

$$P_a = G \cdot P_s.$$

Înlocuind mărimea  $P_a$  și mărimile maselor moleculare, obținem următoarea relație a conținutului de umiditate a aerului față de umiditatea lui relativă:

$$X = 0,622 \frac{G \cdot P_s}{P - G \cdot P_s} \text{ kg abur/kg aer uscat,}$$

unde 0,622 reprezintă rezultatul raportului dintre 29, 27 (valoarea constantei aerului uscat) și 46,06 (valoarea constantei aburului).

3) Pentru conținutul de căldură a aerului umed:

$$j = 1000 t + 1970 tx + 2493 \cdot 10^3 x, \text{ J/kg aer uscat,}$$

unde  $t$  – temperatura aerului umed în  $^{\circ}\text{C}$ ;  $x$  – conținutul de umiditate în kg umiditate/kg aer uscat; 1000 – căldura specifică a aerului uscat; 1970 – căldura specifică a aburului;  $2493 \cdot 10^3$  – căldura latentă de vaporizare la  $0^{\circ}\text{C}$ . Dacă unitatea de căldură este primită 1 kilocalorie, formula dată se exprimă:

$$j = 0,24 t + 0,46 x + 595 x \text{ kcal/kg aer uscat,}$$

unde  $t$  – temperatura aerului uscat în  $^{\circ}\text{C}$ ; 0,24 kcal/kg  $^{\circ}\text{C}$  – căldura specifică

a aburului;  $x$  – conținutul de umiditate în kg umiditate/kg aer uscat; 595 kcal/kg – căldura latentă de vaporizare la  $^{\circ}\text{C}$ .

Parametrul  $G$  caracterizează capacitatea aerului de a absorbi apa, vaporizată din substanța umedă, adică capacitatea aerului de a transporta vaporii din uscător. Este absolut clar că trebuie de tins spre aceea, ca mărimea  $G$  să fie minimală la intrarea aerului în uscător și maximală la ieșirea lui din el. Însă pentru a evita condensarea aburului, și deci umectarea din nou a substanței uscate mărimea  $G$  nu trebuie să fie aproape de unitate. Temperatura, la care aerul la starea dată răcindu-se cu conținutul constant de umiditate devine saturat, se numește *punct de rouă*. La temperatura punctului de rouă răcirea de mai departe a aerului umed duce la căderea din el a umidității, ce practic se poate observa – roua se acumulează pe obiectele reci. Prin parametrul  $j$  se caracterizează cantitatea de căldură, transportată de aer, care se consumă la încălzirea substanței și la vaporizarea umidității aflate în ea. Parametrul  $x$  este cel de bază la calcularea construcției uscătoriei.

### 7.3.2. Uscător sub vid. Dulapul de uscare

Cel mai simplu uscător cu aer este dulapul de uscare. Uscarea în asemenea dulapuri are loc neuniform. În timp ce pe polița inferioară substanța este uscată, pe cea superioară ea este încă umedă. Uscînd materia pe polița superioară, prin aceasta vom supraîncălzi pe cea de pe polița inferioară. De aceea este nevoie ca grătarul cu substanțe din cînd în cînd să fie schimbat cu locul.

Mai raționale sînt uscătoriele cu circulația aerului-agent termic forțat, bunăoară dulapul de uscare cu mai multe camere (fig. 61). În dulap sînt montate două suporturi (2) cu o serie de grătare schimbătoare (4). Caloriferul (1, 7) sînt instalate la pereții colaterali vertical în interiorul dulapului. Aerul în uscătorie se suflă cu ajutorul ventilatorului (5). Trecînd prin calorifer (1), el trece de-a lungul șirului de polițe superioare, separate de cele de mai jos cu un perete despărțitor (3). Ajungînd la peretele opus, aerul se încălzește la caloriferul 7 și se întoarce spre caloriferul 1 prin camera de mai jos, separată de peretele despărțitor (3). După ce a fost încălzit, curentul de aer se îndreaptă spre caloriferul 7 de-a lungul camerei următoare ș. a. m. d., pînă va atinge camera inferioară. De aici aerul saturat cu aburi se scoate afară cu ajutorul cuvei prin partea dreaptă a dulapului. Cu ajutorul șuberului (6) o parte de aer umed, însă cald, se poate de amestecat cu aer proaspăt.

