

QIDA MƏHSULLARI TEXNOLOGİYALARININ
PROSESLƏRİ VƏ APARATLARI

Q.B.MƏMMƏDOV

Q.B.MƏMMƏDOV



QIDA MƏHSULLARI
TEXNOLOGİYALARININ
PROSESLƏRİ VƏ APARATLARI

Q.B.MƏMMƏDOV

**QIDA MƏHSULLARI TEXNOLOGİYALARININ
PROSESLƏRİ VƏ APARATLARI**

Q.B.MƏMMƏDOV

**QIDA MƏHSULLARI TEXNOLOGİYALARININ
PROSESLƏRİ VƏ APARATLARI**

(dərslük)

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 21 fevral
2014-cü il tarixli 222 sayılı əmri ilə qrif verilmişdir.

GİRİŞ

Ərzaq təhlükəsizliyi iqtisadiyyatın elə bir səviyyəsini özündə əks etdirir ki, mövcud imkanlar hesabına əhalinin fəal və sağlam həyat tərzi keçirməsini təmin etmək üçün zəruri miqdarda ərzaq məhsullarına olan tələbatını ödəmək mümkün olsun. Ərzaq təhlükəsizliyi ilk növbədə hər bir ölkənin milli ərzaq müstəqilliyinə əsaslanır. Ölkənin ərzaq təhlükəsizliyinin təmin olunması – makroiqtisadi, təbii və texnogen, texnoloji, aqroekoloji, sosial, ticarət-iqtisadi, siyasi risklərlə bağlıdır. Kənd təsərrüfatı məhsulları, xammal və ərzaq istehsalı sahəsində mövcud imkanlar əkinə yararlı istifadəsiz torpaqların bərpasına, heyvandarlığın, məhsuldarlığın yüksəldilməsinə və yem bazasının inkişafına, dövlət dəstəyi isə bazarın tənzimlənməsinin səmərəliliyinə, kənddə sosial proqramların həyata keçirilməsinə və maliyyə təminatının artırılmasına yönəldilməlidir. Qida məhsullarının təhlükəsizliyinin təminatında bütün mərhələlər üzrə - istehsal, saxlanılma, nəql olunma, emal, realizə və idxal əməliyyatları daxil olunmaqla texniki reqlamentin tələblərinə uyğun tədbirlər görülməlidir.

Dünya ərzaq və kənd təsərrüfatı təşkilatının (FAO) məlumatına görə 1950-1985-ci illərdə ərzaq istehsalının illik artımı 30 milyon ton, 1985-1995-ci illərdə 12 milyon ton təşkil edirdisə, proqnozlara görə 2030-cu ilədək bu göstərici cəmi 9 milyon ton səviyyəsində olacaqdır. Dünya əhalisinin illik artımının 80 milyon nəfər olmasını da bura əlavə etsək qeyri-mütənasiblik aydın nəzərə çarpır. Yer kürəsində 2 milyarddan çox insan qeyri-normal qidalanma ucbatından mikronutritlər çatışmazlığından əziyyət çəkir.

Müasir dövrdə insanın qida rasionunda qida maddələrinin və bioloji fəal komponentlərin çatışmazlığı orqanizmin xarici və daxili mühitin əlverişsiz amillərinə davamlılığını zəiflətməmiş olur.

Müasir funksional qida məhsullarını şərti olaraq 2 qrupa bölmək olar: Bitki və heyvan mənşəli xammal və məhsullar əsasında alınan funksional qida məhsulları. Lakin heyvandarlıq məhsullarının xüsusi çəkisinin nisbətən az olmasını və ölkəmizin rəngarəng bitki örtüyünə malik olmasını nəzərə alaraq, həmin məhsulların

bitki xammalı əsasında istehsalının təşkili daha məqsədəuyğun olardı.

Dünya bazarının təhlili əsasında funksional məqsədli məhsulların üç əsas sahəsi fərqləndirilir ki, bunların da istehsalda payı eyni deyildir: funksional çörək-kökə məmulatları və qəlyanaltılar (18%), süd məhsulları (23%) və funksional içkilər (59%).

Müasir funksional qida məhsulları innovasiya işləmələri prosesində alınan və əsasən xaricdən gətirilən məhsullardır. Dünya bazarında innovasiya məhsullarının payı 25-30% təşkil edir. Yaxın gələcəkdə innovasiya texnologiyaları ilə işləyən müəssisələrin payı 40-50%-ə çatmalıdır ki, qlobal rəqabət şəraitində müvəffəqiyyətlə işləmək olsun. Ölkəmizdə bu sahənin inkişafı üçün təbii şərait və zəngin bitki ehtiyatları vardır. Bu ehtiyatlardan yararlanaraq geniş çeşiddə qida məhsulları, o cümlədən çörək-kökə məmulatları və içkilər hazırlamaq mümkündür.

Qida insan orqanizmini xarici mühitlə əlaqələndirən ən mühüm amildir. Ərzaq xammalının və qida məhsullarının təhlükəsizliyinin təmin edilməsi əhalinin sağlamlığını müəyyən edən və genofondunu qoruyan əsas şərtlərdəndir.

Qida problemi bəşəriyyətin qarşısında duran əsas və ən vacib problemlərdən biridir. Oksigendən başqa hər şeyi insan qida vasitəsilə alır. Qida istehsalı sənayesi qarşısında duran əsas məsələlərdən biri də insanları ekoloji təmiz və təhlükəsiz emal edilmiş məhsullarla təmin etməkdir. Bu məsələlərin həllində ən önəmlisi proseslərin intensivləşdirilməsi, yeni nəsil avadanlıqların konstruksiyasının yaradılması, elm və texnikanın nailiyyətlərindən istifadə etməklə itkisiz istehsal təşkil etməkdir.

Bunun üçün ərzaq təminatı sisteminin institusional inkişafı diqqət mərkəzində saxlanılmaqla, aqrar bölmənin elmi və kadr potensialı gücləndirilməli və sahibkarlığın inkişafı üçün qabaqcıl model və innovasiya texnologiyalarının tətbiqi genişləndirilməlidir.

Qida sənayesində elmi-texniki tərəqqinin müvəffəqiyyətlə həyata keçirilməsi üçün onun əsas istiqamətlərindən kompleks istifadə edilməsi vacibdir. Bu istiqamətlər arasında istehsal prosesləri

nin mexanikləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması, qida məhsullarının istehsalında yeni sənaye metodlarının tətbiqi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xammalların emalı və qida məhsullarının istehsalı üçün təyin edilmiş yeni növ avadanlıqların, mütərəqqi texnologiyaların işlənilib hazırlanması və tətbiqi bilavasitə aparatlarda bas verən fiziki – kimyəvi proseslərin qanunauyğunluqlarının tədqiqi ilə sıx bağlıdır. Bu tədqiqatların aparılmasında “Qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları” kursu böyük rol oynayır. Bununla yanaşı müasir qida sənayesi bir çox müxtəlif texnoloji prosesləri əhatə edir ki, bunlar emal edilən xammalın və ondan alınan məhsulların xassəsinə və bu proseslərin həyata keçirilmə üsullarına görə bir – birindən fərqlənir. Bu cəhətdən qida sənayesinin emal müəssisələrindəki müxtəlif qurğuların texnoloji sxemləri də çox müxtəlifdir. Bunların əsaslandırılmasına aid məlumatları qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları kurslarında tapmaq olar. Bunun üçün əvvəlcə qida məhsullarının emalı texnologiyalarında prosesləri, sonra isə həmin prosesləri və emal texnologiyalarını yerinə yetirən aparat və qurğuları bilmək lazımdır.

Qarşılıqlı təsir edən cisimlərin birləşməsi sistem adlanır. Hər hansı bir sistemin halının dəyişməsi, onun arasıkəsilməz hərəkəti və inkişafı prosesi adlanır.

Texnologiya - texnoloji prosesləri yerinə yetirmək üçün fizika, kimya, biologiya və digər bazis elmlərinin qanunlarının tətbiqi tətbiqi haqqında elmdir. Bu elm XVIII əsrin sonunda yaradılmışdır. Şərti olaraq texnologiya mexaniki və kimya texnologiyasına bölünür.

Mexaniki texnologiya emal edilən materialların yalnız fiziki xassələrinin və ya formasının dəyişməsi proseslərini öyrənir.

Kimya texnologiyası müxtəlif enerji təsiri nəticəsində materialların kimyəvi çevrilməsi proseslərini öyrənir.

Qida istehsalının prosesləri ümumi (əsas) və spesifik proseslərə bölünür. Qeyd etmək lazımdır ki, qida və kimya texnologiyasının prosesləri və aparatları fənnləri arasında elə də prinsiplial fərqlər yoxdur, yəni eyni qanunlardan və eyni hesabat metodlarından istifadə olunur.

Qida istehsalının prosesləri mürəkkəb olmaqla yanaşı hidromexaniki, istilik, kütlədəyişmə, biokimyəvi və mexaniki proseslərin uzlaşmasıdır.

İstehsal prosesi (latınca processus- irəli hərəkət) müəyyən nəticəni əldə etmək üçün ardıcıl təsirlərin birləşməsidir.

Texnologiya - verilmiş xammaldan əvvəlcədən müəyyənləşdirilmiş özünəməxsus xassəli məhsulun alınmasına yönəldilən bir sıra əməliyyatlardır. Texnologiyanın elm kimi vəzifəsi sərfəli və qənaətcil istehsal proseslərinin təcrübədə istifadəsi məqsədi ilə fiziki, kimyəvi, mexaniki və digər qanunauyğunluqların üzə çıxarılmasından ibarətdir.

Texnoloji aparat (latınca apparatus- avadanlıq)- texnoloji proseslərin aparılması üçün avadanlıqlar, ləvazimatlar və qurğulardır.

Maşın - materialların və enerjinin ilkin vəziyyətinin dəyişməsi məqsədi ilə mexaniki hərəkəti yerinə yetirən qurğudur. Texnoloji maşınlar emal edilən materialın formasını, xassələrini və vəzifəsini dəyişir. Belə ki, maşınlarda məhsula edilən mexaniki təsir nəticəsində onun həndəsi və fiziki-mexaniki göstəriciləri dəyişir.

Aparatlarda istilik və kütlədəyişmə, fiziki-kimyəvi, biokimyəvi və s. proseslər yerinə yetirilir. Bu proseslər nəticəsində emal olunan məhsulun fiziki və kimyəvi xassələri və aqreqat halı dəyişir.

Qida istehsalının əsas prosesləri onların gedişinin qanunauyğunluqlarından asılı olaraq beş əsas qrupa ayrılır: hidromexaniki, istilikdəyişmə, kütlədəyişmə, mexaniki, biokimyəvi.

Hidromexaniki proseslər- sürəti mexanika və hidromexanika qanunları ilə təyin olunan proseslərdir. Bunlara maye və qazların borularda və aparatlarda hərəkəti, mayələrin qarışdırılması, süspenziya və emulsiyaların çökdürülməsi, filtrlənməsi və sentrifüqalama ilə ayrılma prosesləri daxildir. Bu proseslərin hərəkətverici qüvvəsi hidrostatiki və hidrodinamiki təzyiqlərdir.

İstilikdəyişmə - istiliyin yüksək qızdırılmış cisimlərdən (və ya mühitlərdən) aşağı temperaturlu cisimlərə keçməsi ilə əlaqədar proseslərdir. Bura qızdırma, pasterizasiya, sterilizasiya, soyutma, kondensasiya, buxarlanma və s. aiddir. İstilikdəyişmə prosesləri-

nin sürəti, istilikötürmə qanunları və bu proseslərin hərəkət qüvvəsi iki mühit arasındakı temperaturlar fərqi ilə təyin edilir.

Kütlədəyişmə isə müxtəlif aqreqat halında olan maddənin bir fazadan digər fazaya keçməsi ilə əlaqələnən proseslərdir. Bunlara absorbsiya, desorbsiya, qovma, rektifikasiya, adsorbsiya, ekstraksiya, qarışma, kristallaşma, nəmləndirmə, qurutma, sublimasiya və s. aiddir. Kütlədəyişmə proseslərinin sürəti kütlədəyişmə qanunları ilə və bu proseslərin hərəkət qüvvəsi isə müxtəlif fazalarda olan maddələrin konsentrasiyalarının fərqi ilə təyin edilir.

Mexaniki proseslər - materiallara mexaniki təsir edən proseslərdir. Bura xırdalama, klassifikasiya (fraksiyalara ayırma), presləmə və s. aiddir. Bu proseslərin hərəkət qüvvəsi mexaniki təsir və mərkəzdənqaçma qüvvələridir.

Kimyəvi və biokimyəvi proseslər- məhsulun ilkin xassələrinin və kimyəvi tərkibinin dəyişməsi ilə bağlı proseslərdir. Onların gediş sürəti kimyəvi kinetika qanunları ilə təyin edilir.

1. Qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları elminin yaranması və inkişafı

Qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları elmi XIX əsrin sonlarında yaranmağa başlamışdır. Bu elmin əsasını 1897-ci ildə D.İ.Mendeleyev qoymuşdur. Belə ki, "Fabrik – zavod sənayesinin əsasları" kitabında, o, ilk dəfə kimya texnologiyasının əsas proseslərinin təsnifatını çox dəqiqliklə formalaşdırmış və fasiləsiz proseslərin inkişafına xüsusi fikir yönəltdirmişdir. Onun irəli sürdüyü ideyalar A.K.Krupski, İ.A.Tişenko və başqa alimlər tərəfindən inkişaf etdirilmişdir.

1913-cü ildə ilk dəfə professor İ.A.Tişenkonun "Kimya texnologiyasının əsas prosesləri və aparatları" adlı kitabı dərc olunmuşdur. Kiyev Politeknik İnstitutunun professoru A.A.Kirov 1923-cü ildə "Kimya texnologiyasının aparaturası və əsas prosesləri" kursunu nəşr etdi. A.A.Kirov spirt sənayesində qovma nəzəriyyəsi sahəsində bir çox işlər görmüşdür. "Proseslər və aparatlar" kursunun inkişafında konkret olaraq professorlardan M.A.Kiçiqin və Q.N.Kostenko buxarlandırıcıların və istilikdəyişmə qurğularının

hesabatı sahəsində, akademik A.V.Lıkov və professor A.S.Qinsburq qurutma sahəsində, Q.M.Znamenski filtrləmə və sentrifugalama sahəsində, P.M.Silin ekstraksiya sahəsində, V.D.Popov kristallaşdırma sahəsində mühüm rol oynamışlar. Bunlarla yanaşı "Proseslər və aparatlar" elminin inkişafında Riçardson və Kulson (İngiltərə), İliyev (Bolqariya), Bendeq, Laslo (Macarıstan), Tsiborovski və Zülkovski (Polşa), Lyunis, Uoker, Badjer, Şervud, Djililend (ABŞ), Şteydl (Çexiya) və başqaları mühüm rol oynamışlar.

Kimya texnologiyasının müxtəlif sahələrində tətbiq edilən proseslərin nəzəri əsasları ölkəmizin görkəmli elm xadimləri, akademiklər Y.H.Məmmədəliyev, H.B.Sahtaxinski, A.M.Əliyev, A.X.Mirzəcanzadə, T.M.Nağıyev, M.İ.Rüstəmov tərəfindən öyrənilmiş və müvafiq aparatların hesablanması üsulları müəyyənləşdirilmişdir.

Qida məhsullarının, xüsusilə şərab məhsullarının emalı texnologiyasında Ə.Ə.Nəbiyev, H.K.Fətəliyev, T.M.Pənahov və V.Ş.Mikayılov, qida məhsullarının xırdalanması proseslərinin mexanikləşdirilməsində tətbiq olunan aparatların işinin səmərəliliyinin yüksəldilməsində X.S.Mustafayev və digərləri bir çox elmi-tədqiqat işləri apararaq bu sahənin daha da inkişaf etdirilməsində müsbət rol oynamışlar.

2. Qida məhsulları texnologiyalarının prosesləri və aparatları elminin əsasları

Qida istehsalında texnoloji proseslər ümumi fizika, kimya və fiziki-kimyəvi qanunlara uyğun yerinə yetirilir. Bu qanunlardan bu və ya digər formada prosesdə istifadə edilməsi prosesin nəzəriyyəsinə yaratmağa imkan verir.

Kimya texnologiyası proseslərinə konkret tətbiq edilən 5 əsas qanun və prinsipləri qeyd etmək olar: 1) kütlə və enerjinin saxlanması qanunları; 2) sistemin tarazlıq qanunları; 3) kütlə və enerjinin daşınması qanunları və hərəkət qüvvəsi prinsipi; 4) prosesin aparılmasının optimallaşdırılma prinsipi; 5) miqyas keçidi və modelləşdirmə prinsipi.

I HİSSƏ. ÜMUMİ QANUNLAR



Qida sənayesində xammalı emal etdikdə müxtəlif aqrekat hallarında hazır məhsul alınır: bərk, maye, buxar və qaz halında. Buna görə də prosesləri və aparatları hesablamaq üçün qıda məhsullarının və xammalın xassələrini bilmək zəruridir.

FƏSİL 1

1.1. Qida məhsullarının və xammalın əsas xassələri

Qida məhsullarının bir çoxu yekcins və ya müxtəlifcinsli məhlullardır.

Yekcins məhlullara qarışıqlar: məsələn, şəkər qarışığı, su-spirət qarışığı, şirələr və s. aiddir. Yekcins məhlullar qarışan maddənin konsentrasiyası ilə xarakterizə olunur.

Müxtəlifcinsli məhlullara bərk maddələrin mayelərlə qarışığı və bir-birində qarışmayan müxtəlif mayələrin məhlulları aiddir. Müxtəlifcinsli məhlulları xarakterizə etmək üçün həcm və ya kütlə payları anlayışından istifadə olunur (məsələn, mayədə bərk maddənin payı).

Maddələrin xassələrini fiziki (sıxlıq, xüsusi çəki, özlülük, səthi gərilmə və s.) və istilik-fiziki (xüsusi istilik tutumu, istilikkeçirmə, temperaturkeçirmə və s.) xassələrə ayırmaq olar.

Maddələrin əsas xassələrini nəzərdən keçirək.

Sıxlıq ρ - cismin (maddənin) kütləsinin M onun həcminə V nisbətidir, $\rho = \frac{M}{V}$, ölçü vahidi kg/m^3 , t/m^3 , qr/sm^3 -dur.

Sıxlıq xüsusi həcmə V_x , yəni vahid kütləni tutan həcmə tərs mütənasibdir, $\rho = \frac{1}{V_x}$, $V_x = \frac{V}{M}$.

Məhlulun sıxlığı onun konsentrasiyasından C asılıdır.

İki maddənin sıxlıqlarının nisbəti nisbi sıxlıq adlanır. Adətən nisbi sıxlıq distillə olunmuş suyun sıxlığına nisbəti ilə təyin

olunur: $\rho_n = \frac{\rho}{\rho_{su}}$, burada ρ - maddənin sıxlığı, ρ_{su} - suyun sıxlığıdır.

Suspenziyanın sıxlığı ρ_s (kq/m³) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\rho_s = \rho_b \varphi + \rho_m (1 - \varphi), \quad (1.1)$$

burada ρ_b - suspenziyada bərk hissəciklərin sıxlığı, kq/m³;

φ - suspenziyada bərk fazanın payı;

ρ_m - mayenin sıxlığıdır, kq/m³.

20°C temperaturda şəkər siroplarının, meyvə şirələrinin, şə-
kərli südün sıxlığını aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\rho_{20} = 10[1,42x + (100 - x)], \quad (1.2)$$

burada x - quru maddələrin konsentrasiyasıdır, %.

Digər temperaturalarda

$$\rho_t = \rho_{20} - 0,5(t - 20), \quad (1.3)$$

burada t - məhsulun temperaturudur, °C.

Səpələnən məhsulları (dəni, şəkər tozunu və s.) xarakterizə
etmək üçün tökmə sıxlığı anlayışı qəbul edilir:

$$\rho_{tök} = (1 - \varepsilon)\rho_b, \quad (1.4)$$

burada $\rho_{tök}$ - səpələnən məhsulun tökmə sıxlığı, kq/m³;

ε - səpələnən məhsulun məsaməliliyi,

$$\varepsilon = \frac{V_{boş}}{V_{tök}}, \quad (1.5)$$

$V_{boş}$ - sərbəst tökülən materialın boşluqlarının həcmi, m³;

$V_{tök}$ - sərbəst tökülən materialın həcmi, m³;

ρ_b - materialın hissəciklərinin həqiqi sıxlığıdır, kq/m³.

Sərbəst səpələnən materiallar üçün $\varepsilon = 0,38 \dots 0,42$ olur.

Qazların həcmi (kq/m³) Klayperon tənliyi ilə hesablanır:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0 p}{T p_0} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{272 p}{T p_0}, \quad (1.6)$$

burada $\rho_0 = M/22,4$ - qazın normal şəraitdə ($T_0 = 273K$; $R_0 = 1013$ kPa) sıxlığı, kg/m^3 ;

T - mütləq temperatur, K;

M - qazın molyar kütləsidir, kg/mol .

Qaz qarışıqlarının sıxlığı

$$\rho_q = n_1 \rho_1 + n_2 \rho_2 + n_3 \rho_3 + \dots, \quad (1.7)$$

burada n_1, n_2, n_3 - qaz qarışığında komponentlərin həcm payı;
 ρ_1, ρ_2, ρ_3 - müvafiq olaraq komponentlərin sıxlığıdır.

Xüsusi çəki γ – cismin (maddənin) kütləsinin onun həcminə nisbətidir. Sıxlıqdan fərqli olaraq xüsusi çəki maddənin fiziki-kimyəvi xassələrinə aid deyildir. Xüsusi çəki ilə sıxlıq arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur:

$$\gamma = \rho g, \quad (1.8)$$

burada g - sərbəstdüşmə təcildir, $9,81 \text{ m/san}^2$.

Özlülük – qaz və mayələrin axınını yaradan xarici qüvvələrin təsirinə müqavimət göstərmə xassəsidir.

İ.Nyutonun hipotezasına əsasən paralel şırnaqlı (laminar) axında özlülük qonşu layların biri-birinə nisbətən hərəkəti zamanı yaranan əks təsir kimi özünü göstərir. Bu əks təsir daxili sürtünmə gərginliyi və ya toxunma gərginliyi ilə xarakterizə edilir:

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dl}, \quad (1.9)$$

burada τ - yerdəyişmə gərginliyidir; dv/dl - sürət qradientidir; (dv - layın səthinə perpendikulyar istiqamətdə dl məsafəsi qədər uzaqlaşmasında axın sürətinin dəyişməsidir).

Yerdəyişmə gərginliyinin "mənfi" işarəsi nisbətən yüksək sürətlə hərəkət edən layı ləngidir.

Bu tənlik Nyutonun daxili sürtünmə qanununu ifadə edir.

Dinamiki özlülük μ – laminar axına müqaviməti xarakterizə edir. Dinamiki özlülük μ (Pa·san) aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\mu = \frac{p}{F} \cdot \frac{dl}{dv}, \quad (1.10)$$

burada p - xaricdən təsir göstərən qüvvə, N;

F - qüvvənin təsir sahəsi, m^2 (p/F - yerdəyişmə təzyiqi, Pa);

l - laylararası məsafə, m;

v - yerdəyişmə sürətidir, m/san.