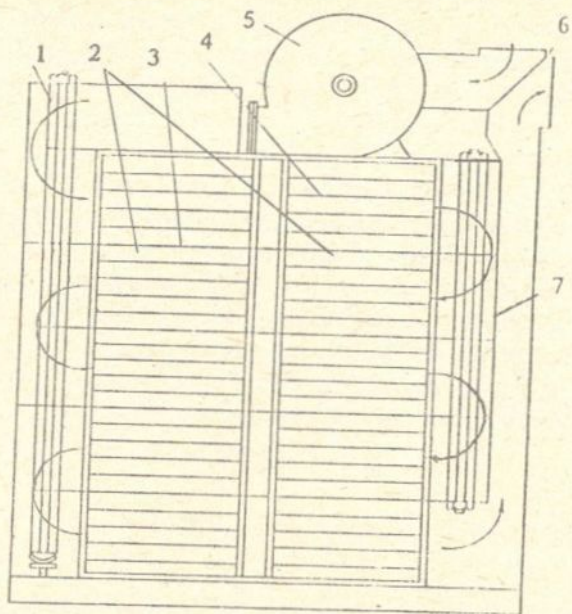


Fig. 61. Dulapul de uscare cu multe camere. Lămurire în text

### 7.3.2.1. Uscătorie cu bandă rulantă

Reprezintă o bandă infinită din rețea metalică, care se mișcă în interiorul camerei. Aceste uscătorii pot fi directe sau cu contracurent. În uscătorii cu curent direct uscarea are loc pe loturile începătoare ale bandei. Mai departe materialul aproape uscat vine în contact numai cu aer umed și rece, ce exclude supraîncălzirea materialului. În uscătorii cu contracurent aerul proaspăt se înfilnește cu materialul uscat de acum, apoi se mișcă spre materialul umed și în stare umedă și rece înfilnește material complet umed. Prin aceasta se atinge o saturație a aerului mai mare și o utilizare maximală a căldurii. Materia uscată are o umiditate mai mică decât cea de la curentul direct. Neajunsul uscătoriei constă în supraîncălzirea posibilă a materialului.

Uscătorii cu bandă pot fi cu unul sau mai multe etaje. În cele cu un etaj materialul stă nemișcat, ceea ce înrăutățește uscarea. În uscătorii cu multe etaje (fig. 62) materialul se răstoarnă de pe o bandă pe alta, amestecându-se bine. Lungimea unei astfel de uscătorii este cu mult mai mică.

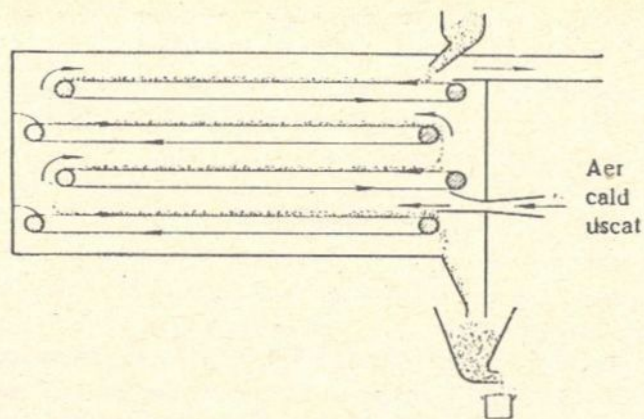


Fig. 62. Schema uscătoriei cu bandă în multe etaje

Pentru uscarea produsului vegetal în industria farmaceutică se întrebuințează pe larg uscătorii cu cinci benzi SPK-30 și SPK-45.

Ele sînt alcătuite din 5 rețele în formă de bandă rulantă, întinse pe tablă. Între despărțiturile transportorului sînt montate baterii de calorifere. Lățimea bandei la SPK-30 este de 1,25 m, lungimea de circa 5 m, suprafața totală de lucru a rețelei 30 m<sup>2</sup> (la SPK-45 suprafața totală este de 45 m<sup>2</sup>). Produsul de pe transportorul de alimentare nimereste pe transportorul superior. El se mișcă cu viteza de 0,2 m/min. Produsul se descarcă de pe o bandă pe alta cu ajutorul dispozitivelor speciale de îndreptare; pentru amestecarea produsului vegetal se montează un răvășitor. Aerul trece de jos în sus prin toate zonele, încălzindu-se de 5 ori în calorifere. Aburul sub presiunea de 3-5 atmosfere se alimentează paralel în primul și al doilea calorifere; din al doilea el consecutiv trece prin al treilea, al patrulea și al cincilea calorifere. Condensatul se scoate de la primul calorifer (pe prima bandă a fost produsul vegetal cel mai umed și, deci, s-a consumat mai multă căldură) și al cincilea. Aerul se aspiră din uscătorie cu ventilatorul axial.

### 7.3.2.2. Uscătorii cu aeroerupție

Uscarea substanțelor solide în strat fierbînd (pseudolichefiat) se numește aeroerupție. Prin astfel de uscare are loc egalarea rapidă a temperaturii sub-



stanțelor solide și a agentului termic, atingându-se un schimb intens de căldură între fazele solidă și gazoasă, iar ca rezultat uscarea se termină în timp de câteva minute. În calitate de agent termic la uscarea substanțelor în strat fierbînd se folosesc gazele de ardere și aerul. Schema principală a uscării în strat fierbînd este arătată în fig. 63.

În camera de amestec (2) gazele fumante se amestecă cu aerul suflat de ventilator (1) și nimeresc în partea inferioară a uscătoriei, care reprezintă un cilindru sau o cameră de uscare dreptunghiulară (4) cu grătar de separare (3). Materialul ce se usucă se alimentează cu transportorul elicoidal (5) în partea superioară a camerei (4) și formează un strat fierbînd în curentul de gaze care trec prin orificiile grătarului (3). Materialul uscat se descarcă prin prag (7) în colector (8). Particulele solide, antrenate cu curentul agentului termic, se separă în ciclon (6). Uscătoriu cu aeroerupție nu poate fi folosită la uscarea materialelor care nu se supun pseudolichiefierii și a celor care ușor se macină, deoarece în cazul dat se mărește spontan antrenarea particulelor solide.

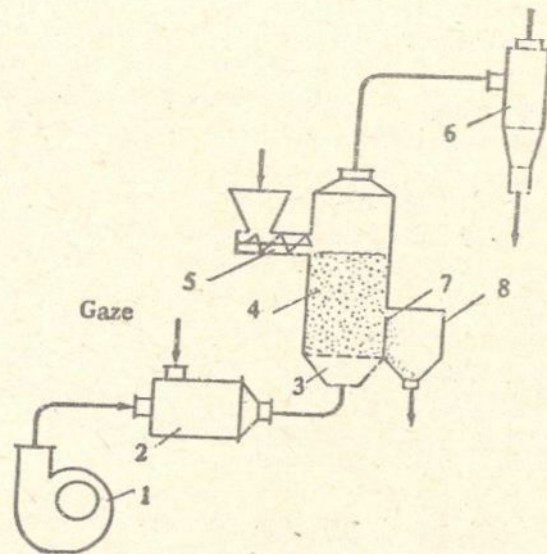


Fig. 63. Uscătoriu cu aeroerupție. Lămurire în text

### 7.3.2.3. Uscarea cu ajutorul radiației infraroșii

Razele infraroșii sînt invizibile și au lungimea de undă de la 0,76 pînă la 400  $\mu\text{m}$ . Ele se află alături de partea vizibilă a spectrului roșu și împlinesc sectorul dintre el și undele radioului cele mai scurte. Radiația infraroșie de căldură contribuie la o înlăturare mai intensă a umidității și în cazul dat are unele priorități față de uscarea simplă. În afară de aceasta, uscătorii cu radiație infraroșie sînt mai compacte. Uscătoriu cu radiație infraroșie a găsit o largă răspîndire la uscarea granulatului.

### 7.3.2.4. Uscarea cu curenți de înaltă frecvență

Uscarea cu curenți de înaltă frecvență sau cu încălzitor dielectric în timpul de față se întrebunțează pe larg la uscarea diferiților dielectrici: mase plastice, rășine, lemn etc. Această metodă este cu perspectivă la uscarea granulelor în industria farmaceutică. Principiul uscării prin dielectric se bazează pe proprietatea moleculelor dielectricului de a se polariza sub acțiunea curentului electric. Viteza de polarizare a moleculelor depinde de aceea, cît de des cîmpul electric schimbă direcția sa în cea opusă. La frecvență slabă, va fi mic și numărul de rotații ale moleculelor într-o unitate de timp. O dată cu mărirea frecvenței, crește și numărul de rotații ale moleculelor. Rotația moleculelor, fiind urmată de fricția interioară, cere un consum oarecare de energie a cîmpului electric care astfel se transformă în energie de căldură. De aceea o dată cu creșterea frecvenței, va crește și cantitatea de căldură eliminată.

Folosind încălzirea dielectrică, umiditatea poate fi înlăturată la o temperatură relativ joasă, uscarea durează timp scurt, o dată și uniform pe toată grosimea materialului. Momentul prețios mai constă în aceea că se poate efectua alegerea încălzirii diferitelor ingrediente, care intră în componența materialului neomogen, prin alegerea frecvenței oscilațiilor.

### 7.3.2.5. Uscarea prin sorbție

Umiditatea din capilarele umede poate fi înlăturată și fără aducerea energiei de căldură. Bunăoară, umiditatea poate fi înlăturată prin adsorbția cu ajutorul adsorbentului. În fig. 64 este prezentată schema de lucru a dula-