Dinamiki özlülük temperaturdan asılıdır. 20°C-də suyun dinamik özlülüğü

$$\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{san}.$$

Kinematik özlülük (və ya kinematik özlülük əmsalı)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ m}^2/\text{san}. \quad (1.11)$$

Bərk hissəciklərin ölçülərindən asılı olmayaraq bərk fazanın həcm payı φ 10%-dən çox olmadıqda suspenziyaların özlülüğü aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\mu_s = \mu_m(1 + 2,5\varphi) \quad (1.12)$$

$\varphi > 10\%$ olduqda

$$\mu_s = \mu_m(1 + 4,5\varphi). \quad (1.13)$$

Şirələrin, siropların, qatılaşıdırılmış və adi südün t temperaturunda dinamik özlülüğü aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\mu_t = \frac{12,9\mu}{t^{0,85}}, \quad (1.14)$$

burada μ - 20°C-də özlülük, süd üçün $\mu = 0,7 \exp(0,06 + 0,08x)$;
 x - quru maddələrin konsentrasiyasıdır.

Bitki yağının dinamik özlülüğü

$$\mu_t = 0,175[10\exp(0,31 + 0,026t)], \quad (1.15)$$

tomat məhsullarında

$$\mu_t = 0,0199x^{2,94}t^{-1,17}. \quad (1.16)$$

Qaz qarışıqlarının dinamik i özlülüyü

$$\frac{M_q}{\mu_q} = \frac{m_1 M_1}{\mu_1} + \frac{m_2 M_2}{\mu_2} + \dots, \quad (1.17)$$

burada M_q, M_1, M_2, \dots - qaz qarışığı və onun ayrı-ayrı komponentlərinin molekulyar kütləsidir;

$\mu_q, \mu_1, \mu_2, \dots$ - qaz qarışığı və onun ayrı-ayrı komponentlərinin dinamik i özlülüyüdür;

m_1, m_2, \dots - qaz qarışığında komponentlərin həcm payıdır.

Digər temperaturlarda qazların dinamik i özlülüyü

$$\mu_t = \mu_0 \frac{273 + S}{T + S} \left(\frac{T}{273} \right)^{1,5}, \quad (1.18)$$

burada $\mu_0 - 273^0 \text{K}$ -də dinamik i özlülük;

S - Saterlend əmsalı (azot üçün $S=114$, oksigen üçün $S=131$, hava üçün $S=124$);

T - qazın temperaturudur, K.

Səthi gərilmə σ - sabit temperaturda fazaların ayrılma səthini vahid sahəyə çatdırmaq üçün sərf olunan iş bərabərdir. Xarici təsirlər olmadıqda səthi gərilmə hesabına maye damlası şar formasını alır.

Səthi gərilmə temperaturdan asılıdır. Belə ki, temperatur artıqda səthi gərilmə azalır. Bəzi mayələrin səthi gərilmə qiymətləri cədvəl 1.1-də verilir.

İstilik tutumu – maddəyə verilən istilik miqdarının temperatur dəyişməsinə nisbətidir.

Maddənin vahid miqdarının istilik tutumu – xüsusi istilik tutumu adlanır.

Mayelərin səthi gərilməsi

Maye	Temperatur, °C	Səthi gərilmə, $\sigma \cdot 10^3$, N/m
Su	0	75,6
	20	72,8
Zeytun yağı	20	32,0
Etil spirti	20	24,1
Metil spirti	20	22,6
Sirkə turşusu	20	27,8

Praktikada ən çox izobar C_p və izoxor C_v istilik tutumundan istifadə olunur. İzobar və izoxor xüsusi istilik tutumları Mayer tənliyi ilə əlaqəlidir:

$$C_p - C_v = R, \quad (1.19)$$

burada R - universal qaz sabitidir, Coul/(kq·K).

Vahid maddənin kütləsinin temperaturunu bir dərəcə artırmaq üçün tələb olunan istilik miqdarı kütləvi xüsusi istilik tutumu adlanır.

Maye və qazların istilik tutumu temperaturdan asılı olub, onun qalxması ilə artır.

Mayelərdə xüsusi istilik tutumları 0,8...4,19 kCoul/(kq·K), qazlarda 0,5...2,2 və bərk maddələrdə 0,13...1,8 kCoul/(kq·K) aralığında dəyişir.

Müxtəlif cinsli sistemlərin istilik tutumu aşağıdakı tənliklə təyin olunur:

$$C_p = C_a \varphi_a + C_b \varphi_b + C_c \varphi_c + \dots, \quad (1.20)$$

burada C_a , C_b , C_c - komponentlərin kütləvi xüsusi istilik tutumları;

φ_a , φ_b , φ_c - qarışıqda müvafiq maddələrin kütlə payı.

Tomat məhsullarının xüsusi istilik tutumu

$$C = 4228,7 - 20,9x - 10,88t. \quad (1.21)$$

Bitki mənşəli xammal üçün

$$C = C_c(1 - 0,01w) + 41,87w, \quad (1.22)$$

burada C_c - quru maddələrin xüsusi istilik tutumu;

w - nəmlikdir, %.

Saxarozanın xüsusi istilik tutumu

$$C = 4190 - 0,01x \cdot 2510 - 7,54t + 4,61(100 - D_k), \quad (1.23)$$

burada x - quru maddələrin konsentrasiyası;

D_k - məhsulun keyfiyyətliliyidir, %.

Xəmir üçün

$$C = 1675(1 + 0,015w); \quad (1.24)$$

Dən üçün

$$C = 1550 + 26,4w. \quad (1.25)$$

İstilikkeçirmə–çox qızdırılmış cisimlərdən az qızdırılmış cisimlərə istilik enerjisinin ötürülməsidir.

Bərk materiallarda, mayelərdə və qazlarda istilikkeçirmə intensivliyi istilikkeçirmə λ əmsalı ilə xarakterizə olunur. Temperatur qradienti 1-ə bərabər olduqda istilikkeçirmə nəticəsində λ istilik axınının sıxlığına bərabər olur. Onun ədədi qiyməti temperaturdan, təzyiqdən və maddənin növündən asılıdır.

Mayenin istilikkeçirmə əmsalı 30°C temperaturda aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$\lambda_{30} = A_1 c \rho \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{M}}, \quad (1.26)$$

burada A_1 - mayələrin assosiasiya dərəcəsiindən asılı olan əmsal;

c - mayenin xüsusi istilik tutumu, Coul/(kq·K);

ρ - mayenin sıxlığı, kq/m³;

M - molekulyar kütlədir.

Mayenin istilikkeçirmə əmsalı t temperaturunda

$$\lambda_t = \lambda_{30} [1 - \varepsilon(t - 30)], \quad (1.27)$$

burada ε - temperatur əmsalı, (10^3°C^{-1}), metil spirti və sirkə turşusu üçün $\varepsilon=1,2$; propil və etil spirtləri üçün $\varepsilon=1,4$.

Meyvə şirələrinin, siropların, şəkərli südün istilikkeçirməsi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\lambda_t = \lambda_{20} + 0,00068(t - 20), \quad (1.28)$$

20°C-də

$$\lambda_{20} = 0,593 - 0,025x^{0,53}, \quad (1.29)$$

burada x - quru maddələrin konsentrasiyasıdır.

1.2. Qida texnologiyasının əsas proseslərinin kinetik asılılıqları

Kinetika – proseslərin, o cümlədən hidrodinamiki, istilik və kütlədəyişmə proseslərinin sürət və mexanizmləri haqqında elmdir. Mexaniki proseslər istisna olmaqla qida texnologiyası proseslərinin ümumi kinetik qanunauyğunluqlarında prosesin sürəti onun hərəkət qüvvəsi ilə düz, müqavimət ilə tərs mütənasibdir.

Prosesin sürət əmsalı müqavimətlə tərs mütənasibidir.

Kinetik tənlik aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta}{R} = K\Delta, \quad (1.30)$$

burada V - kütlə və ya enerjinin miqdarı;

F - kütlə və ya enerji keçən sahə;

τ - prosesin davamlılığı;

Δ - hərəkət qüvvəsi;

R - müqavimət;

K - sürət əmsalıdır.

Prosesin hərəkət qüvvəsi ümumi halda potensiallar fərqi olub, xüsusi halda – aparatın giriş və çıxışında təzyiqlər fərqi Δp , istilik daşıyanlar arasındakı temperatur fərqi və konsentrasiyalar fərqi kimi götürülür. Proseslərin sürət əmsalları axının hidrodinamika qanunları ilə təyin edilən hərəkət rejimindən asılıdır.

İstilik prosesləri üçün kinetik tənlik aşağıdakı kimi olur:

$$\frac{dQ}{Fd\tau} = K\Delta t = \frac{1}{R}\Delta t, \quad (1.31)$$

burada Q - istilik miqdarı, kCoul;

F - istilikdəyişmə səthi, m^2 ;

τ - zaman, san;

K - istilikkeçirmə əmsalı, $Vt/(m^2K)$;

Δt - temperatur fərqi (prosesin hərəkət qüvvəsi);

$R=1/K$ - istilikötürmə müqavimətidir.

Kütlədəyişmə prosesləri üçün kinetik tənlik analojidir:

$$\frac{dm}{Fd\tau} = K'\Delta C = \frac{1}{R'}\Delta C, \quad (1.32)$$

burada $dm - d\tau$ zamanı müddətində verilən maddənin kütləsi, m^2 ;

K' - kütləötürmə intensivliyini xarakterizə edən əmsal, $kq/(m^2\text{san}\cdot kq/m^3)$;

ΔC - konsentrasiyalar fərqidir (kütlədəyişmə prosesinin hərəkət qüvvəsi), kq/m^3 ;

$R' = \frac{1}{K'}$ - kütləötürmə müqavimətidir.

Hidrodinamiki proseslərdə, məsələn, filtrləmə üçün kinetik tənlik aşağıdakı kimi olur:

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{1}{R_h} = K_h\Delta p, \quad (1.33)$$

burada V - filtratın həcmi, m^3 ;

F - filtrin səthinin sahəsi, m^2 ;

R_h - filtrin hidravliki müqaviməti;

$K_h = \frac{1}{R_h}$ - filtrləyici mühitin ötürmə əmsalı;

Δp - təzyiqlər fərqidir (prosesin hərəkət qüvvəsi), Pa.

Beləliklə, kinetiki tənliklər ümumi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\dot{I} = l \cdot X, \quad (1.34)$$

burada \dot{I} - prosesin gediş sürəti;

X - prosesin hərəkət qüvvəsi (təzyiq, temperatur, konsentrasiya fərqləri);

l - ötürmə əmsalıdır.

Hidromexaniki, istilik və kütlədəyişmə proseslərinin kinetik tənlikləri bütövlükdə "üçlük analogiya" adlanır.

1.3. Maşın və aparatların ümumi hesabat prinsipləri

Proseslərin analizi, maşın və aparatların hesabatı aşağıdakı kimi aparılır: prosesin material və energetik balansları, statikaya əsasən prosesin axın istiqaməti və tarazlıq şərtləri müəyyənləşdirilir; hərəkət qüvvəsi hesablanır; kinetika əsasında prosesin sürəti təyin olunur. Prosesin sürəti və hərəkət qüvvəsinin qiyməti əsasında optimal rejimdə aparatın əsas ölçüləri- işçi həcmi və ya işçi səthinin sahəsi hesablanır. Əsas ölçüdən istifadə edilərək aparatın digər ölçüləri təyin olunur.

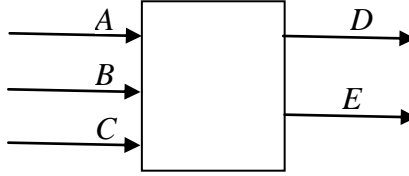
Material balansı – kütlənin sazlanması qanunu əsasında tərtib edilir. Prosesin gedişi zamanı daxil olan materialların miqdarına ΣG_b , çıxan məhsulun miqdarına ΣG_s bərabər olmalıdır:

$$\sum G_b = \sum G_s. \quad (1.35)$$

Fərz edək ki, aparatda (şək.1.1) hər hansı bir proses baş verir. Aparata prosesdə iştirak edən A , B və C komponentləri daxil olur. Bu qazlar, buxarlar, mayelər və bərk cisimlər ola bilər. Aparatda baş verən proses nəticəsində ondan D və E maddələri ayrılır. Aydın ki,

$$m_A + m_B + m_C = m_D + m_E, \quad (1.36)$$

burada m_A, m_B, m_C, m_D, m_E - A, B, C, D və E komponentlərinin kütləsidir.

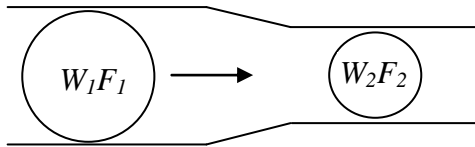


Şək.1.1. Material balansı sxemi

Hərəkətdə olan sistemlər üçün kütlənin saxlanması qanunu aşağıdakı düsturla ifadə olunur. Aparatın iki kəsiyi (F_1 və F_2) üçün (şək.1.2) axının W_1 və W_2 sürətində

$$F_1 W_1 = F_2 W_2. \quad (1.37)$$

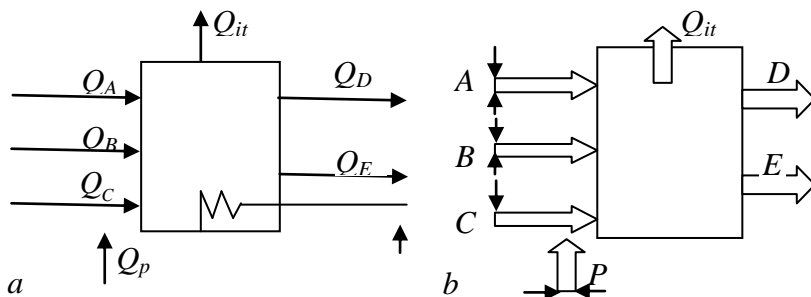
Aparata daxil olan hər bir maddə müəyyən miqdarda enerji daşıyıcısıdır. Bu enerji istilik vahidi ilə ifadə olunur. Bundan başqa aparata xaricdən də enerji daxil ola bilər Q_p .



Şək.1.2. Axınlı sistemlərdə axının arasıkəsilməməzliyi

Prosesin gedişi zamanı istiliyin bir qismi Q_{it} ətraf mühitə keçərək itir (şək.1.3,a). Enerjinin saxlanması qanununa əsasən

$$Q_A + Q_B + Q_C + Q_{dax} + Q_p = Q_D + Q_E + Q_{it}. \quad (1.38)$$



Şək.1.3. Enerji balansının sxemi və grafiki:

Q_A, Q_B, Q_C - A, B, C komponentləri ilə daxil olan istilik;

Q_D, Q_E - D və E komponentləri ilə çıxan istilik;

Q_{it} - ətraf mühitə görə itən istilik;

Q_p - kənarından daxil olan istilik;

Q_{dax} - prosesin gedişi zamanı aparatın daxilində yaranan istilik.

Prosesə daxil olan enerjinin miqdarı $\Sigma Q_{baş}$ ayrılan enerjinin miqdarına bərabər olmalıdır

$$\Sigma Q_{baş} = \Sigma Q_{son} + \Sigma Q_{it}, \quad (1.39)$$

burada $\Sigma Q_{baş}$ – daxil olan enerjinin başlangıç miqdarı;

ΣQ_{son} – ayrılan enerjinin son miqdarı;

ΣQ_{it} – ətraf mühitə görə itən enerjinin miqdarıdır.

1.4. Maşın və aparatlara tələbatlar

Maşın və aparatlara aşağıdakı tələbatlar qoyulur: aparat (maşın) yüksək məhsuldarlıqlı, etibarlı, az enerji və metal tutumlu və istifadəsi rahat olmaqla təhlükəsizlik tələbatlarına cavab verməlidir.

Avadanlığın uzunmüddətli və dayanıqlı işləməsinin mütləq şərti onun mexaniki etibarlılığı və konstruksiyasıdır.

Mexaniki etibarlılığını möhkəmlilik, sərtlik, dayanıqlıq, uzunmüddətlik və germetiklik xarakterizə edir.

Aparatın konstruktivliyini sadəlik, az metal tutumluluq, konstruksiyanın texnolojiliyi və yüksək faydalı iş əmsalı xarakterizə edir.

Konstruktivlik dərəcəsinə texniki-iqtisadi göstəricilər -avadanlıqın məhsuldarlığı, sərfiyyat əmsalları, qiyməti, istismar xərcləri və məhsulun maya dəyəri xarakterizə edir.

İstehsalın əsas məqsədi kiçik qabaritli aparatlarda yüksək məhsuldarlıq əldə edərək prosesi intensivləşdirməkdir.

Aparatın işinin intensivliyi- aparatı xarakterizə edən hər hansı bir əsas vahidə görə onun məhsuldarlığıdır. Belə ki, quruducunun işinin intensivliyi 1 m^3 həcmli quruducuda 1 saat ərzində materialdan ayrılan suyun miqdarı ilə ifadə olunur.

Buxarlandırıcıların intensivliyi 1 m^2 isitmə səthində 1 saat ərzində buxarlanan suyun miqdarı ilə ifadə olunur.

Aparatın və maşının konstruksiyasının qiymətləndirilməsində ən vacib göstərici onun texniki-iqtisadi xarakteristikasıdır. Aparatda gedən proses optimal variantda yerinə yetirilməlidir. Optimal o aparatdır ki, az xərclərlə son məhsulu təmin edir.

1.5. Qida sənayesinin maşın və aparatlarında istifadə olunan materiallar və onların seçimi

Qida istehsalının aparatları müxtəlif materiallardan hazırlanır. Avadanlığın hazırlanması üçün materialın seçimi işçi şəraitin (temperatur, təzyiq, korroziya və s.) öyrənilməsindən başlayır. Bu halda materialın əsas xassələri, yəni möhkəmlik, istilik və kimyəvi aşılamada dayanıqlığı, fiziki xassələri, eləcə də texnoloji xarakteristikası, materialın tərkib və strukturu, qiyməti və s. nəzərə alınır.

Materialın xassələri bir-biri ilə əlaqəli olub materialın istismar şəraitindən asılıdır. Məsələn, temperatur artdıqda aparatda mexaniki və korroziyaya dayanıqlıq azalır.

Qida istehsalında maşın və materialların hazırlanması üçün poladlardan, çuqundan, əlvan metallardan və plastik kütlələrdən istifadə olunur.

Poladlar yüksək mexaniki möhkəmliyə, plastikliyə, yaxşı yastılanma və qaynaqlanma qabiliyyətinə malik olmalıdır. Bunlardan daha geniş istifadə olunanı karbonlu poladlardır. Kompresorların, nasosların, quruducuların, istilik dəyişənlərin əsas hissələrini ha-

zırlamaq üçün keyfiyyətli karbonlu poladlardan istifadə olunur.

Çuqunlar dəmirin karbonla, silisiumla, manqanla, fosforla çoxkomponentli ərintisidir. Çuqunlardan maşın və aparatın ayrı-ayrı hissələrinin, məsələn, nasos və kompressorun silindrlərinin, dişli çarxların və sonsuz vint çarxlarının, boru armaturu və boruların hazırlanmasında istifadə olunur.

Çuqundan hissələrin hazırlanması tökmə metodu ilə yerinə yetirilir.

Əlvan metallar. Yeyinti maşınqayırmasında əsasən alüminium və misdən istifadə olunur.

Pivə və süd istehsalı üçün avadanlığın hazırlanmasında alüminiumdan istifadə olunur. Alüminium yüksək möhkəmliyə və aşağı sıxlığa, yüksək istilik keçirmə qabiliyyətinə malik olmaqla asan ştamplanır və emal olunur. Onun korroziya məhsulları zəhərli deyil. Alüminiumun mislə qarışığı olan düralüminium da yeyinti aparatlarının istehsalında geniş istifadə olunur. Mis qida sənayesində geniş yayılmışdır. O yüksək istilik ötürmə qabiliyyətinə malik olduğundan ondan istilik dəyişmə aparatları, rektifikasiya sütunları və s. istehsalında istifadə olunur. Hətta aşağı temperaturda (-100...-200°C) misin mexaniki xassələri azalmır. Mis qarışıqlarında bürünc və latundan istifadə olunur. Bürünc misin qalayla, alüminiumla, silisiumla, beriliumla, manqanla və ya qurğuşunla qarışığıdır. Ən çox istifadə olunan qalay tərkibli bürünclərdir. Latun misin sinklə qarışığıdır. Latun misdən yüngüldür, asan qaynaq olunur.

Qeyri metal materiallar. Qida sənayesində üzvi və qeyri-üzvi mənşəli materiallardan istifadə olunur. Qeyri-üzvi mənşəli materiallardan müxtəlif aparatların hazırlanmasında (buxarlandırıcılarda, istilikdəyişənlərdə, fermentatorlarda, rektifikasiya sütunlarında, boru kəmərlərində və s.) ən çox istifadə olunan şüşədir. Şüşənin istifadə edilməsi qida məhsullarının hazırlanmasının sanitariyeni yaxşılaşdırır. Üzvi mənşəli materiallardan, əsasən plastik kütlələrdən, yəni polietilen, polikarbonat, polisulfon, poliamid, ftoroplast-4, polistrol və s. istifadə olunur. Müxtəlif çənlərin istehsalında, məsələn, şampan şərəblərinin fasiləsiz istehsalı

prosesində qarşılıqlı təmasda olan fazaların toxunma səthinin sahəsini artırmaq üçün silindrik polietilen taxmalardan istifadə olunur. Polikarbonat və poliamid avadanlıqların müxtəlif düyünlərinin hazırlanmasında, ftoroplast-4 əsasən araqatların və kipləşdirici düyünlərin, polistirol isə müxtəlif qablar və qablaşdırıcı materialların hazırlanmasında istifadə olunur. Polisulfon və polikarbonatdan membranlı aparatların plyonkaları hazırlanır.

Materialların kimyəvi dayanıqlığı. Müxtəlif mürəkkəb mühitdə işləyən aparatların hazırlanmasında istifadə olunan konstruksiya materialı yüksək kimyəvi dayanıqlığa malik olmalıdır. Maşın və onların hissələrinin vaxtından tez sıradan çıxmasının səbəbi onların hazırlanmasında materialların düzgün seçilməməsidir. Korroziya hazır məhsulu çirkləndirir və beləliklə onun keyfiyyətini, həmçinin rəngini, iyini, dadını pisləşdirir. Materialların korroziyaya dayanıqlığının qiymətləndirilməsi xüsusi cədvəldə verilir (cədvəl 1.2).

Cədvəl 1.2

Metalların korroziyaya dayanıqlığı

Dayanıqlıq qrupu	Korroziyaya dayanıqlıq balı	Korroziya sürəti ildə mm-lə
Tam dayanıqlı	1	<0,001
	2	0,001...0,005
Çox dayanıqlı	3	0,005...0,01
	4	0,01...0,05
Dayanıqlı	5	0,05...0,1
	6	0,1...0,5
Aşağı dayanıqlı	7	0,5...1,0
	8	1,0...5,0
Az dayanıqlı	9	5...10
Dayanıqsız	10	>10

Aparatların hazırlanması üçün korroziya dərəcəsi ildə 0,1...0,5 mm-dən çox olmamalıdır. Korroziyadan qorumaq üçün onlar metal və qeyri metal örtüklə örtülür. Bu məqsəd üçün metallardan xrom, nikel, alüminium; qeyri metallardan emallar, polimer materialları, müxtəlif laklar istifadə olunur. Metal və sement çənlərin dayanıqlığını artırmaq üçün keramik və şüşə üzlüklərdən istifadə olunur.

1.6. Qida texnologiyası proseslərinin modelləşdirilməsi və oxşarlığı

Modelləşdirmə növləri. Əsasən iki növ modelləşdirmədən istifadə olunur: fiziki və riyazi. Fiziki modelləşdirmə prosesi fiziki modeldə öyrənilir. Riyazi modelləşmə öyrənilən prosesin riyazi təsvirini nəzərdə tutur. Bu halda fiziki proses onu modelləşdirən alqoritmlə əvəz olunur, sonra modelin öyrənilən prosesə adekvatlığı təyin edilir. Müxtəlif proseslər arasında analogiçilik mövcuddur. Bu proseslər eyni tipli diferensial tənliklərlə ifadə olunur:

- elektrik ötürməsi (Om qanunu)

$$i = -\frac{1}{R} \cdot \frac{du}{dx}; \quad (1.40)$$

- enerji miqdarının ötürülməsi (Nyutonun sürtünmə qanunu)

$$\tau = -\mu \cdot \frac{dv}{dx}; \quad (1.41)$$

- maddənin ötürülməsi (Fik qanunu)

$$m = -D \cdot \frac{dc}{dx}; \quad (1.42)$$

- istiliyin ötürülməsi (Furye qanunu)

$$q = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx}, \quad (1.43)$$

burada du/dx , dv/dx , dc/dx , dt/dx - müvafiq olaraq gərginliyin, sürətin, konsentrasiyanın və temperaturun qradientləri;

i - cərəyan qüvvəsi;

τ - toxunma gərginliyi;

m - kütlə axını;

D - diffuziya əmsalı;

q - istilik axını;
 R - müqavimətdir.

Modelləşdirmə nəzəriyyəsi qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları elmində geniş istifadə olunan oxşarlıq nəzəriyyəsidən irəli gəlir.

Oxşarlıq nəzəriyyəsi. Oxşarlıq nəzəriyyəsinin istifadəsinin əsasını oxşarlıq teoremləri sistemi təşkil edir. Teoremlərə əsasən nəzəriyyənin aşağıdakı əsas suallarına cavab almaq olar:

- eksperimentdə hansı kəmiyyətləri ölçmək lazımdır?
- eksperimentin nəticələrini necə emal etmək olar?
- öyrənilən modelə oxşar modeli necə qurmaq olar?

Bu sualların birincisinə İ.Nyuton tərəfindən verilmiş birinci oxşarlıq teoremi cavab verir. Belə ki, oxşar proseslərdə bütün oxşarlıq kriteriyaları bərabərdir.

Oxşarlıq kriteriyaları iki növ olur: kompleks kriteriyalar (müxtəlif fiziki və həndəsi kəmiyyətlərdən ibarətdir), simpleks-kriteriyalar (eyni adlı kəmiyyətlərdən ibarətdir).

Prosesi ifadə edən hər bir kriteriya (meyar) müəyyən fiziki mənaya malik olub bu proseslər üçün əhəmiyyət kəsb edən effektlər arasındakı uyğunluq ölçüsünü göstərir. Məsələn, Reynolds kriteriyasını aşağıdakı şəkildə yazsaq:

$$Re = \frac{\rho \omega^2}{\mu \frac{\omega}{l}} \quad (1.44)$$

görürük ki, o maye axınında ətalət qüvvəsi və molekulyar sürtünmə qüvvəsi arasındakı uyğunluğu ifadə edir. Digər tərəfdən əgər iki oxşar axın üçün uyğun kriteriyalar kəmiyyətə bərabərdirlərsə, onda

$$\frac{\rho' \omega' l'}{\mu'} = \frac{\rho'' \omega'' l''}{\mu''}, \quad (1.45)$$

buradan

$$\frac{\frac{\rho'}{\rho''} \cdot \frac{\omega'}{\omega''} \cdot \frac{l'}{l''}}{\frac{\mu'}{\mu''}} = 1. \quad (1.46)$$

Oxşar sistemlərin uyğun nöqtələrində fiziki konstantaların nisbəti mütləq oxşarlıq konstantası təşkil edir.

$$\frac{\rho'}{\rho''} = c_\rho; \quad \frac{\omega'}{\omega''} = c_\omega; \quad \frac{l'}{l''} = c_l; \quad \frac{\mu'}{\mu''} = c_\mu; \\ \frac{c_\rho c_\omega c_l}{c_\mu} = 1. \quad (1.47)$$

Oxşarlıq konstantalarından ibarət olan parametr oxşarlıq indikatorunu təşkil edir. Onun vahidə bərabərliyi qanunauyğundur.

I. Hidromexaniki oxşarlıq kriteriyaları

1. Axın rejimi kriteriyası (Reynolds ədədi) mayenin axın rejimini xarakterizə edib axında ətalət və molekulyar sürtünmə qüvvələrinin nisbətidir.

Düz hamar borularda

$$Re = \frac{\omega l}{\nu} = \frac{Pe}{Pr}, \quad (1.48)$$

$Re=2320$;

$Re<2320$ olduqda laminar rejim;

$Re>10000$ olduqda turbulent rejim müşahidə olunur.

2. Hidravliki oxşarlıq kriteriyası (Frud ədədi)

$$Fr = \frac{\omega^2}{gl} = \frac{Re^2}{Ga}. \quad (1.49)$$

Frud kriteriyası axında ətalət və ağırlıq qüvvələri nisbətidir.

3. Təzyiq sahələrinin oxşarlıq kriteriyası (Eylər ədədi) axında təzyiq və ətalət qüvvələrinin nisbəti olub borularda mayələrin ölçsüz basqı itkisidir.

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}, \quad (1.50)$$

burada Δp - təzyiqlər fərqi, Pa.

4. Sərbəst hərəkət sahələrinin oxşarlıq kriteriyası (Qaliley ədədi) axında molekulyar sürtünmə və ağırlıq qüvvələrinin nisbətidir:

$$Ga = \frac{gl^3}{\nu^2} = \frac{Re^2}{Fr}, \quad (1.51)$$

burada g - sərbəst düşmə təcilidir.

5. Sərbəst konveksiya kriteriyası (Arximed ədədi) Arximed qüvvəsinin əks təsirini xarakterizə edir:

$$Ar = \frac{gl^3}{\nu^2} \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} = Ga \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho}, \quad (1.52)$$

burada ρ_1 və ρ_2 - axının iki nöqtəsində mayenin sıxlığı, kq/m³.

II. İstilik oxşarlıq kriteriyaları

6. Ölçüsüz istilikvermə əmsalı (Nusselt kriterisi) axının sərhəd layında istilik vermə intensivliyi və temperatur sahəsi arasındakı əlaqəni xarakterizə edir.

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}, \quad (1.53)$$

burada α - istilikvermə əmsalı, Vt/(m²·K);

λ - istilikötürmə əmsalı, Vt/(m·K);

l - sistemin xətti ölçüsüdür, m.

7. Axında temperatur və sürət sahələrinin oxşarlıq kriteriyası (Prandtl ədədi) mayenin fiziki xassələrini xarakterizə edir (ölçüsüz kəmiyyətdir):

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\eta_c}{\lambda} = \frac{Pe}{Re}, \quad (1.54)$$

burada ν - kinematik özlülük, m²/san;

a - temperaturötürmə, m^2/san ;

$\nu = \mu/\rho$; $a = \lambda/c\rho$;

μ - dinamik özlülük, $kq/(san \cdot m) = (N \cdot san)/m^2 = Pa \cdot san$;

c - xüsusi istilik tutumudur, $Coul/(kq \cdot K)$.

8. İstilik oxşarlığı kriteriyası (Pekle ədədi) axında istiliyin molekulyar və konvektiv ötürülmələri nisbətini xarakterizə edir:

$$Pe = \frac{\omega l}{a} = Re \cdot Pr. \quad (1.55)$$

9. İstilik homoxronluğu kriteriyası (Furyenin istilik ədədi) cismin səthinin temperatur sürətinin dəyişməsi olub, onun fiziki xassələri və ölçüləri arasındakı əlaqəni xarakterizə edir:

$$Fo = \frac{a\tau}{l^2}, \quad (1.56)$$

burada τ - zamandır, san .

Lövhə üçün $Fo > 0,30$ -da; silindr üçün $Fo > 0,25$ -də; kürə üçün $Fo > 0,25$ olduqda nizamlı rejim (müntəzəm) yanır.

10. Sərhəd oxşarlıq kriteriyası (Bionun istilik kriteriyası) daxili və xarici müqavimətlər nisbətidir, bərk cisimdə temperatur sahələri və cismin səthindəki istilik ötürmə şərtləri arasındakı əlaqəni xarakterizə edir:

$$Bi = \frac{\alpha l_c}{\lambda_c}, \quad (1.57)$$

burada l_c - cismin xətti ölçüsü, m ;

λ_c - bərk cismin istilikötürmə əmsalı, $Vt/(m^2 \cdot K)$;

$Bi < 0,1$ olduqda xarici müqavimət;

$Bi > 100$ olduqda isə daxili müqavimət üstünlük təşkil edir.

11. Sərbəst konveksiya istilik kriteriyası (Qrasqof ədədi) qeyri izotermiki axında müxtəlif sıxlıqlarda molekulyar sürtünmə və qaldırıcı qüvvələrin nisbətidir:

$$Gr = \frac{gl^3}{\nu^2} \beta \nu_c, \quad (1.58)$$

burada β - mayenin həcmi genişlənmə əmsalıdır, $1/K$;

ν_c - bərk divar və divardan aralı axının temperaturlar fərqi, K .

12. Faza dəyişikliyinə istilik kriteriyası (Kutaladze kriteriyası) doyma temperaturuna nisbətən faza dəyişikliyi istiliyinin fazanın çox qızma və ya çox soyuma istiliyinə nisbətidir:

$$Ku \equiv \frac{r}{C\Delta t} = \frac{r}{\Delta i}, \quad (1.59)$$

burada r - faza dəyişikliyinə istiliyidir (buxarlanma və ya kondensasiya).

III. Diffuziya oxşarlıq kriteriyaları

13. Ölçüsüz kütləötürmə əmsalı (Nusseltin kütlədəyişmə kriteriyası, Şervud kriteriyası) kütləötürmə intensivliyi və sərhəd layda konsentrasiya sahəsi arasındakı əlaqəni xarakterizə edir:

$$Nu = \frac{\beta l}{D}, \quad (1.60)$$

burada β - kütləötürmə əmsalıdır, m/san ;

D - diffuziya əmsalıdır, m^2/san .

14. Axında sürət və konsentrasiya sahələrinin oxşarlıq kriteriyası (Prandtlın diffuziya ədədi)

$$Pr' = \frac{\nu}{D} = \frac{Re'}{Re}. \quad (1.61)$$

15. Diffuziya homoxronluğu ədədi (Furyenin diffuziya ədədi) konsentrasiya sürətinin dəyişməsi, cismin fiziki xassələri və ölçüləri arasındakı əlaqəni xarakterizə edir:

$$Fo' = \frac{D\tau}{l^2}. \quad (1.62)$$

16. Sərhəd oxşarlıq kriteriyası (Bionun diffuziya kriteriyası)

daxili və xarici diffuziya müqavimətlərinin nisbətidir:

$$Bi' = \frac{\beta l_c}{D_c}, \quad (1.63)$$

burada D_c – kvazibərk cisimdə diffuziya əmsalıdır, m^2/san .

17. Diffuziya oxşarlıq kriterisi (Peklenin kütlədəyişmə ədədi) axında diffuziya edən maddənin molekulyar və konvektiv ötürülmələrinin nisbətidir:

$$Pe' = \frac{\omega l}{D} = Re \cdot Pr', \quad (1.64)$$

burada Pr' – Prandtl ədədidir (diffuziya üçün).

İkinci oxşarlıq teoremi (Federman-Bekinqem teoremi) təcrübə nəticələrini kriteriyalar arasındakı asılılıqlar şəklində təsvir edir. Oxşarlıq kriteriyaları arasındakı funksional asılılıq kriteriya tənliyi adlanır.

Üçüncü oxşarlıq teoreminə görə (Kirpiçov, Quxman teoremi) kriteriya tənlikləri yalnız oxşar proseslər üçün tətbiq olunur. Əgər təyin edici kriteriyalar təyin edilən kriteriyalara bərabərdirlərsə, onda bu hadisələr oxşardır.

Yoxlama sualları

1. Sıxlıq nəyə deyilir? 2. Xüsusi həcm nədir? 3. Qazların həcmi hansı tənliklə hesablanır? 4. Xüsusi çəki nəyə deyilir? 5. Hansı özlülükləri bilirsiniz? 6. İstilikkeçirmə nədir? 7. Səthi gərilmə nəyə bərabərdir? 8. İstilik prosesləri üçün kinetik tənlik necə ifadə olunur? 9. Kütlədəyişmə prosesləri üçün kinetik tənlik necə ifadə olunur? 10. Hidromexaniki proseslərdə kinetik tənlik necə ifadə olunur? 11. Hərəkətdə olan sistemlər üçün kütlənin saxlanması qanunu hansı düsturla ifadə olunur? 12. Maşın və aparatlara hansı tələbatlar qoyulur? 13. Yeyinti maşınqayırmasında hansı əlvan metallardan istifadə olunur? 14. Yeyinti maşınqayırmasında hansı üzvi mənşəli materiallardan istifadə olunur? 15. Prosesi ifadə edən hər bir kriteriya nəyi göstərir? 16. Hidravliki oxşarlıq kriteriyası (Frud ədədi) necə ifadə olunur? 17. Təzyiq sahələrinin oxşarlıq kriteriyası (Eylər ədədi) nəyi göstərir? 18. Sərbəst hərəkət sahələrinin oxşarlıq kriteriyası necə ifadə olunur? 19. Sərbəst konveksiya kriteriyası nəyi xarakterizə edir? 20. İstilik oxşarlıq kriteriyaları hansılardır? 21. Diffuziya oxşarlıq kriteriyaları hansılardır?

II HİSSƏ. HİDROMEXANİKİ PROSESLƏR



Hidromexaniki proseslərə müxtəlifcinsli sistemlərin qravitasiya, mərkəzdənqaçma və ya elektrik sahələri qüvvələrinin təsiri nəticəsində çökməsi, təzyiqlər fərqi təsirindən məsaməli arakəsmədən keçən maye və ya qazların filtrlənməsi, mayələrin qarışdırılması, ayrılması və s. aiddir.

FƏSİL 2 MÜXTƏLİFCİNSLİ SİSTEMLƏRİN AYRILMASI

2.1. Müxtəlifcinsli sistemlərin təsnifatı

Minimum iki fazadan ibarət olan sistemlər müxtəlifcinsli və ya heterogen sistem adlanır. Bunlar narin xırdalanmış halda olan dispers (daxili) və dispers fazanı əhatə edən hissəciklərdən ibarət dispersion (xarici) fazalardır.

Suspenziyalar maye dispersion və bərk dispers fazalarından təşkil olunur. Bərk hissəciklərin ölçüsündən asılı olaraq suspenziyalar qaba (hissəciklərin ölçüsü >100 mkm); narin ($0,1 \dots 100$ mkm) və kolloid qarışıqlara ($\leq 0,1$ mkm) bölünür.

Emulsiyalar bir-birində həll olunmayan iki maye fazadan, yəni dispersion və dispers fazalardan ibarətdir. Dispers fazanın hissəciklərinin ölçüləri müxtəlif ola bilər. Qravitasiya qüvvəsinin təsirindən emulsiyalar adətən laylara ayrılır. Lakin dispers fazanın ölçüləri $0,4 \dots 0,5$ mkm-dən aşağı olmayan və həmçinin tərkibində stabilizator (stabilizator) olan emulsiyalar dayanıqlı olub uzun müddət ərzində laylara ayrılır.

Dispers fazanın konsentrasiyası artdıqda o dispersion fazaya çevrilə bilər və əksinə. Belə keçid fazaların inversiyası adlanır.

Köpüklər maye dispersion və qaz dispers fazalardan ibarətdir. Xassələrinə görə köpüklər emulsiyalara yaxındır.

Tozlar və tüstülər qaz dispersion və bərk dispers fazalardan

ibarətdir. Tozlar adətən bərk materialların xırdalanmasında, qarışdırılmasında və nəql olunmasında əmələ gəlir. Tozların bərk hissəciklərinin ölçüləri 3...70 mkm təşkil edir. Tüstülər dispersion qaz və maye dispers fazalarından ibarətdir.

Dumanlar kondensasiya zamanı yaranır. Dumanda maye damcılarının ölçüləri 0,3...3 mkm olur. Tozlar, dumanlar və tüstülər aerozollara aiddir.

2.2. Ayırma metodları

Ayırmanın metodlarına çökdürmə, filtrləmə və sentrifugalama aiddir.

Çökdürmə qravitasiya qüvvəsi təsirində müxtəlifcinsli maye və qaz sistemlərinin ayrılması prosesidir.

Filtrləmə maye və qazları keçirən arakəsmələrlə müxtəlifcinsli fraksiyalara ayırma prosesidir. Filtrləmə təzyiqli qüvvəsi və ya mərkəzdənqaçma qüvvəsi səbəbinə yerinə yetirilir. Filtrləmə adı mərkəzdənqaçma olur. Filtrləmədən suspenziyaların, emulsiyaların və tozların ayrılmasında da istifadə olunur.

2.3. Ayırma proseslərinin material balansı

Ayrılmaya məruz qalan müxtəlif cinsli sistem a maddəsindən (dispersion faza) və b asılı hissəciklərindən (dispers fazadan) ibarətdir.

G_C – verilən qarışıqın miqdarı, kq;

x_c – verilən qarışıqda b maddəsinin miqdarı, küt. % ;

G_n – məhsulun miqdarı, kq;

x_n – təmizlənmiş məhsulda b maddəsinin miqdarı, küt. % ;

G_o – çöküntünün miqdarı, kq;

x_o – çöküntüdə b maddəsinin miqdarı, küt.% ;

ρ_a və ρ_b - a və b maddələrinin sıxlığı.

Maddələrin itkisi baş verməzsə, ayrılmanın material balansını belə yazmaq olar:

$$G_C = G_n + G_o; \quad (2.1)$$

asılı maddələrin miqdarına görə (dispers fazaya görə)

$$G_C \cdot x_c = G_n \cdot x_n + G_o \cdot x_o. \quad (2.2)$$

Tənlikləri birgə həll edərək təmizlənmiş məhsulun miqdarını tapırıq

$$G_n = G_C = \frac{x_o - x_c}{x_o - x_n}; \quad (2.3)$$

çöküntünün miqdarı

$$G_o = G_C \cdot \frac{x_c - x_n}{x_o - x_n}. \quad (2.4)$$

Ayrılmanın səmərəliliyi ayrılma effekti ilə xarakterizə olunur.

$$\mathfrak{E}_p = \frac{G_C \cdot x_c - G_n x_n}{G_C \cdot x_c}.$$

(2.3) və (2.4) tənlikləri qarışma prosesində də istifadə olunur.

(2.3) tənliyindən alınan qarışıqdakı asılı maddələrin konsentrasiyası tapılır:

$$x_c = \frac{G_n \cdot x_n - G_o x_o}{G_C}, \quad (2.5)$$

burada G_n və G_o – qarışan məhsulların miqdarı;

x_n və x_o – bu məhsullarda asılı hissəciklərin kütləvi konsentrasiyası;

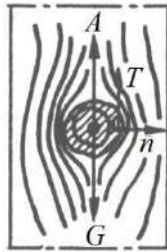
G_C – son məhlulun miqdarı.

2.4. Müxtəlifcinsli sistemlərin ayırma kinetikasi. Çökdürmə kinetikasi

Özlu mühitdə hissəciyin qravitasiya qüvvəsinin təsiri altında hərəkətini nəzərdən keçirək (şək.2.1). Hissəciyə ağırlıq qüvvəsi G , Arximed qüvvəsi A və sürtünmə qüvvəsi T təsir edəcək.

İstənilən formada olan hissəciyin həcmi $V = k_1 l^3$, burada k_1 -hissəciyin formasından asılı olan əmsal; l - hissəciyin ölçüsüdür (diametri). Əgər bərk hissəciyin sıxlığı ρ_b , mayeninki isə (qazın, buxarın) ρ_m olarsa, onda hissəciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi $G = k_1 l^3 \rho_b g$ və ağırlıq qüvvəsinin əks istiqamətində təsir edən qaldırıcı qüvvə $A = k_1 l^3 \rho_m g$ olar. Bu qüvvələrin fərqinin təsirindən hissəcik mayədə hərəkət edir.

Hissəciyin vahid səthinə maye tərəfindən sürtünmə qüvvələri təsir edir $T = \mu_m \frac{dv}{dn}$, burada μ_m -mayenin dinamik i özlülük əmsalındır; dv/dn - mayenin hərəkət sürətinin dəyişməsidir. Sürtünmə qüvvələrinin cəmi T hissəciyin səthinin sahəsindən $k_2 l^2$ asılıdır (burada k_2 - hissəciyin formasını nəzərə alan əmsaldır) və $T = k_2 l^2 \mu_m \frac{dv}{dn}$ təşkil edir.



Şək.2.1. Maye mühitdə hissəciyə təsir edən qüvvələr

Mexanikanın ikinci qanununa əsasən ağırlıq qüvvəsi qaldırıcı və sürtünmə qüvvələrinin əvəzləyicisi hissəciyin kütləsi ilə təcilinə bərabərdir:

$$k_1 l^3 (\rho_b - \rho_m) g - k_2 l^2 \mu_m \frac{\partial v}{\partial n} = k_1 l^3 \rho_b \frac{dv}{d\tau}. \quad (2.6)$$

Bu tənlik ağırlıq qüvvəsinin təsiri nəticəsində hissəciklərin çökməsinin diferensial tənliyidir.

(2.6) tənliyi ümumi şəkildə həll oluna bilməz, buna görə hissəciklərin çökmə sürətini təyin etmək üçün onu kriteriya tənliyinə çevirmək lazımdır. (2.6) tənliyi $k_1 l^3 \rho_b \frac{dv}{d\tau}$ -ya bölünərək ölçüsüz hala gətirilir:

$$g \frac{d\tau}{dv} \cdot \frac{\rho_b - \rho_m}{\rho_b} - \frac{k_2 \mu_m \partial v d\tau}{k_1 l \rho_m \partial n dv} - 1 = 0, \quad (2.7)$$

burada $k_2/k_1 = \varphi$ - hissəciyin formasından asılı olan koordinatdır və hissəciyin forması əmsalı adlanır.

(2.7) tənliyini parametrik kriteriyaya vurduqda (bərk hissəciyin sıxlığının maye hissəciyin sıxlığına nisbəti ρ_b/ρ_m) tənlik aşağıdakı şəkli alır:

$$g \frac{d\tau}{dv} \cdot \frac{(\rho_b - \rho_m) \rho_b}{\rho_b \rho_m} - \psi \frac{\mu_m \partial v d\tau \rho_b}{l \rho_b \partial n dv \rho_m} - \frac{\rho_b}{\rho_m} = 0. \quad (2.8)$$

(2.8) tənliyindən hissəciklərin çökmə prosesi üçün oxşarlıq kriteriyasını almaq olar.