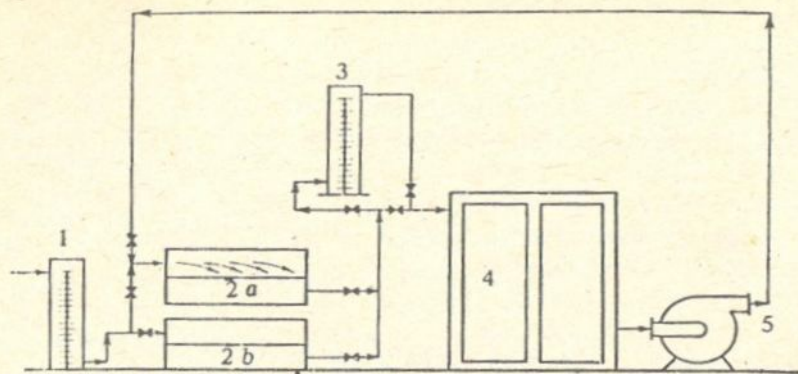


Fig. 64. Uscătorie cu coloane de silicagel. Lămurire în text

pului de uscare cu adsorbent silicagel. Silicagelul – gel anhidru și călit al acidului silicic ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) – posedă proprietăți vaste de adsorbție. Aerul aspirat în instalație cu ajutorul pompei (5) consecutiv trece prin calorifer (1), unde se încălzește, apoi prin coloana cu silicagel (2a), fiind bine uscat nimereste în camera uscătoriei (4). Aerul umed din uscătorie se îndreaptă în coloana cu silicagel (2a), unde se eliberează de umiditate și după ce se încălzește în calorifer (3) se întoarce în uscătorie. Astfel se creează o circulație continuă a aerului uscat și cald, care asigură uscarea rapidă a granulatului (în termen de 1-2 ore). În instalația de uscare, de obicei, sînt două coloane de silicagel, care lucrează pe rînd. Cînd coloana (2a) își consumă proprietatea de adsorbție, în lucru se cuplează adsorbitorul 2b, iar adsorbitorul 2a se regenerează prin călirea silicagelului pînă la temperatura de  $300^\circ\text{C}$ .

Astfel se reduce complet atît structura, cît și capacitatea de adsorbție. Dulapurile de uscare cu coloane de silicagel se folosesc pe larg în industria farmaceutică la uscarea granulatului. Coloanele cu silicagel pot fi folosite pentru uscarea substanțelor, care conțin extragenți de preț (alcool, eter etc.). În cazul dat silicagelul va adsorbi amestecul de vapori și extragent. După ce toată activitatea silicagelului va fi epuizată, prin coloana deconectată se alimentează abur. Străbătînd stratul de silicagel, aburul desorbează adsorbitorul (bunaoară, alcoolul) și îl transportă în condensator. Mai departe adsorbitorul se regenerează prin călire.

### 7.3.2.6. Uscarea ultrasonoră

În afară de metodele descrise, în industria farmaceutică în ultimul timp se folosește și uscarea în cîmpul acustic cu oscilații audibile sau ultrasonore. S-a stabilit că pentru o uscare mai eficientă cu ajutorul ultrasunetului sînt mai potrivite frecvențele de 6-8 kHz.

Fenomenul fizic al uscării cu ajutorul sunetului pînă în prezent nu-i stabilit, însă sînt un șir de ipoteze, care lămuresc unele cazuri particulare.

În fig. 65 este prezentată uscătorie pentru materialele pulverulente. Sunetul se obține cu ajutorul sirenei – fluierului cu jet de gaz. Aerul uscat, amestecînd materialul, îl impune să "fiarbă", formînd un strat pseudolichefiat (pat fluidizat). O sirenă este instalată lateral, astfel încît prinde maximal toată suprafața. Cînd materialul uscat începe a se ridica în sus, el nimereste sub acțiunea cîmpului acustic al sirenei a doua. Astfel particulele se aglomerează și nimeresc în buncărul de descărcare.

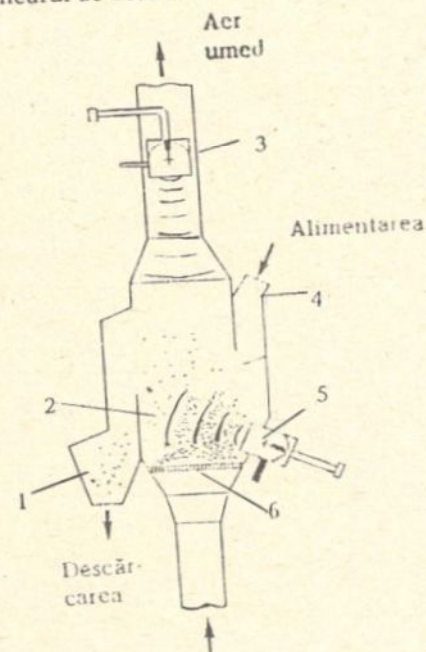


Fig. 65. Uscătorie ultrasonoră: 1 – buncăr; 2 – cilindru; 3, 5 – sirene; 4 – alimentator; 6 – grătar

### 7.3.3. Uscarea lichidelor

Uscarea lichidelor poate avea loc atât în uscătorile prin contact, cât și în cele seriene.

#### 7.3.3.1. Uscarea în uscătorile prin contact

În uscătorile prin contact se usucă extractele concentrate preliminar. Ca și la vaporizare, din cauza substanțelor termolabile, uscarea se efectuează la temperatură scăzută, care se atinge prin crearea de vid. Calitatea produsului obținut (extract uscat) depinde de temperatura de încălzire. Cu cât este mai mare supraîncălzirea lichidului, cu atât mai mult se descompune produsul. Uscătorile prin contact pot fi cu acțiune continuă și încontinuu. Dintre primele fac parte dulapurile de uscare sub vid (etuvele), celelalte sînt uscătorile cu cilindri (valțuri) prin vid.