(2.8) tənliyinin birinci həddindən alınır:

$$\frac{g\tau}{v} \cdot \frac{(\rho_b - \rho_m)}{\rho_m} = \frac{gl\tau}{vl} \cdot \frac{(\rho_b - \rho_m)}{\rho_m} = \frac{gl}{v^2} \cdot \frac{(\rho_b - \rho_m)}{\rho_m}, \quad (2.9)$$

ikinci həddən alınır

$$\psi \frac{\mu_m \tau}{l \rho_m} = \psi \frac{\mu_m}{vl \rho_m} = \psi \frac{1}{\text{Re}}, \quad (2.10)$$

burada $\text{Re} = \frac{vl \rho_m}{\mu_m} = \frac{vl}{\nu}$ - maye ilə əhatə olunan hissəciyin

hidrodinamiki oxşarlığını xarakterizə edən Reynolds kriteriyasıdır.

Reynolds kriteriyasına vurduqda

$$Ar = g \frac{l}{v^2} \cdot \frac{v^2 l^2}{v^2} \cdot \frac{\rho_b - \rho_m}{\rho_m} = g \frac{l^3}{v^2} \cdot \frac{\rho_b - \rho_m}{\rho_m}, \quad (2.11)$$

burada Ar – ağırlıq və qaldırıcı qüvvələrin fərqlinin qaldırıcı qüvvəyə nisbətini xarakterizə edən Arximed kriteriyasıdır;

v - kinematik özlülükdür.

Beləliklə, (2.6) diferensial tənliyindən çökmə prosesinin kriteriya tənliyi alınır:

$$Re = A(\psi Ar)^n, \quad (2.12)$$

burada A - əmsaldır;

n – eksperiment yolu ilə təyin edilən göstəricidir.

Eksperimental qiymətlər əsasında mayedə hissəciklərin aşağıdakı çökmə rejimləri təyin olunub: laminar ($Re \leq 0,2$), keçid ($0,2 \leq Re \leq 500$) və turbulent ($Re > 500$).

Hər rejim üçün eksperimental yolla aşağıdakı asılılıqlar tapılmışdır:

- laminar rejim üçün

$$Re = \frac{1}{18} \psi Ar; \quad Re \leq 1,85 \text{ və ya } \psi Ar < 0,33; \quad (2.13)$$

- keçid rejimi üçün

$$Re = 0,152(\psi Ar)^{0,715}; \quad 1,85 \leq Re \leq 500 \text{ və ya} \\ 33 < \psi Ar < 83 \cdot 10^3; \quad (2.14)$$

- turbulent rejim üçün

$$Re = 1,74(\psi Ar)^{0,5}; \quad Re > 500 \text{ və ya } \psi Ar > 83 \cdot 10^3. \quad (2.15)$$

Reynolds kriteriyasının qiymətinə görə hissəciklərin ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında mayədə çökmə sürəti təyin edilir:

$$v_0 = \frac{Re \mu_m}{l \rho_m}. \quad (2.16)$$

Laminar hərəkətdə bu Stoks tənliyi ilə təyin edilə bilər:

$$v_0 = \frac{1}{18} \frac{g d^2 (\rho_b - \rho_m)}{\mu_m}, \quad (2.17)$$

burada d - hissəciyin diametridir.

(2.17) tənliyi düz sferik formalı bərk hissəciklər üçündür. Forması düz olmayan hissəciklərin çökmə sürəti aşağıdır.

Maye mühitdə maye damcılarının çökməsi halında proses onunla mürəkkəbləşir ki, damcıların forması fasiləsiz olaraq dəyişir. Çökmə sürətini təyin etmək üçün aşağıdakı tənlik təklif olunur:

$$v_0 = \frac{g d^{2.5}}{\sigma} \cdot \left(\frac{\rho_{müh} - \rho_m}{\rho_m} \right)^{1.5} \cdot \frac{\mu_{müh}}{\rho_{müh} g}, \quad (2.18)$$

burada d - damcının orta diametri;

σ - fazaların səthində səthi gərilmə;

$\rho_{müh}$ - mühitin sıxlığı;

ρ_m - damcıyaradan mayenin sıxlığı;

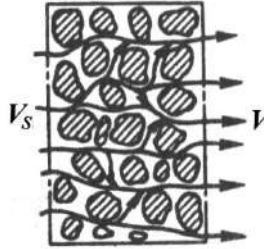
$\mu_{müh}$ - mühitin özlülüyü.

Çökmə prosesinin alınan kinetik asılılıq tənlikləri sübut edir ki, hissəciklərin ölçüləri və sıxlığı artdıqda çökmə sürəti artır, mühitin sıxlığı və özlülüyü artdıqda isə çökmə sürəti azalır.

Bərk hissəciklərin maksimal ölçülərini (2.17) tənliyində ($Re \approx 2$ olduqda) (2.16) ifadəsini yazmaqla aşağıdakı alınır:

$$d_{\max} \approx 1,563 \sqrt{\frac{\mu_m^2}{\rho_m (\rho_b - \rho_m)}}. \quad (2.19)$$

Filtrləmə kinetikasi. Filtrləmə zamanı maye axını bərk və ya lifli materialdan olan arakəsmədən keçir. Bu material dənəvər material layı kimi də verilə bilər (şək.2.2). Hissəciklər arası məsələlər düz formalı olmayan kanallar əmələ gətirir. Bu kanallardan filtrlənən maye v axını ilə hərəkət edir.



Şək.2.2. Mayenin filtrləyici arakəsmədən keçməsi hərəkətinin sxemi

Filtrləmə kinetikasi üçün Navye-Stoksun diferensial tənliyindən istifadə edilir:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu_m \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \rho_m g = \rho_m \frac{\partial v_m}{\partial \tau}.$$

Bu tənlik ümumi şəkildə həll oluna bilmədiyindən oxşarlıq nəzəriyyəsi metodlarından istifadə edilir və həmin tənlikdən kriteriya tənliyi alınır. Tənliyin bütün hədlərini $\rho_m \frac{\partial v_m}{\partial \tau}$ bölərək

$$-\frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{\partial \tau}{\rho_m \partial v_x} + \mu_m \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial \tau}{\rho_m \partial v_x} + \rho_m g \frac{\partial \tau}{\rho_m \partial v_x} = 1.$$

Tənliyin sol tərəfindəki toplananlar ölçüsüzdür. Onlardan oxşarlıq kriteriyası alınır.

Birinci həddə x/l ilə əvəz edilir və təzyiq qüvvələrinin inersiya qüvvələrinə nisbətini xarakterizə edən Eyley kriteriyası alınır:

$$\frac{p}{l} \cdot \frac{\tau}{\rho_m \nu} = \frac{p}{\rho_m \nu^2} = Eu. \quad (2.20)$$

İkinci həddən Reynolds kriteriyasının tərs mütənasibi alınır:

$$\frac{\mu_m \nu \tau}{l^2 \rho_m \nu} = \frac{\mu_m}{\nu l \rho_m} = \frac{1}{Re}. \quad (2.21)$$

Üçüncü həddən diferensiallama və istiqamət simvolları çıxarıldıqda Frud kriteriyası alınır ki, o da ağırlıq qüvvələrinin inersiya qüvvələrinə nisbətini xarakterizə edir:

$$\frac{g \tau}{\nu} = \frac{g \tau}{\nu} \cdot \frac{l}{l} = \frac{gl}{\nu^2} = Fr. \quad (2.22)$$

Beləliklə, filtrləmədə ağırlıq qüvvələri təzyiq və sürtünmə qüvvələri ilə müqayisədə az olduğundan onları nəzərə almamaq olar. Bu səbəbdən kriteriya tənliyinə Frud kriterisi daxil edilmir. Baxılan sistemin həndəsi xüsusiyyətlərini xarakterizə etmək üçün kriteriya tənliyinə parametrik kriteriya l/d_{ek} qəbul edilir.

Məsələli laydan maye axınının hərəkətini göstərən kriteriya tənliyi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$Eu = A Re^n \left(\frac{1}{d_{ek}} \right)^m, \quad (2.23)$$

burada l - çöküntünün və ya filtrləyici arakəsmənin qalınlığı;
 d_{ek} - kanalların ekvivalent diametridir.

A əmsalı, n və m göstəriciləri eksperiment yolu ilə təyin edilir.

Filtrləyici kanalların kiçik diametrlərində və ya çöküntüdəki kanalların kiçik diametrlərində laminar rejim $Re \leq 35$ -də olacaq. Laminar rejimdə filtrləmədə (2.23) tənliyi aşağıdakı kimi olacaq

$$Eu = \frac{110l}{Re d_{ek}}. \quad (2.24)$$

Turbulent rejimdə $70 \leq Re \leq 7000$ olduqda

$$Eu = \frac{5,8l}{\text{Re}^{0,25} d_{ek}}. \quad (2.25)$$

(2.24) və (2.25) tənliklərində təyinedici ölçü dənəvər material layında kanalların ekvivalent diametridir, axının sürəti ν isə kanalların sərbəst kəsiyinə aiddir.

Dənəvər material layından kanalların ekvivalent diametri

$$d_{ek} = \frac{4\varepsilon}{\sigma},$$

burada ε - dənəvər material layında boşluqların payı və ya sərbəst həcm əmsalındır;

σ - dənələrin səthinin xüsusi sahəsidir, yəni vahid lay həcmində dənələrin səthlərinin sahəsidir, (m^2/m^3)

$$\sigma = \frac{(1-\varepsilon)F_3}{V_3}, \quad (2.26)$$

burada $\varepsilon = \frac{V-V_0}{V}$;

V - dənəli layın tutduğu ümumi həcm;

V_0 - layı əmələ gətirən hissəciklərin tutduğu həcm, yəni

$V-V_0=V_{səb}$ - sərbəst həcm (layda kanalların həcmi);

F_3 - dənələrin səthi;

V_3 - dənələrin həcmi.

Layda kanalların ekvivalent diametri dənələrin diametri ilə d_3 ifadə oluna bilər. Düzgün sferik formalı hissəciklər üçün

$$d_{ek} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d_3.$$

Forması düzgün olmayan hissəciklər üçün

$$d_{ek} = \frac{2}{3} \cdot \Phi \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d_3, \quad (2.27)$$

burada Φ - hissəciyin forma faktorudur, $\Phi = \frac{F_s}{F}$;

F_s - F sahəli hissəciyin səthinə bərabər kürənin səthinin sahəsidir. Məsələn, kub üçün $\Phi=0,806$; silindr üçün $\Phi=0,69$; disk üçün $\Phi=0,32$.

Forma faktoru forma əmsalı ilə aşağıdakı asılıqla bağlıdır $\Phi = 1\sqrt{\psi}$. Filtrləmədə mayenin axın hərəkəti adətən laminardır. Bu (2.24) tənliyindən istifadə etməyə imkan verir.

(2.24) tənliyini aşkar formada yazmaq olar:

$$\frac{\Delta p}{\rho_m v_2} = \frac{110\mu_m}{\nu d_{ek} \rho_m} \cdot \frac{1}{d_{ek}} \quad (2.28)$$

və burada d_{ek} -nin yerinə (2.27) tənliyindən onun qiymətini, ν -nin yerinə isə V_f - in qiymətini ($V_f=V\varepsilon$) yazaq.

(2.28) tənliyində göstərilən dəyişiklikləri etsək alırıq:

$$v_f = \frac{\Delta d_3^2 \Delta p}{\mu_m l} \cdot \frac{\Phi^2 \varepsilon^3}{110(1-\varepsilon)^2}, \quad (2.29)$$

yəni məsaməli layda filtrləmə sürəti filtr layını təşkil edən dənəvər materialın diametrinin kvadratı ilə düz, filtrlənən mayenin özlülüyü ilə tərs mütənasibdir.

Digər tərəfdən filtrləmə sürəti

$$v_f = \frac{dv}{Fd\tau}. \quad (2.30)$$

(2.30) tənliyinin (2.29) tənliyi ilə müqayisəsindən

$$\frac{dv}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{R} = \frac{\Delta p \Phi^2 \varepsilon^3 d^3}{110\mu_m (1-\varepsilon)^2},$$

buradan

$$R = \frac{110\mu_m (1-\varepsilon)^2}{\Phi^2 \varepsilon^3 d^3} l.$$

Filtrləyici layın xüsusi müqaviməti

$$r = \frac{110\mu_m(1-\varepsilon)^2}{\Phi^2\varepsilon^3d_3^2},$$

yəni filtrləyici layın xüsusi müqaviməti mayenin özlülüyü ilə düz mütənəsb, hissəciklərin diametrinin kvadratı ilə tərs mütənəsbdir.

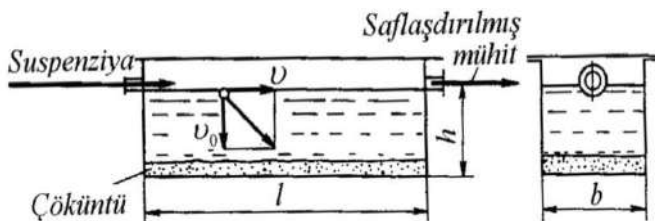
Filtrləmənin əsas kritik tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$\frac{dv}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{lr}.$$

2.5. Qravitasiya qüvvəsinin təsirindən çökdürmə

Müxtəlifcinsli maye və ya qazşəkilli sistemlərə qravitasiya qüvvəsinin təsiri nəticəsində bərk və ya maye hissəciklərin ayrılması zamanı çökdürmə baş verir. Suspenziyaların, emulsiyaların və tozların ayrılması üçün çökdürmədən istifadə edilir. Bu ayırma üsulu aşağı sürətlə xarakterizə edilir. Çökdürmə zamanı məhlulu dispers və dispersion fazalara tam ayırmaq olmur. Ancaq sadə qurğu və az enerji sərfi tələb edən bu prosesdən yeyinti və digər sənayedə geniş istifadə edilir.

Çökdürmə müxtəlif konstruksiyalı çökdürücülərdə yerinə yetirilir. Çökdürmə zamanı aşağıdakı şərtlər ödənilməlidir: 1) ayrılan axının aparatda qalma müddətinin hissəciklərin çökmə müddətindən az və ya bərabər olması; 2) axının xətti sürətinin çökmə sürətindən aşağı olması. Birinci şərt pozulduqda hissəciklər ayrılıb aparatda çökməyə vaxt tapmır, ikinci şərt pozulduqda yaranan burulğanlı axınlar mayeni bulandırır və çökən hissəcikləri çökdürücüdən aparır. Çökdürücünün işi aşağıdakı kimidir (şək.2.3). Kameranın ölçüləri l, h, b olan düzbucaqlı çökdürücüyə xətti sürəti v olan müxtəlifcinsli məhlul daxil olur. Suspenziyanın çökdürücüdə hərəkəti zamanı çökmə baş verir və bərk hissəciklər dibə çökərək çöküntü layı əmələ gətirir. Çökdürücülər ən xırda hissəciklərin çökməsinə görə hesablanır.



Şəkl.2.3. Çökdürücünün məhsuldarlığının hesablanması sxemi

Çökdürücünün məhsuldarlığı ilə onun ölçüləri arasında aşağıdakı asılılıq olur:

$$V = lhb - V_{\tau}\tau_0,$$

burada V_{τ} - çökdürücünün saniyə məhsuldarlığıdır, m^3/san ;
 τ_0 - hissəciklərin orta çökmə müddətidir, san.

$$\tau_0 = \frac{h}{v_0},$$

burada v_0 - hissəciklərin orta çökmə sürətidir.

Çökdürücünün xüsusi məhsuldarlığı

$$V_{\tau} = lbv_0, \quad (2.31)$$

yəni çökmə səthi ($F_0 = lb$) ilə orta çökmə sürətinin hasilinə bərabərdir.

Maye layının hündürlüyünü azaltmaqla çökmə müddətini azaltmaq olar. Bu şərt çoxyaruslu çökdürücülərdə, boşqablı separatorlarda həyata keçirilir.

Əgər çökdürücünün məhsuldarlığı verilsə, onda (2.31) tənliyindən çökmə səthinin sahəsi təyin edilir:

$$F_0 = \frac{V_{\tau}}{v_0} \text{ və ya } F_0 = \frac{G_{\tau}}{\rho_n v_0}, \quad (2.32)$$

burada G_{τ} - çökdürücünün məhsuldarlığıdır, $G_{\tau} = G_n / \tau$,
 kq/san ;

ρ_n - məhsulun sıxlığıdır, kq/m³.

$$G_n = G_c \frac{x_0 - x_c}{x_0 - x_n}$$

tənliyi nəzərə alınaraq (2.32) tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$F_0 = \frac{G_c}{\rho v_0 \tau} \cdot \frac{x_0 - x_c}{x_0 - x_n}. \quad (2.33)$$

Çökdürücünün maye layının hündürlüyünü h azaltmaqla onun işinin səmərəliliyini artırmaq olur.

2.6. Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən çökdürmə

Tozların, suspenziyaların və emulsiyaların ayrılmasını intensivləşdirmək məqsədilə mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsiri ilə çökdürmə aparılır. Mərkəzdənqaçma qüvvələrinin sahəsini yaratmaq üçün iki texniki üsuldən istifadə edilir: 1) maye və ya qaz axını hərəkətsiz aparatda hərəkət edir; 2) axın fırlanan aparata daxil olur və onunla birgə fırlanır. Birinci siklonlarda, ikinci isə çökdürücü sentrifugalarda və ya separatorlarda yerinə yetirilir.

Fırlanan axında asılı hissəciyə mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsir edir və bunun nəticəsində hissəcik mərkəzdən aparatın divarlarına tərəf hərəkət edir.

Mərkəzdənqaçma qüvvəsi

$$G_m = \frac{mW_r^2}{r}, \quad (2.34)$$

burada m - hissəciyin kütləsi, kq;

W_r - fırlanmanın çevrə sürəti, m/san;

r - fırlanma radiusu, m.

Fırlanmanın çevrə sürəti

$$W_r = \omega r = \frac{2\pi r}{60},$$

burada ω - fırlanmanın bucaq sürəti, rad/san;

n - fırlanma tezliyi, $dəq^{-1}$ (dövr/dəq).

Ağırlıq qüvvəsi və mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən ayrılma səmərəliliyi müqayisə edilir. Qravitasiyalı çökdürücülərdə hissəciyə ağırlıq qüvvəsi təsir edir.

$$G_T = mg. \quad (2.35)$$

(2.34) və (2.35) tənliklərindən

$$\frac{G_m}{G_T} = \frac{W_r^2}{gr} = K_m.$$

Beləliklə, mərkəzdənqaçma qüvvəsi ağırlıq qüvvəsindən K_m dəfə böyükdür. $K_m = \frac{W_r^2}{gr}$ ayrılma faktoru adlanır.

Sentrifuqanın rotorunun fırlanma tezliyi artdıqca və onun diametri azaldıqca yaranan mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsiri sahəsində ayrılma effekti artır. Çevrə sürəti fırlanma tezliyi ilə əvəz edilərsə

$$K_m \approx \frac{n^2 r}{900}.$$

Ayırma faktoru sentrifuqanın vacib xarakteristikası olub onun ayrılma qabiliyyətini təyin edir.

Çökdürücü sentrifuqalarda suspenziyaların ayrılma prosesi bərk hissəciklərin barabanın divarlarına çökmə və çöküntünün kiçikləşmə mərhələlərindən ibarətdir.

Həqiqi məhsuldarlığın hesabat məhsuldarlığına nisbəti çökdürücü sentrifuqaların səmərəlilik əmsalı adlanır:

$$\eta = \frac{Q_h}{Q_r},$$

burada Q_h - həqiqi məhsuldarlıq;
 Q_r - hesabat məhsuldarlığı.

Hər konkret sentrifuqa üçün səmərəlilik əmsalı təcrübi yolla təyin edilir.

2.7. Çökdürmə avadanlıqları

Çökdürmə avadanlığı təsir prinsipinə görə qravitasiyalı çökdürücülərə, çökdürücü sentrifuqalara, hidrosiklonlara və separatorlara bölünür.

Çökdürücülər periodik, fasiləsiz və yarımfasiləsiz təsirli olurlar.

Periodik təsirli çökdürücü qarışdırıcısı olmayan hovuzdan ibarətdir. Hovuzda suspenziya doldurulur və orada saflaşana qədər qalır. Mayenin saflaşmış layı ştuser vasitəsilə çıxarılır (axıdılır). Çöküntü əl ilə çıxarılır.

Çökdürücü sentrifuqalar. Çökdürücü aparatlar kimi, çökdürücü sentrifuqalar iş rejiminə görə 3 qrupa bölünür:

1) periodik sentrifuqalarda suspenziya periodik olaraq verilir və ayrılma məhsulları periodik olaraq çıxarılır;

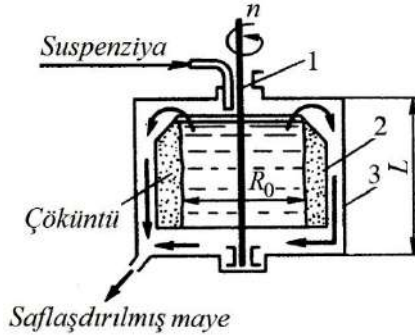
2) yarımfasiləsiz təsirli sentrifuqalarda müxtəlifcinsli məhlul müəyyən müddət ərzində fasiləsiz verilir, həmin müddət ərzində təmizlənmiş məhsul fasiləsiz, çöküntü isə periodik çıxarılır;

3) fasiləsiz təsirli sentrifuqalarda ayrılan məhlul və ayrılmış məhlulların çıxarılması fasiləsiz yerinə yetirilir. Bu prinsiplə işləyən sentrifuqalara separatorlar və şnekli çökdürücü sentrifuqalar aiddir.

Çöküntüsü əl ilə boşaldılan periodik tipli saflaşdırıcı sentrifuqa korpusa yerləşdirilmiş barabandan ibarətdir (şək.2.4).

Barabanın fırlanmasından yaranan mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən bərk hissəciklər bütöv lay şəklində barabanın divarlarına çökür, saflaşmış maye köynəyə, oradan isə altda yerləşən **qısa boruya** axaraq kənarlaşır. Proses başa çatdıqda çöküntü sentrifuqadan çıxarılır.

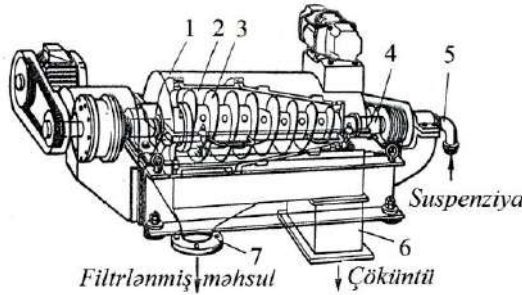
Saflaşdırıcı sentrifuqada proses səspenziyanın ayrılmasından (çökdürmədən) və çöküntünün kipləşməsindən ibarətdir.



Şək.2.4. Saflaşdırıcı sentrifuqa

1-val; 2-baraban; 3-korpus

Çöküntüsü şneklə çıxarılan fasiləsiz təsirli saflaşdırıcı üfiqi sentrifuqalar nişasta istehsalında, konsentrat alınmasında və başqa istehsal sahələrində tətbiq olunur. Sentrifuqa rotordan və korpusun içərisinə yerləşdirilən daxili şnek qurğusundan ibarətdir. Suspenziya mərkəzi borudan şnekin içi boş valına verilir. Bu borudan çıxışda şnekin daxilində suspenziya mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirindən rotorun daxilində paylanır (şək.2.5).



Şək.2.5. Çöküntüsü şneklə çıxarılan fasiləsiz təsirli saflaşdırıcı üfiqi sentrifuqa:

1-korpus; 2-rotor; 3-şnek; 4-içi boş val; 5-mərkəzi borucuq;
6-çöküntü kamerası; 7-filtrat üçün **qısa boru**

Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən bərk hissəciklər rotorun divarlarına tullanılır, maye isə daxili halqa yaradır. Şnekin

fırlanma sürəti rotorun fırlanma sürətindən az olduğundan yaranan çöküntü rotorun yarıqlarına tərəf hərəkət edir və oradan da kame-
raya verilərək sentrifudadan çıxarılır.

Rotor boyunca hərəkət etdikdə çöküntü kipləşir. Lazım gəl-
dikdə yuyulur. Saflaşmış maye axıdan deşiklərlə filtratın kamera-
sına axır və **qısa boru** vasitəsilə kənarlaşır. Rotor və şnekin fırlan-
ma tezliyini dəyişməklə sentrifuqanın iş rejimini nizamlamaq olar.

Saflaşdırıcı sentrifuqaların məhsuldarlığı çökdürmə sürəti,
ayırma faktorları və sentrafuqanın rotorunda çökdürmə səthinin
sahəsi ilə təyin olunur:

$$V_{\tau} = \eta F' V_m,$$

burada η - mütənasiblik əmsalı;

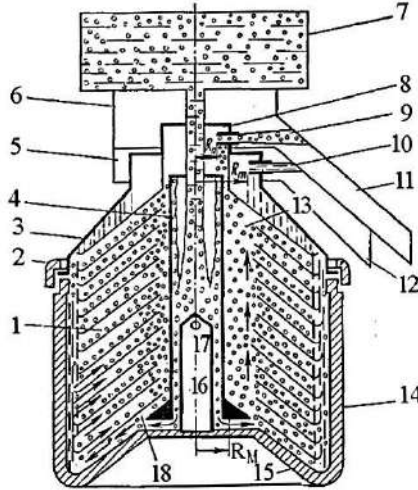
$F' = 2\pi R_o L$ - barabanda suspenziyanın güzgü səthi-
nin sahəsidir, m^2 (burada R_o - suspenziyanın hal-
qa layının daxili diametri, m; L - barabanın uzun-
luğudur, m);

$v_m = v_0 \cdot K_m$ - mərkəzdənqaçma çökdürməsinin sürəti,
m/san (burada v_0 - qravitasiyalı çökdürmənin
sürəti, m/s; K_m - ayrılma faktorudur).

Separatorlar. Boşqablı separatorlar emulsiyaları və suspen-
ziyaları ayırmaq üçün nəzərdə tutulur. Bu aparatların rotorunda
konusvari boşqabların quraşdırılması hesabına maye axını çoxlu
sayda nazik laylara ayrılır, laminar axın rejimini təmin edir və
çökmə yolunu azaldır. Boşqablı separator polad korpusdan, ko-
nusdan, boşqab tutucudan, konusvari boşqablar dəstindən, ayrılan
məhsulları yığmaq üçün çənlərdən və s. ibarətdir.

Müxtəlifcinsli məhlul qəbuledicidən keçərək, tərpənməyən
boru vasitəsilə barabanla birgə fırlanan mərkəzi boruya daxil olur
və alt hissəyə tökülən maye mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirindən
kənarlara sıxılır. Mayenin sonrakı yolu boşqabların konstruksiya-
sından asılı olur. Məsələn, südayırıcı separatorlarda boşqablarda
hər 120° -dən bir deşiklər (yarıq) yerləşir. Maya separatorlarında
deşik olmur.

Deşikli separatorlarda boşqablar dəsti elə yığılıb ki, deşiklər üst-üstə düşür və nəticədə üç şaquli kanal əmələ gəlir. Üst boşqabda deşik olmur. Boşqabların iç tərəfində 120° -dən bir, hündürlüyü $0,3 \dots 0,4$ mm olan çıxıntılar yerləşir. Boşqablar aralarında çıxıntıların hündürlüyünə bərabər ara məsafəi yaratmaqla bu çıxıntılı boşqablar bir-birinin üzərində yerləşir (şək.2.6).



Şək. 2.6. Boşqablı separatorun sxemi:

1-boşqablar; 2-həlqə; 3-konus; 4-mərkəzi borucuq; 5, 6-ayrılan məhsullar üçün çən; 7-qəbuledici çən; 8-borucuq; 9, 10-ayrılan məhsulları çıxarmaq üçün deşiklər; 11, 12-çıxarma qısaboruları; 13-kanallar; 14-polad korpus; 15- dib; 16-qalıd divarlı boru; 17-deşik; 18-boşqab tutucu

Məhlul şaquli kanallarla (yarıqlarla) qalxaraq mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirindən boşqabların arasında paylanır. Boşqablar-arası məsafədə mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən ağır komponent barabanın kənarına tərəf, yüngül komponent isə mərkəzə tərəf yönəlir. Bunun nəticəsində boşqablararası yarıqda iki əks istiqamətli axın yaranır: a) alt boşqabın xarici səthi ilə fırlanma oxuna tərəf yönələn yüngül məhsul axını; b) boşqabın daxili səthi ilə kənarlara tərəf yönələn ağır məhsul axını.

Məhsul konusvari boşqablarla hərəkət etdikdə dispers fazanın

hissəcikləri bir laydan digərinə keçir, bu səbəbdən də layların konstruksiyası və qalınlığı müxtəlif olur. Mərkəzi borunun yaxınlığında yüngül komponent dəşiklərdən bölüşdürücü boşqabın altına keçir, sonra mərkəzi boru və bölüşdürücü boşqabın silindrik qurtaracağında yerləşən həlqəvi dəşikdən çənə yığılır və buradan da qəbulediciyə axıdılır. Korpusun divarlarına yönələn ağır məhsul yuxarı qalxır və bölüşdürücü boşqabın xarici səthi ilə konusvari qapağın arasına dolur, sonra yığıcı çənə verilərək oradan da çıxarılır.

Çökdürücü aparatlarla müqayisədə separatorlar aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

1) separatorun fırlanma tezliyi orta hesabla 5000...6000 dövr/dəq, barabanların diametri 250...300 mm olduğundan onların mərkəzdənqaçma təcili min dəfələrlə qravitasiya təcilindən çox olur, yəni çökmə sürəti də min dəfələrlə artıq olur. Belə ki, süd separatorlarında rotorun radiusu $R_2=64$ və $R_1=155$ mm, fırlanma tezliyi $n=6000$ dövr/dəq olarsa hissəciklərin çökmə sürəti çökdürücünün çökmə sürətindən 4000 dəfə çox olacaqdır.

2) separatorlarda çökmə səthinin nisbətən çox olması boşqabların miqdarının çox olması və ara məsafəsinin kiçik olması ilə təmin olunur. Belə böyük səth separatorların yüksək məhsuldarlığını təmin edir. Separatorların tutduğu sahə min dəfələrlə çökdürücülərin tutduğu sahədən kiçik olur. Bundan başqa separatorlarda ayırma prosesi həm tez, həm də steril şəraitdə baş verir.

Yoxlama sualları

1. Hansı qeyri-yekcins sistemləri bilirsiniz? 2. Ayırma proseslərinin material balansından hansı kəmiyyətlər təyin edilir? 3. Ayırma effekti nə ilə xarakterizə olunur? 4. Çökdürmə prosesini hansı hidrodinamiki oxşarlıq kriteriyaları xarakterizə edir? 5. Çökmənin kriteriya tənliyi hansı metodlarla alınır? 6. Çökmə prosesi hansı rejimlərdə baş verə bilər? 7. Laminar rejimdə çökmə hansı tənliklərlə ifadə olunur? 8. Separatorlar hansı funksiyanı yerinə yetirirlər? 9. Çökdürmənin hərəkətedici qüvvəsi nədir? 10. Mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirdən ayrılmanın effektini təyin edən faktorlar hansılardır? 11. Separatorlarda, hidrosiklonlarda və sentrifugalarda hərəkətedici qüvvə nədir?

FƏSİL 3 FİLTRLƏMƏ

Bərk dispersion fazalı müxtəlifcinsli sistemlərin ayrılma prosesi filtrləmə adlanır. Burada bərk hissəciklər məsaməli arakəsmələrlə tutulur və dispersion mühit bu arakəsmələrdən keçməklə təmizlənir. Mayələrin və qazların filtrlənməsi dispersion mühitin xarakterinə görə yerinə yetirilir. Bu proseslər qida sənayesində geniş yayılmışdır. Məsələn, şəkər istehsalında şirədən çöküntü ayırmada və siropların təmizlənməsində filtrləmədən istifadə olunur. Pivə, şərab, araq-likör və şirələrin istehsalında hazır məhsulun durdulması üçün filtrləmədən geniş istifadə olunur. Çörək, un, spirt istehsalı müəssisələrində qazların təmizlənməsi də filtrlərin köməyi ilə yerinə yetirilir.

3.1. Filtrləmə proseslərinin tipləri

Müəyyən edilmişdir ki, sənaye filtrləmə prosesləri mexanizmi iki qrupa ayrılır. Çöküntü əmələ gətirən filtrləmə prosesləri birinci qrupa aiddir. Özlülüyü aşağı olan və asılı maddələrin miqdarı çox olan mayələr birinci qrupa daxil edilir.

Adətən filtrin məsamələrinin ölçüləri asılı hissəciklərin ölçülərindən böyük olur, lakin bu hissəciklər yalnız ilk filtrlənən məhsulla gedir. Sonrakı filtrləmədə məsamələr hissəciklərlə dolur və bu da kapilyarların çirklənməsinin qarşısını alır. Burada çöküntü layı əmələ gəlir və filtrləmə getdikcə çöküntü layının qalınlığı artır. Layın qalınlığı artdıqca filtrlənməyə müqavimət artır və onun sürəti azalır.

İkinci filtrləmə tipi tıxaclı filtrləmədir. Hissəciklərin ölçüləri kiçik, miqdarı az olduqda və özlü suspenziyaların filtrlənməsi zamanı tıxaclı filtrləmə baş verir. Belə suspenziyalarda çökmə yavaş gedir. Bərk hissəciklər kapilyarlara dolur və orada ilişib qalır, bəziləri isə ilişməyərək keçib gedir. Bərk hissəciklər filtrin məsamələrində toplanaraq məsamələri tıxayır. Tıxanma artdıqca filtrlərin canlı en kəsiyi azalır və müqavimət artır. Pivə zavodlarında pi-

vənin filtrlənməsi bu filtrləməyə yaxındır. Bu iki tip filtrləmədən başqa üçüncü aralıq tipli, yəni həm birinci, həm ikinci tip filtrləməni özündə birləşdirən filtrləmə də mövcuddur.

Göründüyü kimi, filtrləmə tipi suspenziyanın xassələrindən, filtrləyici arakəsmədən, filtrləmə təzyiqindən asılıdır və buna görə də eyni suspenziya fərqli şəraitlərdə müxtəlif cür filtrlənir.

3.2. Çöküntülü filtrləmə nəzəriyyəsi

Filtrləmə nəzəriyyəsinin əsas məsələlərindən biri filtrləməyə təsir edən müxtəlif faktorlardan asılı olaraq filtrləmə sürətinin təyin edilməsidir. Filtrləmə sürəti ν vahid zamanda filtrlənən mayenin miqdarının vahid filtrləmə həcminə nisbətidir. Filtrin V (m^3), filtrləmə səthi F (m^2), filtrləmə müddəti τ (san) ilə işarə edilir.

$$\nu = \frac{V}{F\tau}. \quad (3.1)$$

Mürəkkəb funksiya olan filtrləmə sürətinin əsas faktorları aşağıdakılardır: çöküntünün strukturu, çöküntü layının qalınlığı, filtrləyici arakəsmənin xarakteri, mayenin özlülüyü, prosesin hərəkətedici qüvvəsi. Filtrləmə prosesinin hərəkətedici qüvvəsi Δp (Pa) mayenin filtrləmə qatının üzərində yaranan və mayenin laydan keçərkən yaratdığı təzyiqlər fərqinə bərabərdir (şək.3.1):

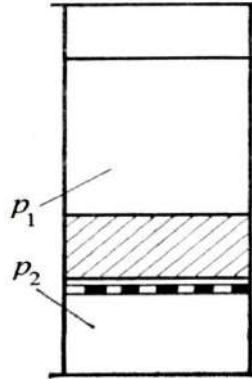
$$\Delta p = p_1 - p_2. \quad (3.2)$$

Δp fərqi filtrləyici layın üstündə təzyiqin artması və ya onun altında vakuumin yaranması hesabına yaranır. Δp -nın yaranması üsulundan asılı olaraq təzyiq altında və vakuum altında işləyən filtrlər olur.

Filtrləmə nəzəriyyəsi çöküntünün kapilyarı ilə mayenin axmasının laminar xarakter daşmasına əsaslanır. Bu ondan irəli gəlir ki, çöküntünün məsələlərinin diametri çox kiçikdir, buna görə də

$$Re = \frac{w \cdot d}{\gamma}$$

kritik qiymətindən aşağı olacaqdır.



Şək.3.1. Çöküntülü filtrləmənin sxemi

Buradan görünür ki, filtrin kapilyarları ilə mayenin axması Puazeyl tənliyinə tabe olur.

$$w = \frac{\Delta p d^2}{32 \eta l}, \quad (3.3)$$

burada w - kapilyarda mayenin hərəkət sürəti, m/san;

p - təzyiq, Pa;

d - kapilyarın diametri, m;

l - kapilyarın uzunluğu, m;

η - özlülük, Pa·san.

Bir kapilyardan keçən maye sərfi (m^3/san)

$$q = \frac{\pi d^2}{4} w$$

və ya

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \left[\frac{\Delta p d^2}{32 \eta l} \right] = \frac{\Delta p d^4 \alpha}{32 \eta l}, \quad (3.4)$$

burada $\alpha = \frac{\pi}{4}$ - kapilyarın formasından asılıdır.

Əgər filtrləmə sahəsi F -ə bərabərdirsə, səth vahidinə düşən məsamələrin sayı z olarsa, onda τ zaman müddəti ərzində

$$Q = q\tau Fz = \left(\frac{\Delta p d^4 \alpha}{32 \eta l} \right) \tau Fz. \quad (3.5)$$

(3.5) tənliyində professor Q.M.Znamenski tərəfindən təklif olunan dəyişikliklər edilir. Kapilyarın uzunluğunun l filtrləyici layın qalınlığından asılılığı aşağıdakı kimi göstərilir:

$$l = \beta S, \quad (3.6)$$

burada $\beta > 1$ - kapilyarın əyrixətliliyini xarakterizə edən əmsaldır.

Vahid səthə düşən kapilyarların miqdarı çöküntünün hissəciklərinin ölçülərindən asılıdır. Fərz etmək olar ki, vahid səthdə kapilyarların miqdarı

$$z = \frac{\varepsilon}{D^2}, \quad (3.7)$$

burada D - hissəciklərin diametri, m;

ε - mütənasiblik əmsalıdır.

3.3. Çöküntülü filtrləmənin iki rejimi

Filtrdən keçən filtratın miqdarı artdıqca onun səthindəki çöküntü layı artır ki, bu da müqavimətin artmasına səbəb olur. Əgər Δp sabit qalarsa, onda filtrləmə sürəti ν azalar. Belə filtrləmə rejimi sabit təzyiqli filtrləmə adlanır.

Digər filtrləmə rejimi sabit sürətdə filtrləmədir. Belə rejimdə mütəmadi olaraq təzyiqli artırmaq lazım gəlir. Bu filtrləmə rejimlə-

rini ayrı-ayrılıqda nəzərdən keçirək.

Sabit təzyiqdə filtrləmə. Normal təzyiqdə 1 m^2 səthə malik filtrdən keçən çöküntünün həcmi ε ilə işarə edirik. Onda

$$S_0 = \frac{V\varepsilon}{F}, \quad (3.8)$$

burada $V - \tau$ müddətində F sahəsindən keçən filtratın həcmidir. Sonsuz kiçik zaman müddətində $d\tau$ filtrdən keçən filtratın həcmi

$$dV = vFd\tau. \quad (3.9)$$

Sıxılan çöküntü üçün (3.8) tənliyi aşağıdakı kimi yazılacaq:

$$dV = vFd\tau = \Delta p(1 - \Delta p/G) \cdot \frac{Fd\tau}{\sigma_0 S_0 \eta}$$

və ya (3.9) tənliyinə görə

$$dV = \frac{\Delta p(1 - \Delta p/G)F^2 d\tau}{\sigma_0 \eta V \varepsilon}. \quad (3.10)$$

Buradan

$$VdV = \frac{\Delta p(1 - \Delta p/G)F^2 d\tau}{\sigma_0 \eta \varepsilon}.$$

Bu tənliyi 0-dan V -yə və 0-dan τ -ya kimi inteqrallasaq alarıq:

$$\frac{V^2}{2} = \frac{\Delta p(1 - \Delta p/G)F^2 \tau}{\sigma_0 \eta \varepsilon}. \quad (3.11)$$

Buradan

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta p(1 - \Delta p/G)\tau}{\sigma_0 \eta \varepsilon}}. \quad (3.12)$$

Bu tənliklərdən filtrin məhsuldarlığını təyin etmək olar. Bunun üçün filtrin səthi F , iş müddəti τ , təzyiqi $\Delta p = \text{const}$, həmçinin çöküntü və filtratın xassələri σ_0 , η , ε , G məlum olmalıdır.

τ müddətində çöküntünün qalınlığını S_0 (3.8) tənliyindən təyin edək. Bu tənliyə (3.12) tənliyindən V -nin qiymətini yazsaq:

$$S_0 = F \sqrt{\frac{2\Delta p(1 - \Delta p/G)\tau}{\sigma_0\eta\varepsilon}} \cdot \frac{\varepsilon}{F}$$

və ya

$$S_0 = F \sqrt{2\Delta p(1 - \Delta p/G)\tau\varepsilon / \sigma_0\eta} . \quad (3.13)$$

Δp təzyiqində çöküntünün qalınlığı

$$S = S_0 \left(1 - \frac{\Delta p}{G}\right).$$

Buradan

$$S = \sqrt{2\Delta p(1 - \Delta p/G)\tau\varepsilon / \sigma_0\eta} \cdot (1 - \Delta p/G)$$

və ya

$$S = \sqrt{2\Delta p(1 - \Delta p/G)^3 \tau\varepsilon / \sigma_0\eta} . \quad (3.14)$$

(3.14) tənliyindən istifadə etməklə çöküntünün qalınlığı hesablanabilir.

Sabit sürətdə filtrləmə. (3.8) tənliyindən

$$\sigma_0\eta S_0 = \Delta p(1 - \Delta p/G) \cdot \nu . \quad (3.15)$$

Bu tənlikdə S_0 və Δp dəyişənlərdir. (3.15) ifadəsini differensiallamaqla

$$\sigma_0\eta dS_0 = \frac{d(\Delta p) - 2\Delta p d(\Delta p)/G}{\nu} . \quad (3.16)$$

Buradan

$$dS_0 = [d(\Delta p)(2\Delta p d(\Delta p)/G)]/G_0\eta v. \quad (3.17)$$

(3.8) tənliyinin sağ hissəsini

$$S_0 = \frac{V\varepsilon}{F}.$$

Eyni zamanda τ -ya vurub və bölməklə

$$S_0 = \frac{V\varepsilon\tau}{F\tau} = \varepsilon\tau v; \quad (3.18)$$

$$v = \frac{V}{F\tau}.$$

(3.18) tənliyini differensiallasaq

$$dS_0 = \frac{\varepsilon v}{d\tau}, \quad (3.19)$$

$v = \text{const}$ olduğundan

(3.19) və (3.17) tənliklərindən alınar:

$$d\tau = \frac{dS_0}{\varepsilon v} = \frac{d(\Delta p) - (2\Delta p d(\Delta p)/G)}{\sigma_0 v^2 \eta \varepsilon}.$$

Bu tənliyi 0 - dan τ - ya və Δp_1 - dən Δp_2 -yə inteqrallasaq

$$\tau = (\Delta p_2 - \Delta p_1) - [(\Delta p_2^2 - \Delta p_1^2)/G]/v^2 \sigma_0 \eta \varepsilon. \quad (3.20)$$

Buradan

$$v = \sqrt{\frac{(\Delta p_2 - \Delta p_1) - [(\Delta p_2^2 - \Delta p_1^2)/G]}{\sigma_0 \eta \varepsilon \tau}}. \quad (3.21)$$

Filtrin məhsuldarlığı

$$V = F\tau v = F\sqrt{\{(\Delta p_2 - \Delta p_1) - [(\Delta p_2^2 - \Delta p_1^2)/G]\}}\tau / \sigma_0 \eta \varepsilon. \quad (3.22)$$

(3.8) tənliyindən çöküntü layının qalınlığını təyin edək:

$$S_0 = \frac{V\varepsilon}{F}.$$

Bu tənliyə (3.22) tənliyindən V -nin qiyməti yazılır:

$$S_0 = \sqrt{\frac{\{(\Delta p_2 - \Delta p_1) - [(\Delta p_2^2 - \Delta p_1^2)/G]\} \tau \varepsilon}{\sigma_0 \eta}}. \quad (3.23)$$

$S = S_0(1 - \Delta p/G)$ olduğu üçün

$$S = \left(1 - \frac{\Delta p}{G}\right) \sqrt{\frac{\{(\Delta p_2 - \Delta p_1) - [(\Delta p_2^2 - \Delta p_1^2)/G]\} \tau \varepsilon}{\sigma_0 \eta}}. \quad (3.24)$$

Bu tənliklərdə çöküntünün sıxılma modulu G sabit qalmır, çünki təzyiqin dəyişməsi ilə o da dəyişir. Bu səbəbdən belə tənlikləri həll etdikdə modulun qiyməti orta təzyiq üçün qəbul edilir, $(\Delta p_1 + \Delta p_2)/2$. Sənayedə qarışıq filtrləmə rejimindən istifadə olunur. Birinci mərhələdə sabit sürətli, sonrakı mərhələdə isə sabit təzyiqli filtrləmədən istifadə edilir.

3.4. Çöküntüsüz filtrləmənin əsas qanunları (tıxaclı filtrləmə)

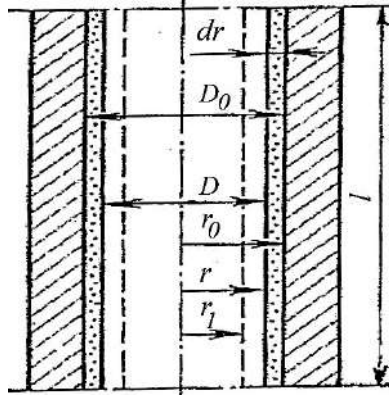
Fərz edək ki, filtrləyici arakəsmə sabit uzunluğu və en kəsiyi olan paralel kapilyarlardan ibarətdir (şək.3.2). Maye filtrləndikcə kapilyarların en kəsikləri asılı hissəciklərin orada ilişməsi hesabına kiçilir. Beləliklə, kapilyarların en kəsiyinin sahəsi zaman funksiyasıdır: $r = f(r)$.