**Dulapul de uscare sub vid.** Construcția uscătoriei este arătată în fig. 66. Dulapul este înzestrat din ambele părți cu două uși (3, 7), astfel încărcarea și descărcarea uscătoriei poate fi efectuată o dată din ambele părți. În uși sînt montate ferestruici. Vidul se formează prin ștuț (4) cu ajutorul pompei, condensatorului și colectorului conectat. Deoarece se usucă extracte dense, care conțin puțină apă, poate fi instalat un condensator prin amestec. Încălzirea plitelor (2) se face cu ajutorul aburului, care se alimentează prin țeava superioară (6); condensatul și gazele necondensate sînt scese prin țeava de scurgere (1). O astfel de alimentare a aburului duce la o încălzire neuniformă a plitelor și la o uscare neuniformă. În construcțiile noi aburii se alimentează simultan atât în plitele superioare, cât și în cele inferioare. Corpul dulapului se confecționează din fontă.

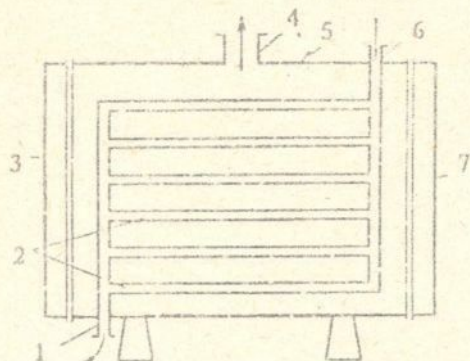


Fig. 66. Dulapul de uscare sub vid

Uscarea în dulapurile de uscare sub vid se face astfel. Preliminar se încălzește du-

lapul gol, fără lichid. În același timp se pregătește materialul, adică se umplu tăvile sau ceștile plate cu lichid de uscat. Ceștile nu trebuie să fie foarte pline. Aceasta preîmpină ridicarea puternică a lichidului și lipirea lui de raftul superior. Trebuie să se menționeze că pentru obținerea unui produs ușor și pufoș, spuma la uscare este necesară. Lichidele dense se țin într-un strat subțire pe fundul ceșcuței, deoarece cu cât este mai subțire stratul, cu atât mai repede are loc uscarea și cu atât mai ușor este produsul uscat. Ceștile unse se introduc repede în dulapul cald și se închid bine ușile. Se conectează pompa cu vid. Uscarea se urmărește prin ferestruici. Dacă ea are loc furtunos, se introduce aer. Temperatura de uscare se menține la 45-46°C, apoi se ridică la 55-60°C. Temperatura talerelor este 90-95°C. Durata uscării - circa 4 ore. Când uscarea se termină, alimentarea cu abur se deconectează și dulapul se răcește. Se închide robinetul conductei de aspirație și se introduce aerul, egalînd astfel presiunea. Apoi se deschid ușile dulapului, se scot ceștile și se descarcă conținutul. Dulapurile de uscare sub vid sînt răspîndite pe larg la uscarea celor mai diverse materiale.

**Uscătorile cu cilindri sub vid.** Reprezintă niște cilindri (valțuri) metalici care se învîrtesc lent și sînt încălziți din interior. Viteza de rotație și temperatura lor se reglează astfel, încît lichidul, fiind uns în strat subțire, s-ar usca înainte ca valțul să facă o rotație deplină. Materialul uscat se curăță de pe cilindri cu o racletă (iăzuitor). Cunoaștem cîteva construcții de uscătorii de acest tip.

**Uscătorie cu un cilindru îmbarcat** (fig. 67, a). Această uscătorie se folosește numai pentru soluții diluate sau extracte.

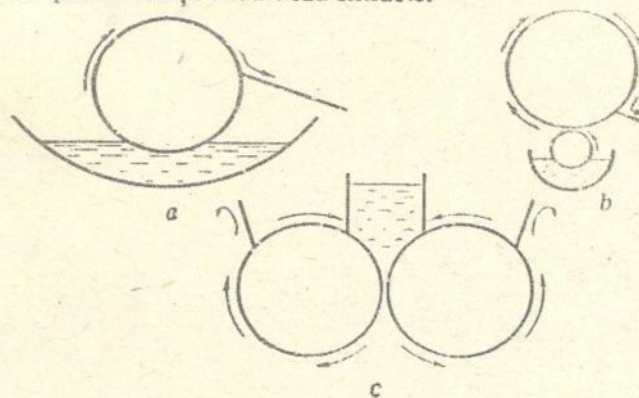


Fig. 67. Tipuri de uscătorii cu cilindri. Lămurire în text

Uscătorie cu un cilindru neîmbarcat (fig. 67, b). Între cilindru și lichid este un cilindru de alimentare, cu ajutorul căruia se reglează grosimea stratului de lichid. În cazul dat se exclude supraîncălzirea. Această uscătorie este mai rațională decât cea precedentă.