Vahid filtrat həcmindən keçən çöküntünün həcmi ε ilə işarələyək. z – vahid səthdə kapilyarların sayıdır, kapilyarın başlanğıc radiusu r_0 , kapilyarın dəyişən radiusu r – dir.

Əgər filtrləmə başladıqdan bir müddət sonra filtrdən dV həcmində filtrat keçəcəksə, onda bir kapilyarın divarlarında $\varepsilon dV/z$

miqdarında çöküntü olacaq; bu halda kapilyarın radiusu dr qiyməti qədər azalacaq. Əgər kapilyarın uzunluğu l -ə bərabərdirsə, onda

$$\varepsilon dV / z = 2\pi dr.$$



Şək.3.2. Tıxaclı filtrləmənin sxemi

Bu tənliyi 0-dan V_1 -ə kimi və r_1 -dən r_0 -a kimi inteqrallaşaq, alarıq:

$$\varepsilon V_1 / z = \pi l (r_0^2 - r_1^2),$$

buradan

$$V_1 = (\pi l / \varepsilon) (r_0^2 - r_1^2). \quad (3.25)$$

Burada V_1 kapilyarın radiusu r_1 -ə bərabər olana kimi filtrdən keçən filtratın həcmidir.

Puazeyl qanununa əsasən (3.3)

$$w = \Delta p d^2 / (32\eta l) = \Delta p r^2 / (8\eta l).$$

Əgər $\Delta p, \eta, l$ - sabit kəmiyyətlərdirsə, onda filtrləmənin başlanması üçün

$$w = \Delta p r^2 / (8\eta l), \quad (3.26)$$

$r=r_l$ momenti üçün isə

$$w = \Delta p r_l^2 / (8\eta l). \quad (3.27)$$

(3.26) və (3.27) tənliklərindən görünür ki,

$$r_0^2 = w_0 8\eta l / \Delta p \quad \text{və} \quad r_1^2 = w_1 8\eta l / \Delta p.$$

Alınan qiymətləri (3.25) tənliyinə qoysaq alarıq:

$$V_1 = (\pi l z / \varepsilon (w_0 8\eta l / \Delta p - w_1 8\eta l / \Delta p)),$$

$$V_1 = (\pi l z / \varepsilon (8\eta l / \Delta p)) (w_0 - w_1). \quad (3.28)$$

Əgər filtrləməni tam tıxanmaya kimi davam etsək, onda $r_l=0$ və $w_l=0$ olar, onda

$$V = (\pi l^2 z 8\eta / \varepsilon \Delta p) w_0. \quad (3.29)$$

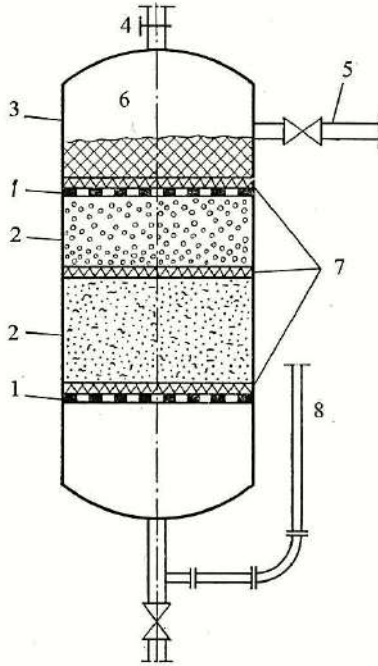
Bu tənliyə (3.26) tənliyindən w_n - in qiymətini qoysaq alarıq:

$$V = (\pi l z / \varepsilon) r_0^2 = flz / \varepsilon. \quad (3.30)$$

(3.30) tənliyindən görünür ki, bütün kapilyarlar çöküntü ilə dolana kimi filtrlənən mayenin keyfiyyəti kapilyarların ilkin həcminə flz düz və mayedə çöküntünün miqdarına tərs mütənasibdir. Qeyd etmək lazımdır ki, V kəmiyyəti filtratın özlülüyündən asılı deyil.

3.5. Filtrləmə aparatları

Qumlu filtrləmə aparatı. Qumlu filtrləmə aparatlarından mayedə bərk fazanın miqdarı nisbətən az olduqda istifadə olunur. Qida sənayesində suyun və likor-araq növlərinin filtrlənməsində istifadə olunur. Şəkil 3.3-də növləri filtrləmək üçün filtr aparatının sxemi verilmişdir. Aparatın silindrik gövdəsində iki şadralı disk-lər yerləşir. Onlar gövdəni üç hissəyə bölür: üst-qəbul, orta-filtrləmə və alt-çıxarıcı hissələr.



Şək.3.3. Qumlu filtr:

1-şadralı disklər; 2-qum; 3-gövdə; 4-hava kranı; 5-suspenziya vermək üçün boru; 6-pambıq; 7-filtrləyici parça; 8-filtratı çıxarmaq üçün boru

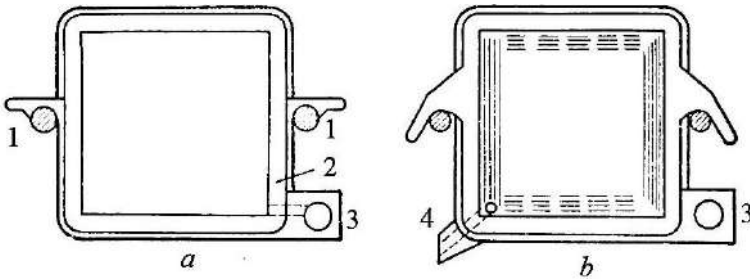
Filtrləyici qum layı disklər arasında filtrin ortasında yerləşir. Qum layı əvvəlcədən üzərinə parça örtülmüş alt diskin üzərinə tökülür. Qum layı parça ilə ayrılmış iri və xırda qumdan ibarətdir. Üst disk də parça ilə örtülür. Filtrlənən maye aşağı təzyiqlə (0,02...0,03 MPa) üst hissədən verilir, filtrat isə altından çıxarılır.

Aparatın üst qapağında hava çıxarmaq üçün kran yerləşir. Filtrləmənin əvvəlində adətən bulanlıq filtrat alınır. Bu səbəbdən o yenidən filtrlənməyə göndərilir. Çöküntünün kipləşməsi 15...30 dəqiqədən sonra baş verir və filtrat şəffaf olur. Filtrləmə sürəti 250-dən 750 l/(m²saat)-kimidir. O basqıdan, filtrin iş müddətindən və filtrlənən mayenin xassələrindən asılıdır. Filtrləmə sürəti azalanda aparat yenidən yüklənir. Bunun üçün maye tam çıxarılır.

dıqdan sonra filtrləyici parçalar və qum çıxarılır, təmiz yuyulur və sonra aparat yenidən doldurulur. Aparatın üstünlüyü onun sadə konstruksiyalı olmasıdır. Filtrləmə keyfiyyəti yüksəkdir, ancaq onun məhsuldarlığı aşağıdır. Onu yenidən təmizləyib doldurmaq üçün ağır əmək sərfi lazım gəlir.

Çərçivəli və kameralı filtr-preslər. Filtr-preslər nasosla yaradılan izafi təzyiqlə (0,3...0,4 MPa) işləyən aparatdır. Bu aparatlarda filtrləmə sürəti yüksəkdir. Burada filtrləyici arakəsmə kimi parçadan istifadə olunur. Parçanın növü filtrləyici maye və çöküntünün xarakterindən asılıdır. Belə ki, turşuların filtrlənməsində asbest və yun parçalardan, neytral, zəif turşular və zəif qələvilərin filtrlənməsində isə pambıq parçalardan istifadə olunur. Qida sənayesində ən geniş yayılan filtr-preslərdir. Bu filtrin əsas elementləri şəkil 3.4-də verilmişdir.

Çərçivələr və plitələr növbə ilə iki tirdə yerləşdirilir və plitələr filtrləyici parça ilə örtülür. Bir filtrdə olan çərçivələrin sayı-10-dan 60-a kimi olmaqla hər çərçivənin üzərində deşiklər yerləşir. Çərçivələr və plitələr yığılıb bir-birinə sıxılır və bu deşiklər vasitəsi ilə yaranan kanaldan filtr-presə filtrlənən suspenziya verilir.

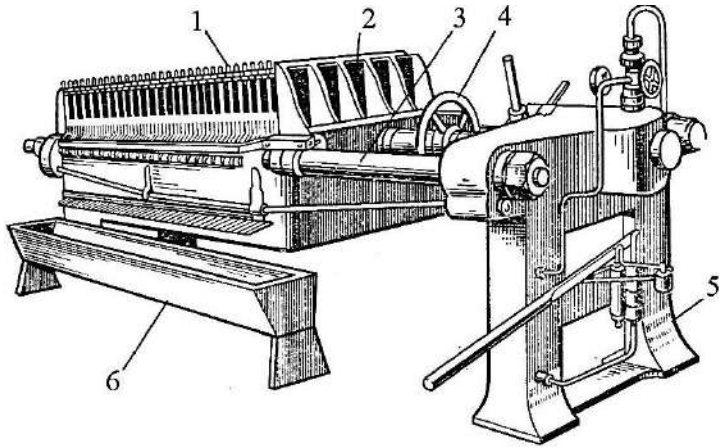


Şək.3.4. Filtr-preslərin elementləri:

a) çərçivə; b) plitə; 1-dayaq tirləri; 2-yarıqlar; 3-deşiklər; 4-ucluq

Bu kanaldan suspenziya 2 yarığından təzyiqlə çərçivənin içərisinə verilir. Çöküntü parça ilə saxlanılır, filtrat isə plitənin filtrləri ilə axaraq 4 ucluğundan yığıcı nova verilir. Çöküntü artdıqca filtrləmə sürəti azalır. Filtrləmə sürətini sabit saxlamaq üçün təzyiqi artırmaq lazım gəlir. Təzyiq həddü qiymətə çatdıqda filtrləmə

azalmış sürətdə aparılır. Filtrləmə başa çatdıqda çöküntü yuyulur. Şəkil 3.5-də filtr-presin ümumi görünüşü verilmişdir. Çərçivə və plitələrin sıxılması sıxıcı plitə vasitəsilə yerinə yetirilir.



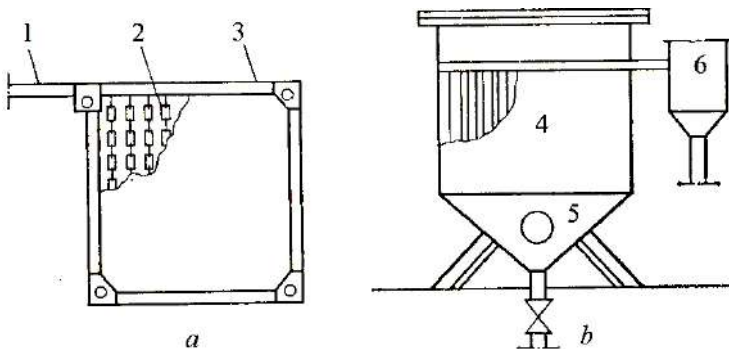
Şək.3.5. Çərçivəli filtr-pres:

1-çərçivələr və plitələr; 2-sıxıcı plitə; 3-tirlər; 4-sıxıcı tərtibat;
5-özül; 6-nov

Filtr presin işi tsikli aşağıdakı əməliyyatlardan ibarətdir: işə hazırlıq; filtrləmə; yuma; filtr-presin çöküntüsünün təmizlənməsi. Sonuncu əməliyyat əmək tutumludur. Suspenziyanın xarakterindən və təzyiqdən asılı olaraq filtrləməyə sərf olunan vaxt 60...300 dəqiqə təşkil edir.

Təbəqəli filtrlər. Bu qrup apatarlara bir çox konstruksiyalar aiddir ki, onların filtrləyici səthi filtrləyici parça ilə örtülmüş yastı elementlərdir (şək.3.6). Belə filtrin filtrləyici elementi parça torba geyindirilmiş çərçivədir. Bu səbəbdən təbəqəli filtrlərə hərdən torbalı filtrlər də deyilir. Şəkil 3.6,*b*-də təbəqəli filtr verilir. O içərisində filtrləyici elementlər yerləşən düzbucaqlı en kəsikli hermetik qapalı korpusdan ibarətdir (şək. 3.6,*a*).

Suspenziya təzyiqlə aparatın gövdəsinə verilir. Çöküntü filtrləyici elementin səthinə çökür, filtrat parçadan keçərək plitənin rifləri ilə yığıcı boruya ötürülür və bu borunun çıxışı qəbuledici novla birləşir.



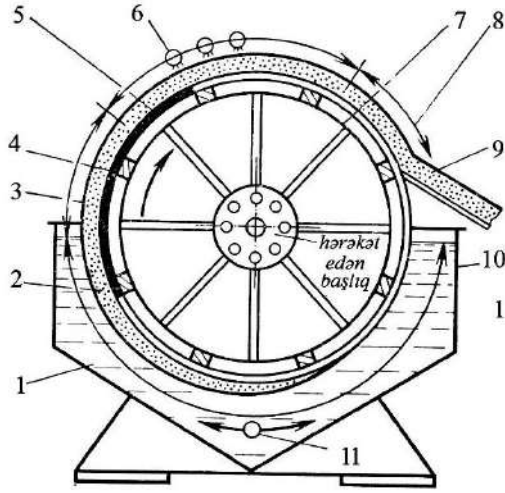
Şək.3.6. Filtrləyici elementlər (a) və təbəqəli torbalı filtr (b):

1-boru; 2-zəncirlər; 3-çərçivə; 4-qutu; 5-suspenziyanın verilməsi; 6-filtrat qəbuledicisi

Filtrləyici lövhələrdən çöküntü hidravliki yolla təmizlənir. Bir filtrdə qarışdırılan filtrləyici elementlərin sayı müxtəlif ola bilər, hətta 40 elementi olan aparatlara da rast gəlinir. Belə aparatın işi tsikli hazırlıq, filtrləmə, yuma, çöküntünün boşalması kimi əməliyyatlardan ibarətdir. Tsiklin müddəti 7 saatdan 24 saata kimidir. Bu tip aparatların üstünlüyü onun yığcamlığı, çatışmamazlığı isə filtrləyici torbaların təmizlənməsi ilə bağlı ağır və çirkli işlərinin yerinə yetirilməsidir.

Barabanlı vakuüm-filtr. Fasiləsiz təsirli filtrləmə aparatlarından ən geniş yayılanlarına vakuüm filtrlər aiddir (şək.3.7). Filtrləyici səth barabanı silindrik səthi olan şadaranın üzərinə çəkilən parçadan ibarətdir. Bu səth sektorlara bölünür. Hər bir sektor filtrin barabanla birgə fırlanan başlığının uyğun deşiyi ilə birləşir. Filtrlənəsi suspenziya təknəyə doldurulur. Çöküntünün təknəyə çökməməsi üçün titrəyişli hərəkət edən qarışdırıcı nəzərdə tutulur.

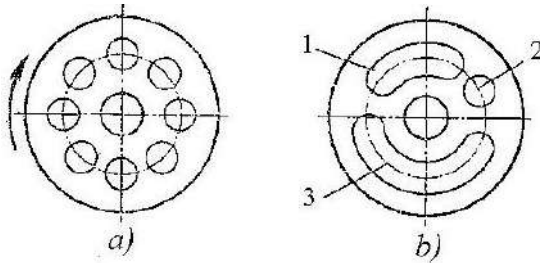
Əgər filtrin hərəkət edən başlığının deşiklərini vakuüm altında olan qəbuledici ilə birləşdirsək, onda filtrin suspenziya doldurulmuş uyğun sektorlarında boşluq yaranacaq, atmosferin xarici izafi təzyiqi mayeni filtrlənməyə məcbur edəcək və çöküntü isə barabanın səthinə çökəcəkdir. Baraban yavaş fırlandıqda çöküntü fasiləsiz olaraq onun təknəyə doldurulmuş səthində toplanacaq, alınan çöküntü qurutma, yuma və üfurmə zonalarını keçəcəkdir.



Şək.3.7. Barabanlı vakuüm-filtr:

1-filtrləmə zonası; 2-çöküntü; 3-quruma zonası; 4-metal şadara; 5-şadara altında parça; 6-yuma; 7-baraban; 8-üfürmə zonası; 9-çöküntünün çıxarılması; 10-təknə; 11-qarışdırıcı

Filtrin paylayıcı qurğusu onun başlığıdır. Onun hərəkətedici hissəsi şəkil 3.8-də verilmişdir. Hərəkət edən başlıq hərəkətsiz başlığa sıxılıb (şək.3.8.b), bu başlığın yarıqları filtrat qəbulednlə, yuyanla və sıxılmış hava verən kompressorla birləşir.

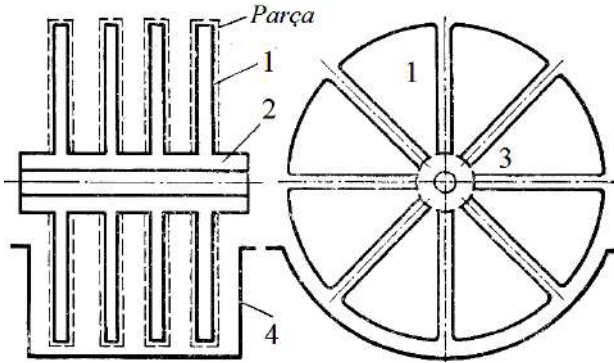


Şək.3.8. Filtrin hərəkətli (a) və hərəkətsiz (b) başlıqlarının sxemi:

1-yuyucu mayenin çıxarılması; 2-sıxılmış hava; 3-filtratın çıxarılması

Barabanın və onun hərəkət edən başlığının fırlanması zamanı onun deşikləri ardıcıl olaraq sektorları filtrat qəbuledicisi ilə, yuyucu ilə və kompressorla birləşdirir. Bu zaman sektorda filtrləmə, yuma və üfürmə baş verir.

Diskli vakuüm filtrlər. Sənayedə barabanlı vakuüm-filtrlərdən başqa diskli vakuüm-filtrlərdən də istifadə olunur (şək.3.9). Bu filtrlərdə filtrləyici element filtrləyici parça geyindirilmiş sektorlardır. Bu filtrlər daha yığcam olub və böyük filtrləmə səthinə malikdirlər. Diskli filtrlərin filtrləmə səthi 100 m^2 -ə kimi olur.



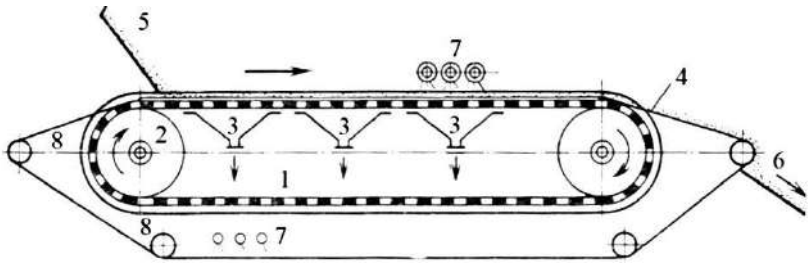
Şək.3.9. Diskli filtr:

1-sektorlar, disklər; 2-boş val; 3-paylayıcı qurğu; 4 - təkno

Bu filtrlərin iş prinsipi və quraşdırılması barabanlı filtrlərdən fərqli olub mürəkkəb konstruksiyaya malikdir. Diskli filtrlərin üstünlüyü az parça sərf olunması, çatışmamazlığı isə üzərində çöküntünün qeyri-bərabər olmasıdır ki, bu da çöküntünün pis yuyulmasına gətirib çıxarır.

Lentli vakuüm filtrlər. Vakuüm-filtrlərə lentli vakuüm filtrlər də aiddir (şək.3.10). Bu filtrlərin filtrləyici səthi sonsuz lent şəklində olan diyircək və barabanlara geyindirilmiş parçadır.

Parça perforasiya olunmuş rezin lentin üzəri ilə sürüşür. Filtrat və yuyulan məhlulu qəbul etmək üçün vakuüm-kamera nəzərdə tutulur. Çöküntü lentin əyilən hissəsində çıxarılır. Lentli vakuüm-filtrlər sadə konstruksiyaları ilə fərqlənirlər.

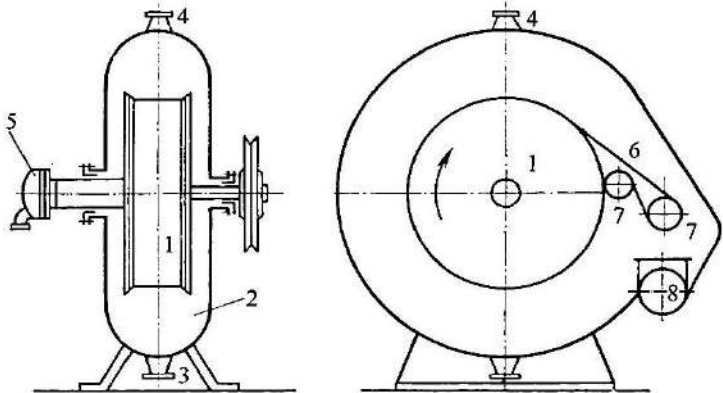


Şək.3.10. Lentli vakuum-filtr:

1-deşikli rezin lent; 2-barabanlar; 3-vakuum-kameralar; 4-filtrləyici parça; 5-suspenziyanın verimi; 6-çöküntünün çıxarılması; 7-yuma; 8-diyircəklər

Onların filtrləyici səthindən az istifadə olunur. Belə ki, burada filtrləyici parçadan qismən istifadə olunur.

Təzyiq altında işləyən barabanlı vakuum-filtrlər. Vakuum-filtrlərin çatışmamazlığı onların təzyiqinin az olmasıdır (0,1 MPa-ya qədər). Lakin təzyiq altında işləyən fasiləsiz barabanlı vakuum-filtrlərdə bu çatışmamazlıq yoxdur (şək.3.11). Suspenziya gərməlik bağlı gövdəyə 2 verilir. Burada təzyiq ucluqdan verilən sıxılmış hava vasitəsilə yaranır.



Şək.3.11. Təzyiq altında işləyən fasiləsiz təsirli barabanlı filtr:

1-baraban; 2-gövde; 3-suspenziyanın verilməsi; 4-ucluq; 5-paylayıcı başlıq; 6-parça; 7-tarımLAYICI diyircəklər; 8 - boşaldıcı şək.

Filtrləyici səth barabanın filtrləyici parça ilə örtülmüş səthidir. Çöküntü tarımlayıcı diyircəklər 7 vasitəsilə çıxarılır və filtdən boşaldıcı şnek 8 ilə kənarlaşdırılır. Barabanın fırlanması vakuum-filtdəki kimi baş verir. Paylayıcı başlıq vakuum-filtdəki prinsiplə işləyir. Bu tip baraban filtrləri 0,3...0,5 MPa təzyiqlə işləyir və bu da yüksək filtrləmə məhsuldarlığını təmin edir. Çatışmamazlığı çöküntünün çıxarılmasının və kənarlaşdırılmasının çətin olmasıdır ki, bu da konstruksiyanın mürəkkəbləşdirilməsinə səbəb olur. Bu səbəbdən barabanlı filtrlər qida sənayesində geniş yayılmamışdır.

3.6. Mərkəzdənqaçma filtrləmə

Mərkəzdənqaçma filtrləmə özünəməxsus proses olmaqla yuxarıda qeyd olunan filtrləmə proseslərindən fərqlənir. Mərkəzdənqaçma filtrləmə çöküntünün yaranması, çöküntünün kipləşməsi və çöküntünün mexaniki quruması pillələrindən ibarətdir. Birinci pillədə mayenin intensiv çıxarılması baş verir. Bu pillə üçün mərkəzdənqaçma filtrləmənin hərəkətedici qüvvəsini nəzərdən keçirək.

Yuxarıda qeyd olunan üsullarda hərəkətedici qüvvə əvəzinə cazibə qüvvəsi və ya mexaniki təzyiqlə qüvvəsi təsir edir. Mərkəzdənqaçma filtrləmədə hərəkətedici qüvvə mərkəzdənqaçma qüvvəsidir. Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən suspenziya dispers və dispersion fazalara ayrılır. Bu ayırma deşikli barabanda (şək.3.12) yerinə yetirilir.

Barabanın daxili səthi filtrləyici şadara və ya kiçik deşikləri olan parça ilə örtülür. Mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə ayrılan dispers faza barabanın filtrləyici səthinə çökərək çöküntü layı əmələ gətirir. Dispersion faza bu çöküntünün məsamələrindən və filtrləyici arakəsmənin deşiklərindən keçərək filtrlənmiş maye qəbuledicisinə toplanır.

Mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə yaranan təzyiqlə mərkəzdənqaçma filtrləmənin hərəkətedici qüvvəsidir.

$$p = \frac{\omega^2 \gamma (R^2 - r_0^2)}{2g}, \quad (3.31)$$

burada ω - hissəciyin fırlanmasının bucaq sürəti;
 r - hissəciyin fırlanma radiusu;
 R - maksimal fırlanma radiusu;
 γ - hissəciyin xüsusi çəkisidir.

$$p = p_h F_r, \quad (3.32)$$

burada p_h - filtrləyici layın üzərində olan maye layının hündürlüyünə bərabər maye sütununun hidrostatik təzyiqi;

F_r - ayrılma faktorudur.

Beləliklə

$$F_r = \frac{p}{p_h},$$

yəni mərkəzdənqaçma filtrləmənin təzyiqi hidrostatik təzyiqdən böyükdür

$$F_r = \frac{\omega^2 r_{or}}{g},$$

burada ω - fırlanma tezliyi, dövr/dəq.;

r_{or} - maye layın həlqəvi kəsiyinin orta radiusudur, m.

Beləliklə, mərkəzdənqaçma filtrləmənin təzyiqi sentrifuqanın barabanının fırlanmasının bucaq sürətinin kvadratından və maye layının həlqəvi kəsiyinin orta radiusundan asılıdır.

Mərkəzdənqaçma filtrləmənin digər iki pilləsi spesifik xarakter daşıyır və burada maye fazanın ayrılması mexanizmi adi filtrləmə mexanizmindən fərqlənir.

Birinci pillə ərzində çöküntü layı fasiləsiz olaraq artır. Suspenziyada olan bərk faza filtrləyici səthə tam çökdükdə və maye yalnız çöküntünün məsamələrində qaldıqda ikinci pillə başlayır. Bu pillədə çöküntünün kipləşməsi baş verir, məsamələrdə qalan maye mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən sıxılaraq çıxarılır. Bu mərkəzdənqaçma sıxılma nəticəsində çöküntünün hissəcikləri öz yerini dəyişərək bir-birinə yaxınlaşır. Ancaq bu pillədə emal

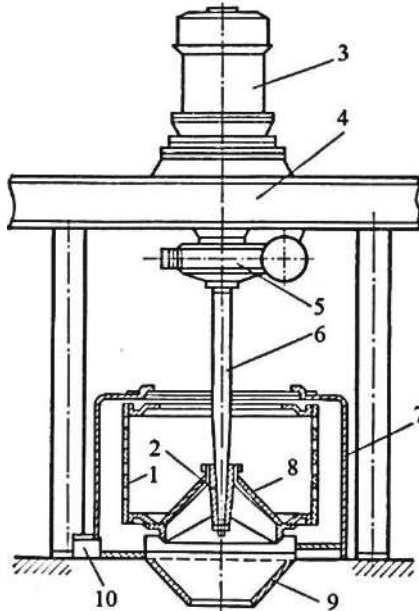
olunan sistem hələ ikifazlı qalır. Üçüncü pillə sistem üçfazlı olduqda başlayır, çünki filtratdan boşalan məsələlərə hava dolur bu pillədə maye çöküntüsünün hissəciklərində kapilyar və molekulyar qüvvələrlə saxlanılır. Mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirindən o tədricən filtrləyici arakəsməyə doğru hərəkət edir.

Mərkəzdənqaçma filtrləmə qida sənayesinin bir sıra sahələrində, eləcə də qlükozanın istehsalında da istifadə olunur.

3.7. Periodik və fasiləsiz təsirli filtrləyici sentrifugalər

Qida sənayesində periodik, yarımfasiləsiz və fasiləsiz təsirli sentrifugalardan istifadə olunur.

Şaquli vallı periodik təsirli sentrifuganın barabanı 1 rozetka 2 vasitəsilə alt dayağı olmayan vala 6 asılır və bu səbəbdən belə sentrifuga asqılı adlanır (şək.3.12).

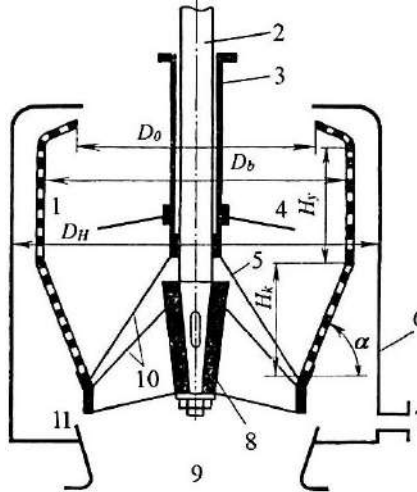


Şək.3.12. Asqılı filtrləyici sentrifuga:

1-baraban; 2-rozetka; 3-elektrik mühərriki; 4-gövdə; 5-əyləc;
6-val; 7-köynək; 8-qapaq; 9-filtrat çıxarmaq üçün boru

Sentrifuqanın valı mərkəzdənqaçma muftası vasitəsilə sentrifuqanın barabanını fırladan elektrik mühərrikinin valı ilə 3 birləşir. Sentrifuqa barabanın üst altlığında olan deşikdən boru vasitəsilə periodik olaraq doldurulur. Barabana verilən suspenziya rozetkanın deşiklərindən keçməsin deyə onlar qapaq 8 vasitəsilə örtülür. Boşalanda qapaq val istiqamətində yuxarı qaldırılır və çöküntü lyuka 9 tökülür. Filtrat köynəyin dibinə 7 daxil olur və oradan boru 10 vasitəsilə çıxarılır.

Barabanı dayandırmaq üçün lentli əyləcdən istifadə olunur. Çöküntünü yumaq və buxara vermək üçün sentrifuqa su və buxar verən borular sistemi ilə təchiz olunur. Sentrifuqanın işi tsikli barabanın sürətlənməsi; barabanın suspenziya ilə dolması; çöküntünün qismən qurudulması; dayandırılması; boşalması kimi əməliyyatlardan ibarətdir. Beləliklə, tsiklin 20...40%-ni yardımçı əməliyyatlar təşkil edir. Bunlardan ən ağır və davamlısı çöküntünün əl ilə boşaldılmasıdır. Bu məsələ yarımfasiləsiz təsirli özüboşalan sentrifuqalarda öz həllini tapmışdır. Belə sentrifuqaların sxemi şəkil 3.13-də verilmişdir.



Şək.3.13. Asqılı özüboşalan sentrifuqa:

1-rotor (baraban); 2-val; 3-boru; 4-paylayıcı disk; 5-konus; 6-köynək; 7-fuqat çıxaran ucluq; 8 - stupitsa; 9-çöküntü çıxarmaq üçün lyuka; 10-iyunələr; 11-sarğı

Yarımfasiləsiz təsirli özüboşalan sentrifuqanın əsas xüsusiyyəti alt hissəsinin konusvari formada olmasıdır. Konusun divarlarının maillik bucağı təbii maillik bucağından böyükdür. Bu səbəbdən baraban dayandıqda çöküntü tam aşağı sürüşür. Bundan başqa bu sentrifuqada paylayıcı disk quraşdırılıb ki, doldurmada suspenziya bu diskə verilir.

Bağlayıcı konus kütlənin boşaldıcı lyuka keçməsinin qarşısını alır. Boşalma zamanı konus qaldırılır, bu səbəbdən **özüboşalan** sentrifuqanın istifadəsi təhlükəsiz olmaqla az əmək tutumludur. Asqılı sentrifuqaların diametrləri 900...1200 mm, fırlanma tezliyi 1100-dən 900 dövr/dəqiqəyə, sentrifuqaların barabanlarının çevrə sürəti 50...60 m/san, **tez gedişli** sentrifuqalarda 100 m/san olur.

3.8. Sentrifuqanın valında gücün təyini

Sentrifuqanın barabanının fırlanması üçün tələb olunan güc dövrədən asılı olaraq onun iş tsikli müddətində dəyişir. Maksimal güc barabanın işə düşmə dövründə tələb olunur, bu zaman sentrifuqanın fırlanan hissəsinin inersiyası (ətaləti) və yüklənən kütlənin ətaləti dəf olunur. Sentrifuqa işə düşdükdən sonra enerji sərfi azalır.

Barabanda çevrə sürəti v yaratmaq üçün tələb olunan işi A_b təyin edək. Barabanda kütləsi dm olan və bucaq sürəti ω olan hər hansı maddi nöqtəni hərəkətə gətirmək üçün tələb olunan iş:

$$dA = dm \frac{\omega^2 r^2}{2}, \quad (3.33)$$

burada r - bu nöqtə ilə fırlanma oxu arasındakı məsafədir. Barabanı hərəkətə gətirmək üçün iş

$$A = \int dm \frac{\omega^2 r^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \int r^2 dm \quad (3.34)$$

və ya

$$A = \frac{\omega^2}{2} J ,$$

burada J - barabanın ekvatorial ətalət momentidir.

Fərz edək ki, barabanın tam kütləsi fırlanma oxunda R məsafəsində cəmlənib, onda

$$J = m_b R^2 ,$$

burada m_b - barabanın kütləsi, kq;

R - barabanın daxili radiusudur, m.

Buradan

$$A_b = \frac{m_b R^2 \omega^2}{2} ;$$

$$N_b = \frac{A_b}{1000\tau} , \quad (3.35)$$

burada τ - işə düşmə vaxtıdır, san.

Barabana doldurulan kütləni hərəkətə gətirmək üçün enerji sərfini təyin etmək üçün fırlanma oxundan r məsafəsində yerləşən dr qalınlığında kütlə həlqəsinin işə düşməsinə sərf olunan işin analoji ifadəsini yazmaq olar (şək.3.14):

$$dA_m = h dr \rho 2\pi r \frac{\omega^2 r^2}{2} .$$

Bütün kütləni hərəkətə gətirən enerji sərfini təyin etmək üçün sonuncu ifadəni R -dən r_0 -a kimi inteqralladıqda

$$A_m = \int_{r_0}^R \omega^2 h \rho \pi r^3 dr = \pi \omega^2 h \rho \int_{r_0}^R r^3 dr = \frac{\pi \omega^2 h \rho}{4} (R^4 - r_0^4) .$$

Bu ifadəni dəyişdirdikdə

$$A_m = \frac{\pi (R^2 - r_0^2)}{4} h \rho (R^2 - r_0^2) \omega^2 ,$$

burada $\pi(R^2 - r_0^2)h\rho$ - barabanda h qalınlığında həlqənin kütləsidir.

Beləliklə

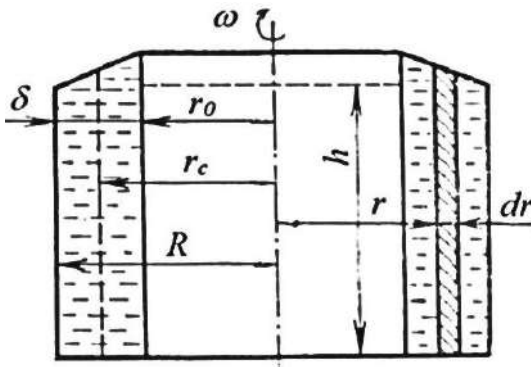
$$A_m = \left[m(R^2 - r_0^2) / 4 \right] \omega^2$$

Buradan uyğun güc (kVt)

$$N_m = \frac{A_m}{1000\tau\mu_0}, \quad (3.36)$$

burada τ - işə düşmə müddəti, san;

μ - kütlənin hərəkəti üçün sərf olunan əlavə enerji sərfini nəzərə alan əmsaldır.



Şək.3.14. Sentrifuqanın valında gücün təyini sxemi

Yastıqların sürtünməsinə tələb olunan güc (kVt)

$$N_t = \frac{\mu m v}{100}, \quad (3.37)$$

burada m - fırlanan sentrifuqa və suspenziyanın birlikdə kütləsi, kq;

v - sentrifuqanın valının boynunda yerləşən nöqtənin

çevrə sürəti, m/san;
 μ - sürtünmə əmsalındır, 0,3 qəbul edilə bilər.
 Barabanın hava ilə sürtünməsinə sərf olunan güc

$$N_h = 1,32 \cdot 10^{-9} HD^4 n^3, \quad (3.38)$$

burada H - barabanın hündürlüyü, m;
 D - barabanın diametri, m;
 N - fırlanma tezliyidir, dövr/dəq.
 Sentrifuqanın valında maksimal hesabat gücü

$$N = N_b + N_m + N_t + N_h. \quad (3.39)$$

Elektrik mühərrikinin gücü 10...20% artıq qəbul olunur.
 İş periodunda enerji sərfi nisbətən azalır

$$N_{i\dot{s}} = \frac{1}{4} N_m + N_n + \frac{2}{3} N_t. \quad (3.40)$$

3.9. Fasiləsiz təsirli filtrləyici sentrifuqalar

Fasiləsiz təsirli sentrifuqalara suspenziya fasiləsiz verilir və filtrat və çöküntü oradan fasiləsiz çıxarılır. Çöküntünün çıxarılmasına görə fasiləsiz tipli sentrifuqalar mərkəzdənqaçma boşaldan, şneklə boşaldılan və pulsasiya edən porşenli olur.

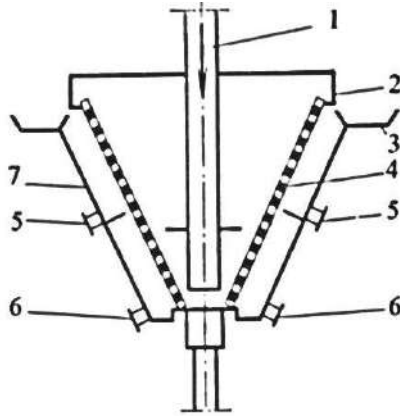
Mərkəzdənqaçma boşaldılan sentrifuqa şaquli vala bərkidilmiş konusvari barabandan ibarətdir (şək.3.15). Suspenziya boru 1 ilə daxil olur, mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə konusvari səthə axır və səth ilə yuxarı qalxır. Çöküntü layının qalınlığı silindrik örtük 2 ilə nizamlanır. Çöküntü həlqəvari nova 3 atılır. Filtrat 5 və 6 borularla çıxarılır, arakəsmə filtratı iki növə bölməyə imkan verir.

Şneklə boşaldılan sentrifuqalarda çöküntü şneklə boşaldılır.

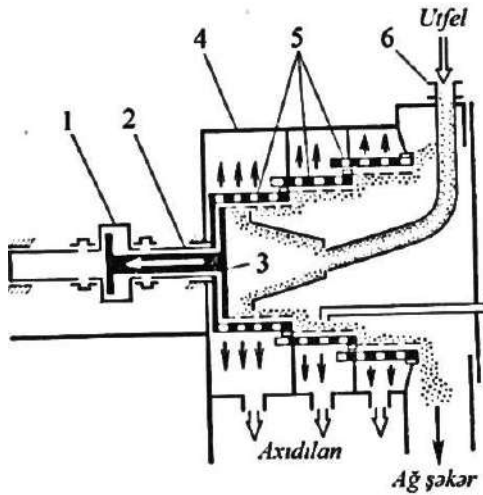
Çöküntüsü pulsasiya edən porşen vasitəsi ilə boşaldılan sentrifuqanın iş prinsipi şəkil 3.16-da verilmişdir.

Sentrifuqanın barabanı bir neçə həlqədən ibarətdir. Soldan birinci və üçüncü həlqələr boş valla 2 əlaqələndirilir və fəzada yerini dəyişmədən fırlanır. Orta həlqə (soldan ikinci) və disk 3 por-

şen 1 ilə əlaqəlidir. Porşen irəli-geri hərəkət edir, eyni zamanda disk və orta həlqə ilə birligə fırlanır. Pulsasiyaların sayı dəqiqədə 12...16 olur.



Şək.3.15. Mərkəzdənqacma boşaldılan fasiləsiz sentrifuqa:
1-suspenziyanın verilməsi üçün boru; 2-nizamlayıcı örtük; 3- çöküntü novu; 4-baraban; 5, 6-filtrat çıxaran boru; 7-köynək



Şək.3.16. Pulsasiya edən sentrifuqa:
1-porşen; 2-boş val; 3-disk; 4-köynək; 5-həlqələr; 6-verici boru

Sentrifuqaya verilən kütlə fasiləsiz olaraq boruya 6 daxil olur və birinci həlqənin səthinə atılır. Porşenin, diskin və orta həlqənin pulsasiyaları nəticəsində çöküntü pilləli barabanla aşağı hərəkət edərək sonuncu həlqədən boşalır. Porşenin bir gedişinə çöküntü 40...50 mm hərəkət edir.

Fasiləsiz sentrifugalarda enerji 1) sentrifuqanın barabanı fırlanan sürətin suspenziyaya ötürülməsinə; 2) yastıqlarda sürtünmənin qət olunmasına; 3) barabanın hava ilə sürtünməsinə; 4) çöküntünün sentrifuqadan çıxarılmasına sərf olunur.

Suspenziyaya fırlanma sürətini ötürmək üçün güc

$$N_1 = \frac{m(\omega r)^2}{2 \cdot 102}, \quad (3.41)$$

burada m - saniyədə daxil olan suspenziyanın kütləsidir, kq.

Çöküntünü boşaltmaq üçün güc N_2 boşalma üsulundan asılı olaraq təyin edilir. Pulsasiyalı sentrifugalarda üçün güc N_2 aşağıdakı kimi hesablanır.

Çöküntünü barabanın divarına sıxan qüvvə

$$p = m\omega^2 r.$$

Bu çöküntünü tərپətmək üçün qüvvə

$$p_1 = m\omega^2 r f,$$

burada f - sürtünmə əmsəlidir, kristal məhsullar üçün $f=0,3...0,55$.

Porşenin 1 işçi gedişinə sərf olunan iş

$$A = m\omega^2 r f l,$$

burada l - porşenin itələyicisinin uzunluğudur.

Əgər dəqiqədə işçi gedişlərin sayı n olarsa, onda qüvvə

$$N_2 = m \frac{\omega^2 r f l n}{60 \cdot 102}.$$

Yoxlama sualları

1. Filtrləmə nədir? 2. Filtrləmədən hansı məhsulların istehsalında istifadə olunur? 3. Hansi qeyri yekcins sistemlər filtrləmə ilə ayrılır? 4. Filtrləmə proseslərinin tipləri hansılardır? 5. Filtrləmə sürəti nəyə deyilir? 6. Filtrləmə sürətinin əsas faktorları hansılardır? 7. Filtrin kapilyarları ilə mayenin axması hansı tənzimləyici əsaslandır? 8. Kapilyarın uzunluğunun l filtrləyici layın qalınlığından asılılığı necə təyin olunur? 9. Vahid səthə düşən kapilyarların miqdarı nədən asılıdır? 10. Sabit təzyiqli filtrləmə necə adlanır? 11. Sabit sürətdə filtrləmə nədir? 12. Filtrin məhsuldarlığı necə təyin olunur? 13. Filtrləyici arakəsmə nədən ibarətdir? 14. Qumlu filtrləmə aparatlarından nə zaman istifadə olunur? 15. Qumlu filtrin hissələri hansılardır? 16. Qumlu filtrin filtrləmə sürəti nə qədər olur? 17. Filtr-preslərin elementləri hansılardır? 18. Çərçivəli filtr-presin hansı hissələri var? 19. Çərçivəli filtr-presin işçi tsikli hansı əməliyyatlardan ibarətdir? 20. Suspenziyanın xarakterindən və təzyiqdən asılı olaraq filtrləməyə sərf olunan vaxt nə qədərdir? 21. Barabanlı vakuum-filtrin hissələri hansılardır? 22. Barabanlı vakuum-filtrin əsas işçi orqanı nədir? 23. Diskli vakuum filtrlərin hissələri hansılardır? 24. Lentli vakuum filtrlər nədən ibarətdir? 25. Təzyiq altında işləyən fasiləsiz təsirli barabanlı filtr hansı hissələrdən ibarətdir? 26. Təzyiq altında işləyən fasiləsiz təsirli barabanlı filtr hansı təzyiqdə işləyir? 27. Mərkəzdənqaçma filtrləmə nədir və hansı pillələrdən ibarətdir? 28. Filtrləmənin hərəkətedici qüvvəsi nədir? 29. Filtrləmə effektini artırmaq üçün nə edirlər? 30. Qeyri-yekcins sistemləri ayırmaq üçün hansı filtrlərdən istifadə olunur? 31. Qida sənayesində hansı filtrləyici sentrifugalardan istifadə olunur? 32. Sentrifugalın hərəkətedici qüvvəsi nədir və nə ilə təyin olunur?

FƏSİL 4

QEYRİ-YEKCİNS QAZ SİSTEMLƏRİNİN AYRILMASI

Qazın asılı halda olan bərk və maye hissəciklərdən təmizlənməsi atmosferin çirklənməsinin azaldılması və ayrılan qazlardan qiymətli məhsulların ayrılması məqsədi ilə yerinə yetirilir.

Sənaye şəraitində toz müxtəlif texnoloji proseslər nəticəsində yarana bilər, məsələn bir sıra qida məhsullarının qurudulmasında, səpələnən materialların nəql etdirilməsində, bərk cismlərin xırda-landırılmasında. Tozun tərkibində adətən 3...100 mkm ölçülü bərk hissəciklər olur.

Qaztəmizləyən aparatların effektivliyi təmizləmə dərəcəsi ilə qiymətləndirilir

$$\eta = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100\% ,$$

burada V_1 , V_2 - tozlu və təmizlənmiş qazın uyğun olaraq həcmi sərfləri, m³/saat;

x_1 , x_2 – tozlu və təmizlənmiş qazda uyğun olaraq asılı hissəciklərin konsentrasiyası, kq/m³.

Qazların asılı hissəciklərdən təmizlənməsi üçün bir neçə üsuldən istifadə olunur: qravitasiyalı çökdürmə, inersiya (ətalət) və mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsirindən qaz axınının məsələli arakəsmədən keçərək filtrlənməsi, nəmli təmizlənmə, elektrik sahəsində çökdürmə. İlk iki üsul qazların iri asılı hissəciklərdən təmizlənməsi üçün istifadə olunur. Digərləri isə qazların ölçüləri 20 mkm-dən kiçik olan hissəciklərdən təmizlənməsi üçün istifadə olunur. İstənilən təmizlik dərəcəsini əldə etmək üçün bu üsullar tez-tez kombinə edilir.