Uscătorie cu două valțuri (fig. 67, c; 68). Valțurile se rotesc în direcții opuse. Lichidul se alimentează în spațiul dintre ele. Grosimea stratului se regulează prin distanța dintre cilindri. În interiorul capotei (1) se rotesc doi cilindri (3), încălziți din interior cu vapori, alimentați prin conducta de aburi. Totodată, aburul se alimentează în cămașa capotei, datorită căruia se preîntîmpină răcirea și condensarea aburilor pe suprafața capotei. Condensatul din valțuri și cămașă se scoate prin evacocondensator. Extractul se absoarbe în uscătorie din colector (5) prin conductă cu ajutorul vidului din linie (10). Crusta uscată de extract uscat se curăță cu racleta (4), care se apasă pe cilindri cu ajutorul unui șurub. Extractul uscat se culege în colector (2). Uscarea este urmărită prin ferestruici speciale. Aburii sînt aspirați din uscătorie prin țeava liniei de vid. Mai întîi ei pătrund în desprăfuitor (6), mai apoi sînt îndreptați în condensatorul tubular (7), răcit ca și desprăfuitorul cu apă rece. Din colectorul condensatorului (7) cu ajutorul rotorului (8) pompei sub vid aerian se scoate aerul, care prin oala de siguranță (9) nimereste în pompa pneumatică (10), de unde aerul este aruncat cu pistonul în atmosferă printr-un ștuț. Apa care răcește pompele se alimentează din conducta de apă. Cilindrii de uscare se rotesc în uscătorie cu o viteză de 4-8 turații/min. Astfel, durata uscării se află în limitele 15-75 sec. Productivitatea – 40-50 kg/m<sup>2</sup> pe oră cu condiția, că uscătorie se alimentează cu extract anterior concentrat (30-50%).

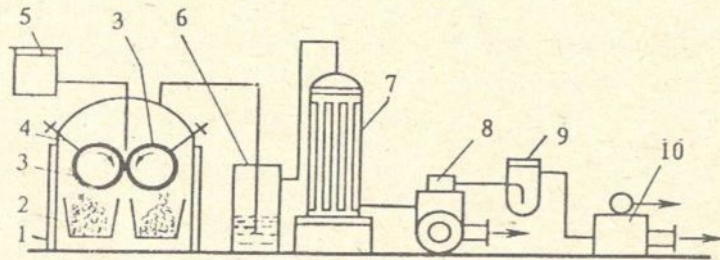


Fig. 68. Schema uscătoriei cu vid cu două valțuri. Lămurire în text

### 7.3.3.2. Uscarea prin atomizare sau nebulizare

Este unul din procedeele preferate pentru uscarea produselor ușor alterabile, cum sînt unele soluții extractive care nu pot fi uscate cu sisteme comune fără a suferi modificări mai mult sau mai puțin profunde.

Acest sistem este bazat pe dispersarea lichidului sub formă de mici picături și o uscare rapidă (pînă la 1-2 secunde) a acestora cu ajutorul unui curent de aer cald. Pulverizarea fină a lichidului are drept scop mărirea suprafeței de contact cu aerul cald care constituie agentul de uscare.

Nebulizarea lichidului este obținută cu diverse sisteme dintre care cele mai importante sînt:

- un disc care se învîrtește cu viteză înaltă – 10 000 – 20 000 turații/min., care transformă produsul lichid dispersat sub forma unui nor fin în pulbere, iar acesta este uscat de un curent de aer cald care circulă de jos în sus;

- un injector prin care este forțat să treacă lichidul cu presiune înaltă de 30-200 atmosfere, iar nebulizatul obținut este uscat de un curent de aer cald.

Pentru industria farmaceutică este mai potrivit uscătorul cu discuri. Construcția unei asemenea uscătorii este prezentată în fig. 69.

Extractul necesar pentru uscat din colector (6) nimereste în camera de uscare (5) pe discul de atomizare (4), care se rotește cu o viteză de 20 000 turații/min. Prin intermediul forței centripete lichidul se aruncă de pe disc cu o

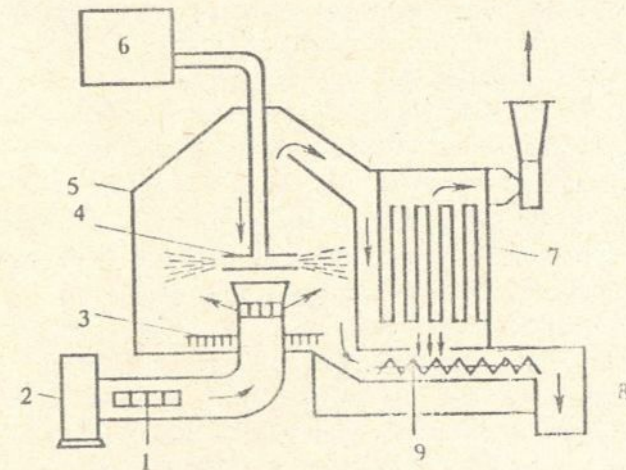


Fig. 69. Schema uscătoriei prin nebulizare cu discuri. Lămurire în text

viteză mare și transformându-se în pulbere fină formează în jurul discului o zonă orizontală de nor. Diametrul picăturilor în cazul dat este de 10-50  $\mu\text{m}$ , astfel suprafața totală la 1 l de lichid transformat în nor fin atinge 600  $\text{m}^2$ . Aerul se adsoarbe în uscătorie cu ajutorul ventilatorului (2). Trecând prin calorifer (1), aerul fierbinte nimereste în cameră mai jos de discul rotitor și se mișcă în sus prin spațiul format de norul de ceață. Din cauza suprafețelor mari are loc o vaporizare extrem de energetică a umidității. Picăturile de lichid timp de 0,01-0,04 secunde se usucă. Temperatura aerului alimentat, de obicei, atinge 150°C. Supraîncălzirea însă nu are loc, deoarece, mai întâi, durata expoziției de uscare este mică, mai apoi, particulele nu pot avea temperatură mare, cât în ele e prezentă apa. Supraîncălzirea se preînfîșină prin aceea că aerul, trecând prin zona de ceață, la rîndul său, se răcește. Produsul uscat prezintă o pulbere fină. Pulberea care cade jos se mătură cu ajutorul periuțelor (3) rotitoare și prin orificiul de pe podea nimereste la șnec (9) și mai departe în colector (8). Însă o mare cantitate de substanță uscată în formă de pulbere fină rămîne suspendată în curentul de abur și gaze. Acest curent nimereste în instalația de filtrare (7), alcătuită dintr-un șir de filtre-saci, care rețin pulberea. Bătătoarele ce lucrează automat scutură pulberea pe șnec, unde se mișcă majoritatea produsului uscat.

Produsul uscat, obținut la uscarea extractelor, deseori este higroscopic și se umezește, transformându-se în mase aglutinante. În legătură cu aceasta, e necesar a face deosebire între uscarea substanțelor umede și cele higroscopice. La substanțele umede toată umiditatea este liberă și deci la mare nevoie poate fi înlăturată complet. Cît privește substanțele higroscopice, ele au proprietatea de a conține o cantitate de umiditate, aflată în stare de echilibru cu aerul umed. Dacă din așa substanță se va înlătura toată umiditatea, atunci, fiind în contact cu aerul, substanța uscată higroscopică va absorbi umiditatea din aer pînă cînd va obține umiditatea "higroscopică". O astfel de trecere a conținutului de umiditate, după care va urma starea umedă, se numește *punct higroscopic*. De aceea, uscînd extractele vegetale, trebuie de știut cît de higroscopic este extractul și care este punctul lui higroscopic. Dacă uscarea are loc mai jos de punctul higroscopic, extractele uscate trebuie colectate în rezervoare închise sau să fie închise etanș în recipiente imediat după uscare.

### 7.3.3.3. Uscarea prin sublimare (liofilizarea)

Schema principală a uscării prin liofilizare cu frigoriger și compresor este prezentată în fig. 70. Camera (1) de uscare este unită cu condensatorul (2), pompa de vid (3), frigorigerul (4) și pompa (5) pentru circulația saramurii. Pentru înlăturarea continuă a gheții formate în frigoriger se montează două condensatoare, care lucrează și se dezgheață pe rînd.

Produsele uscate, ce se obțin în urma sublimării, păstrează complet calitatea lor (culoarea, mirosul, solubilitatea, proprietățile alimentare etc.) și pot fi conservate timp îndelungat. În prezent astfel se usucă preparatele medicamentoase, sensibile la temperaturi înalte care pierd spontan proprietățile lor calitative la uscarea termică (antibioticele, plasma sanguină, fermenții, preparatele bacteriene etc.).

Liofilizarea se bazează pe evaporarea directă a umidității care se solidifică prin răcire fără ca produsul să treacă prin faza lichidă. Uscarea are loc la trecerea umidității (apa) din stare solidă direct în abur. Prin sublimare se înlătură 98-99% de apă. Înghețînd produsul, materialul se fixează în formă de "schelet", care păstrează volumul spațiului și după uscare; preparatele se transferă în aerogel (masă poroasă). În timpul uscării substanța se află timp îndelungat la temperatură joasă de circa -20 -30°C. La asemenea temperatură reacțiile chimice se opresc sau nu au loc defel. Spre sfîrșit, temperatura de obicei se ridică pînă la +30 - 50°C, însă reacțiile chimice în cazul dat nu au loc din cauza cantității mici de umiditate.

Uscarea materialelor biologice prin liofilizare are loc la presiunea aerului  $10^{-1}$ - $10^{-3}$  mm Hg, cînd concentrația oxigenului este de zeci de mii de ori mai

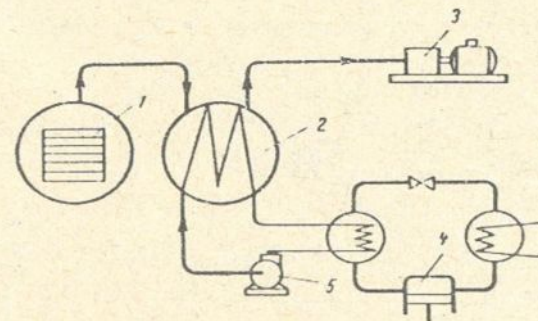


Fig. 70. Schema uscătoriei prin liofilizare (sublimare). Lămurire în text

mică decât la presiunea atmosferică. În condițiile date viteza proceselor de oxidare în materialul uscat se micșorează considerabil.

Datorită particularităților descrise mai sus, la uscarea prin sublimare se creează condiții prielnice de păstrare a proprietăților specifice ale celor mai sensibile la căldură preparate biologice și organisme simple vii.

Evaporînd apa, numărul maximal al fazelor, aflate concomitent în echilibru, nu poate fi mai mare de 3 (fazele solidă – gheața, lichidă – apa și gazoasă – aburul). Numărul de faze, care pot exista concomitent în echilibru, depinde de temperatură și presiune.

Temperatura și presiunea prezintă variabilități de sine stătătoare, care caracterizează starea sistemului. Existența concomitentă (simultană) în echilibru a gheții, apei și a aburului poate fi numai în așa-numitul punct *triplu* aflat la presiunea de  $610,048 \text{ N/m}^2$  și temperatura de  $0,0075^\circ\text{C}$ . Funcția stării de temperatură și presiune este prezentată în fig. 71.

Liniile OA, OB și OC împart diagrama în trei cîmpuri, fiecare corespunzînd la o fază concretă. În limitele temperaturii și presiunii, mărginite de liniile OC și OA, apa se va afla numai în faza lichidă, între liniile OB și OA – numai în formă de abur, iar între OB și OC – numai în stare solidă. Fiecare din cele trei cîmpuri ale diagramei corespunde la o stare stabilă a uneia dintre cele trei forme ale apei. La temperaturi și presiuni, care corespund exact liniilor

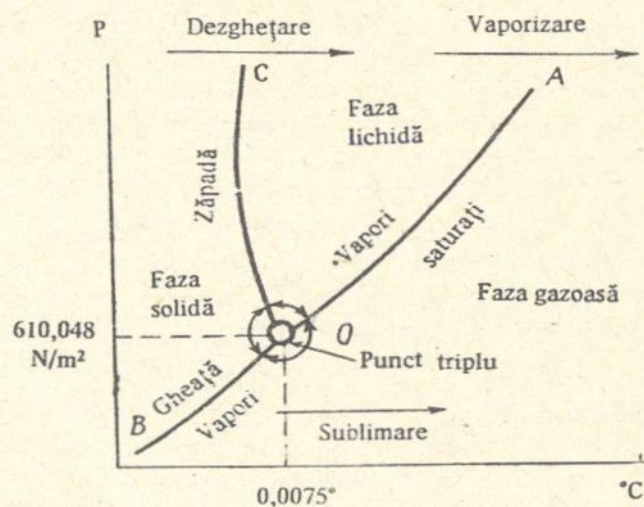


Fig. 71. Diagrama fazelor stării apei. Lămurire în text!

de separare, vor fi în echilibru deja două faze. Astfel pe linia OA în echilibru va fi apa și aburul. Linia OB pe diagramă prezintă curba sublimării.

La temperaturile și presiunile care corespund acestei curbe gheața și aburul se vor afla în echilibru între ele. Frontiera de sus a sublimării se află la temperatura de  $0^\circ\text{C}$  și presiunea de  $610,048 \text{ N/m}^2$ . Limita de jos a sublimării teoretic se determină prin zero absolut. În condiții practice de sublimare diapazonul de temperaturi și presiune este limitat.

Mărimile cantitative reprezentate mai sus de existența fazelor fac parte din sistemul alcătuit dintr-un singur component – apa. Uscînd material biologic, sistemul este mai complex, deoarece este alcătuit din soluții apoase ale unui șir de substanțe organice și anorganice. În aceste cazuri existența în echilibru a sistemului dintre gheață–abur ori soluție–abur va fi limitată de alte mărimi de temperaturi și presiune, deoarece punctul de îngheț al soluțiilor este mai jos decât al apei curate, iar punctul de fierbere corespunzător – mai jos. Însă caracterul legitim, de obicei, rămîne același, schimbîndu-se puțin numai mărimile absolute de trecere a punctelor soluțiilor.

#### 7.3.3.4. Uscarea ultrasonoră

Procedeul deshidratării lichidelor cu ajutorul ultrasunetului, în principiu, nu se deosebește cu nimic de schema tehnologică de obținere a aerosolilor (sisteme de dispersie de tip lichid/gaz). Utilajele folosite pentru a emite sunete pot fi afit pneumatice, cît și magnitostriecte. Uscarea ultrasonoră a lichidelor depinde de proprietățile fizico-chimice (vîscozitatea, tensiunea vaporilor, tensiunea superficială) care caracterizează indicii sistemelor emițătoare, proprietățile fizice ale parametrilor mediului gazos. Intensificarea schimbului de căldură în aceste aparate este mare. Bunăoară, viteza de evaporare a metanolului și acetonei crește de 8-20 ori. Omogenitatea picăturilor obținute se atinge la frecvența de 20-50 kHz și mărimea lor de la 50 pînă la  $1 \mu\text{m}$ . Aerosolul obținut în condiții speciale se usucă momentan.

#### 7.3.3.5. Deshidratarea cu ajutorul substanțelor deshidratante

Dintre substanțele deshidratante fac parte calciul clorid, natriul sulfat, varul, acidul sulfuric concentrat etc. Deși această metodă de uscarea