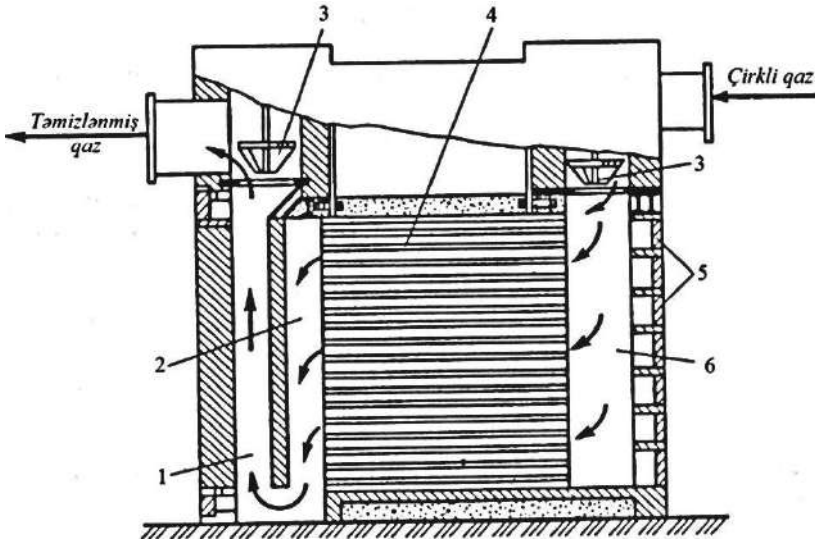
4.1. Qazların qravitasiyalı təmizlənməsi

Çökdürmə proseslərinin hesabı üçün bərk hissəciklərin damcılı mayədə çökməsi qanunauyğunluqlarından istifadə olunur.

Tozların ayrılması üçün (qaba təmizləmə) fasiləsiz və yarım-

fasiləsiz təsirli aparatlardan istifadə olunur. Bu aparatların ən əsası tozçökdürücü kameradır.

Tozçökdürücü kamera (şək.4.1) içərisində üfüqi rəflər olan düzbucaqlı aparatdır. Çirklə qaz nizamlanan şiber vasitəsilə tozçökdürən kameranın kanalına daxil olur və üfüqi rəflər arasında paylanılır. Bununla belə çökdürücü kamerada rəflərin yerləşməsi çökmə səthinin sahəsini nisbətən artırır. Qaz axını rəflər arasından keçdikdə bərk hissəciklər onların səthinə çökür, təmizlənmiş qaz çıxış kanalına və sonra da qazçıxarana daxil olur.



Şək.4.1. Tozçökdürücü kamera:

1-qaz çıxış kanalı; 2-yığıcı kanal; 3-şiberlər; 4-üfüqi rəf; 5 – qapılar; 6-sovurucu kanal

Qazçökdürücü kamerada qaz axınının sürəti çökmə vaxtı ilə məhdudlaşır. Belə ki, qazçökdürücü kamerada olduğu müddətdə bərk hissəciklər rəflərin üzərinə çökməlidir. Rəflərə çökən toz vaxtaşırı olaraq ərsinlə təmizlənir və ya su ilə yuyulur.

Qazçökdürücü kamera növbə ilə ardıcıl işləyən iki hissəyə ayrılır (bir hissə tozdan təmizləndikdə ikinci hissədə qazın təmizlən-

Siklonlar tozları mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsiri ilə ayırmağa imkan verir. Onların işinin effektivliyi ayırma faktoru ilə xarakterizə olunur. Qazların təmizlənmə dərəcəsi siklonun konstruksiyasından, hissəciklərin ölçülərindən və sıxlığından asılıdır. Əgər diametri 25 mkm olan hissəciklərin saxlanması (tutulması) üçün siklonun faydalı iş əmsalı 95%-dirsə, 10 mkm diametrlı hissəciklərdə 70% kimi olur. Qazların təmizlənmə dərəcəsi eksperimental qiymətlər əsasında qurulan normallar və nomoqramlarla təyin olunur.

Şəkil 4.3-də verilən siklon kiçik hidravliki müqavimətə malikdir və yüksək təmizləmə dərəcəsini əldə etməyə imkan verir.

Siklonda prosesin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, asılı hissəcikli qaz axını giriş borusundan aparata 10...40 m/san sürətlə verilir. Tangensial girişin və mərkəzi çıxış borusunun olması hesabına axın burularaq aparatda hərəkət edir. Yaranan mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsirindən asılı hissəciklər kənarlara atılaraq korpusun daxili divarına çökür, sonra konusvari dibə tərəf sürüşərək siklondan qısa boru vasitəsilə çıxarılır. Asılı hissəciklərdən təmizlənmiş axın siklondan çıxış borusu vasitəsilə kənarlaşdırılır.

Siklonların dəqiq hesabı kifayət qədər mürəkkəb olduğundan hidravliki müqavimətin Δp qiymətinə əsasən sadə üsula hesablanır. Siklonun silindrik hissəsində qazın qondarma sürəti aşağıdakı düsturla hesablanıla bilər:

$$v_f = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_q \xi_s}}, \quad (4.1)$$

burada $\frac{\Delta p}{\rho_q}$ - ayrılma faktoru;

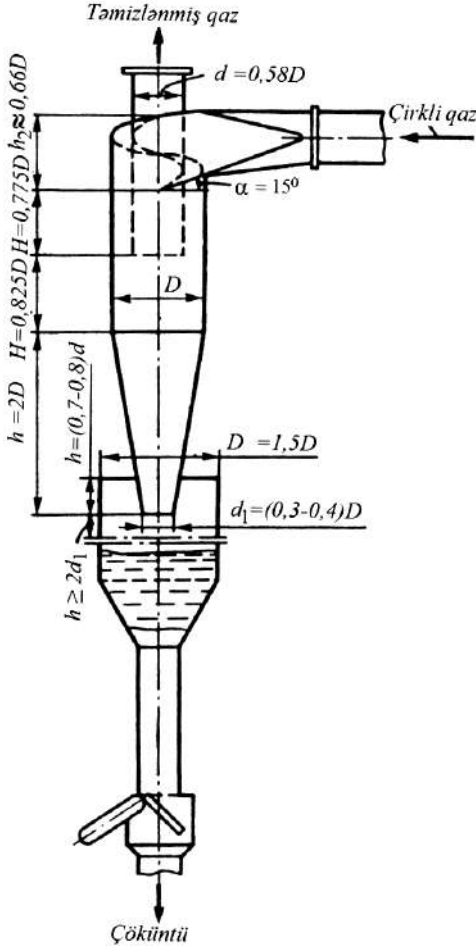
ξ_s - hidravliki müqavimət əmsalı.

Şəkil 4.3-də verilən siklonlar üçün $\Delta p/\rho_q$ 500...750 m²/san² təşkil edir. Hidravliki müqavimətin $\xi_s v_f$ -ə nisbəti təcrübədən alınmış qiymətlərlə müəyyən olunur.

Siklonun diametri (m) verilən məhsuldarlığa görə hesablanır:

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi U_f}} \quad (4.2)$$

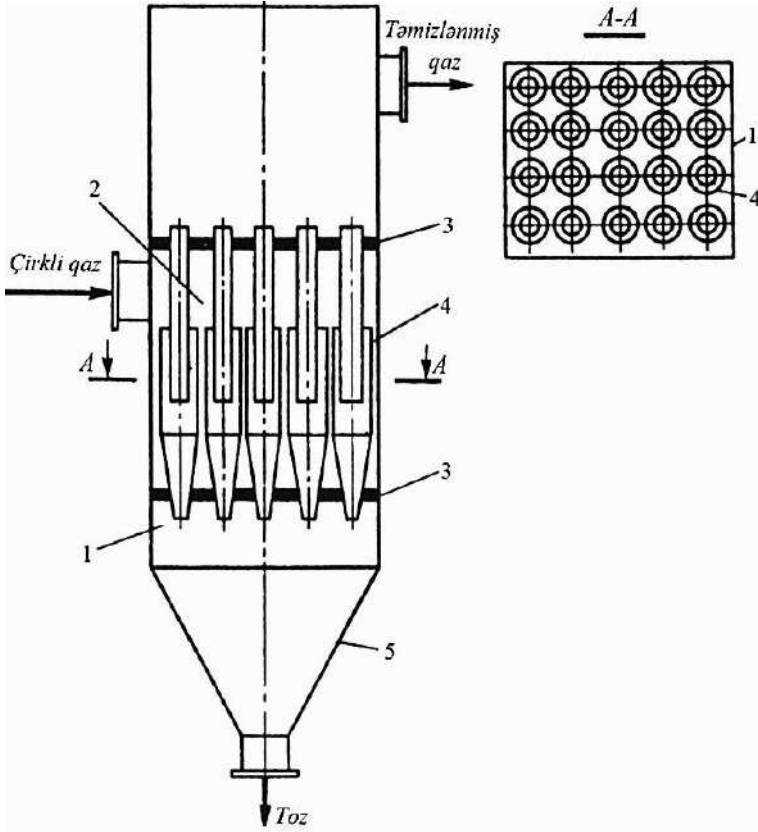
Siklonun silindirik hissəsinin diametri D tapıldıqdan sonra qalan ölçüləri tapılır.



Şək.4.3. QTETİ konstruksiyası olan siklon

Batareyalı siklon (şək.4.4) kiçik diametrlı paralel birləşən siklonlardan (150...250 mkm) ibarətdir. Bu mərkəzdənqaçma qüvvə-

sini və hissəciklərin çökmə qüvvəsini artırmağa imkan verir. Çirkələnmiş qaz giriş qısa borusundan qaz paylayıcı kameraya daxil olur və ümumi konturda yerləşən siklon elementlərinə paylanır (şək.4.5). Siklon elementlərinə qaz üstədən korpus və çıxış borusu arasındakı həlqəvi məsafəyə daxil olur.



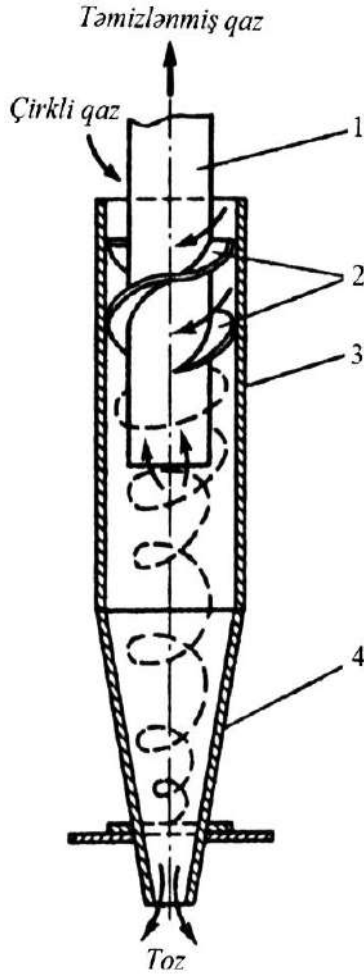
Şək.4.4. Batareyalı siklon:

1-korpus (gövdə); 2-qazpaylayıcı kamera; 3-qəfəs; 4-siklon elementi; 5-bunker

Toz konusvari bunkerdə yığılır və təmizlənmiş qaz isə batareyalardan çıxış borusu vasitəsilə çıxarılır.

Tək-tək yerləşən siklonların istifadəsi iqtisadi cəhətdən məq-

sədəuyğun olmadıqda batareyalı siklonlardan istifadə olunur. Siklonlarda ölçüləri 10 mkm-dən kiçik olmayan hissəcikləri tutmaq tövsiyə edilir.



Şək.4.5. Batareyanın elementi:

1-çığış borusu; 2-vintli pərlər; 3-korpus; 4-konusvari altlıq

Qida sənayesində siklonlar qaz tullantılarının təmizlənməsində, qaz axınlarından qida xammalının, məsələn, şəkər hissəcikləri,

quru süd hissəcikləri püskürücü quruduculardan ayrılan hissəciklər və s. tutulmasında istifadə olunur.

4.3. Qazların məsaməli arakəsmələrdən keçərək filtrlənməsi

Filtrləyici arakəsmənin növündən asılı olaraq filtrlər yumşaq, yarımsərt və sərt (bərk) məsaməli olurlar.

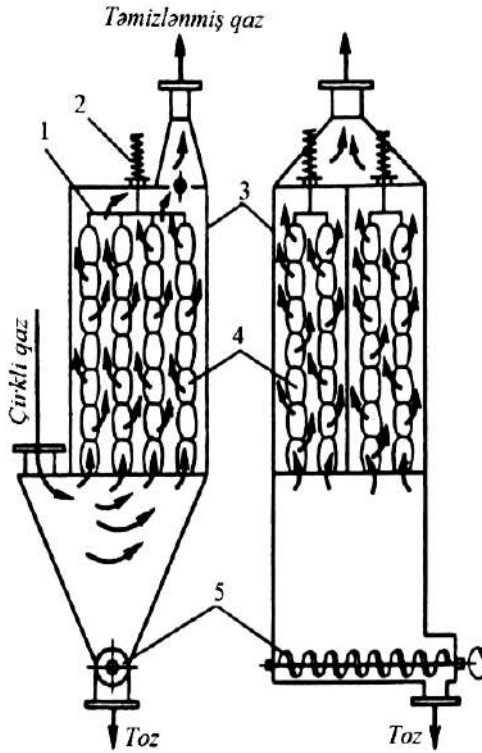
Yumşaq filtrləyici arakəsməli filtrlər qollu və ya torbalı olub qazların tozlardan təmizlənməsi üçün geniş istifadə olunur. Yumşaq məsaməli arakəsmələr parça, lifli materiallardan və məsaməli lövhəli materiallardan (metal parçalar, məsaməli plastik kütlələr, rezinlər) hazırlanır.

Batareyalı qollu filtr (müxtəlif parça materialı filtrləyici elementli filtr) şəkil 4.6-da verilmişdir. Qollar və torbalar dördbucaqlı korpusda ümumi çərçivəyə asılır. Tozlanmış qaz qolun daxilinə açıq deşiklərə daxil olur. Qolların böyük silindrik səthlərindən keçərək qaz filtrlənir və toz qolların daxili səthinə çökür. İstismar prosesində toz layın və filtrin müqavimətini artırır. Filtrin regenerasiyası üçün qollar və ya torbalar filtrin qapağında quraşdırılmış xüsusi mexanizmlə periodik silkələnir. Çökmüş toz filtrin konusvari dibində yığılır və buradan da şnek vasitəsilə çıxarılır.

Bəzi hallarda seksiyalı filtrlərdən istifadə olunur. Belə filtrin hər bir seksiyası silkəlyici mexanizmlə təchiz olunub ki, bu da filtri söndürmədən filtrləyici elementlərin regenerasiyasını aparmağa imkan verir.

Venturi ucluqlu torbalı filtr silindrik formada olub konusvari tozyığıcı ilə təchiz olunmuşdur. Tozlanmış qaz filtrin torbalarının içərisinə ştuser vasitəsilə verilir. Torbalı filtrlərdə qaz filtrlənərək təmizlənir və filtrin qapağından yerləşən ştuserdən çıxır. Hissəciklər torbaların səthinə çökür.

Torbaların təmizlənməsi üçün onların daxilində venturi ucluqları nəzərdə tutulur. Ucluqlar vasitəsilə qısa püskürmələrlə sıxılmış hava verilir. Bu zaman torbalar dolur və hissəciklər torbanın materialından praktiki olaraq tam təmizlənir.



Şək.4.6. Qollu filtr:

1-çərçivə; 2-silkələyici mexanizm; 3-korpus; 4-qol; 5-şnek

Belə filtrlər seçilmiş xüsusi filtrləmə sürətinə görə hesablanır. Qollu (torbalı) filtrlər qazların yüksək təmizlənməsini təmin edir. Təmizlənmiş qazda tozun konsentrasiyası 1 m^3 qazda bir neçə milliqramdır.

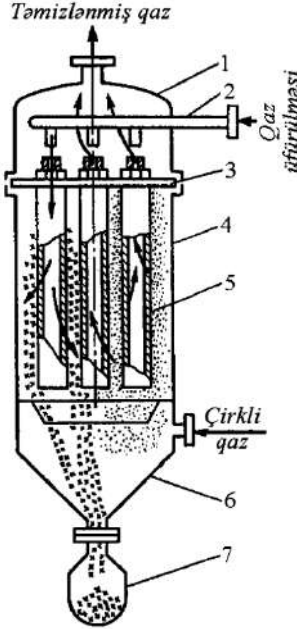
Yarımsərt arakəsməli filtrlər adətən aralarında şüşə liflər, metal yonqarı və ya qaz hissəciklərində olan digər asılı maddələri daha yaxşı tutmaq üçün xüsusi tərkibli məhlul hopdurulmuş sıxılan kasetlərdən ibarətdir. Seksiyalara birləşmiş kasetlər konsentrasiyası $0,001 \dots 0,005 \text{ qr/m}^3$ olan az tozlanmış qazların təmizlənməsi üçün istifadə olunur.

Bərk filtrləyici arakəsməli filtrlər məsaməli saxsıdan, pres-

lənmiş metal tozundan, həmçinin plastik kütlədən hazırlanır və qazların narın təmizlənməsində istifadə olunur.

Filtrləyici elementlər silindrik, həlqəvi və ya səthi formalı olur.

Silindrik filtrləyici elementli patronlu filtr şəkil 4.7-də verilmişdir. Filtrin korpusunda qəfəsdə 3 bir neçə silindrik filtrləyici elementlər yerləşir.



Şək.4.7. Patronlu filtr:

- 1 -qapaq; 2 -kollektor; 3-qəfəs; 4- korpus; 5-filtrləyici element;
6 - dib; 7- tozyığıcı

Tozlanmış qaz filtrin alt hissəsinə daxil olur, filtrləyici elementlərdən keçir və asılı hissəciklərdən təmizlənir. Çöküntü filtrləyici elementlərin xarici səthində yığılır, təmizlənmiş qaz filtrləyici elementlərin daxili həcmindən keçərək filtdən çıxarılır. Filtrlərin regenerasiyası üçün onlar periodik olaraq kollektordan verilən sıxılmış qaz axını ilə təmizlənir. Bu zaman toz konusvari altlığa yığılaraq tozyığıcana çıxarılır.

Metal saxsı elementli filtrlərdə 0,5 mkm-dən böyük hissəcikləri olan tozları təmizləmək olur.

Qazların tozdan təmizlənməsi üçün filtrlərin hesabı ümumi sahənin təyin olunmasına görə

$$F = \frac{V}{v_x},$$

burada V – tozlanmış qazın həcmi sərfi, m^3/san ;

v_x - filtrləmənin xüsusi sürətidir, $m^3/(m^2 \cdot \text{san})$.

Qolların (torbaların) diametri d və uzunluğu l məlum olduqda filtrləyici elementlərin miqdarı aşağıdakı kimi tapılır:

$$n = F(\pi dl).$$

4.4. Qazların nəmli təmizlənməsi

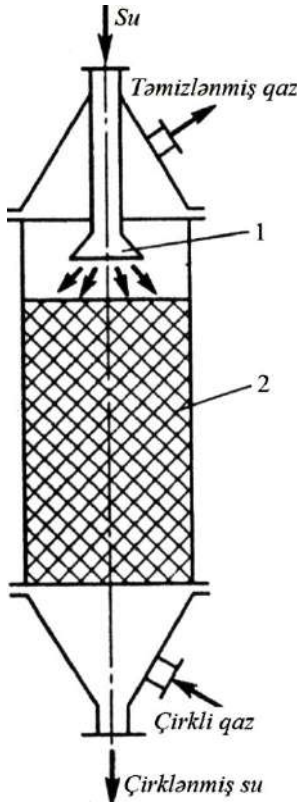
Qazların nəmli təmizlənməsindən o zaman istifadə olunur ki, qazın nəmləndirilməsi və soyuması mümkün olur, asılı hissəciklər isə qiymətli olmadığından kənarlaşdırılır. Qazın tərkibindəki buxarların kondensasiya temperaturundan aşağı temperaturda soyudulması asılı hissəciklərin sıxlığının artmasına səbəb olur. Bu halda hissəciklər kondensasiya mərkəzləri rolunu oynayır və bununla da onların qaz axınından ayrılması təmin edilir. Əgər asılı hissəciklər maye ilə nəmlənmirsə, onda qazların maye toztutucularda təmizlənməsi səmərəli olmur. Bu halda təmizlənmə dərəcəsini artırmaq üçün mayeyə səthi aktiv maddələr əlavə olunur.

Nəmli toztutucularda qazların tozdan təmizlənmə dərəcəsi konstruksiyadan asılı olaraq 60...85% arasında dəyişir. Nəmli təmizləmənin çatışmamazlığı təmizlənməsi gərək olan çirkab suların əmələ gəlməsidir.

Skrubberlər (şək.4.8) nəmli toztutucuların ən sadəsidir. Onlar işçi boş və ya taxmalı olaraq qazların təmizlənməsi və soyudulması üçündür.

Tozlanmış qaz skrubberin alt hissəsinə verilir və əks axında mayeyə tərəf hərəkət edir. Maye forsunka və ya püskürücü vasitə-

silə 1 m/san sürətlə verilir. Qazın və mayenin təması zamanı qazın mexaniki təmizlənməsi baş verir. Təmizlənmə dərəcəsi 75...85%-ə çatır.



Şək.4.8. Taxmalı skrubber:

1-püskürücü; 2-taxma

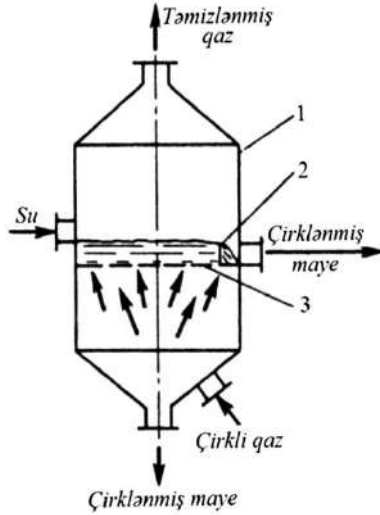
Taxma kimi həlqəli və ya vətərli elementlərdən istifadə olunur.

4.5. Köpüklü barbotajlı toztutucular

Qaz və ya buxarın mayedən keçmə prosesinə barbotaj deyilir və ondan geniş istifadə olunur. Müxtəlif aparatlarda qaz və ya bu-

xarı maye ilə təmasa gətirmək tələb olunduqda barbotajdan istifadə olunur.

Köpüklü barbotajlı toztutucular çox çirklənmiş qazların təmizlənməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Barbotajlı tutucu boşqablı skrubberdir (şək.4.9).



Şək.4.9. Köpüklü skrubber:

1 - korpus; 2 - nizamlayıcı çıxış; 3 - perforasiyalı boşqab

Tozlanmış qaz skrubberin alt hissəsinə daxil olur və yuxarı hərəkət edir. Qaz perforasiyalı boşqablara daxil olaraq qaz maye-dən keçir, nəticədə hərəkət edən köpük yaranır ki, bu da böyük təmas səthini və qazın yüksək təmizlənməsini təmin edir. Köpük layında asılı hissəciklər maye ilə udulur. Çirklənmiş maye nizamlayıcı çıxışdan (astanadan) axıdılır. Köpüklü skrubberlər bir qayda olaraq bir neçə perforasiyalı (deşikli) boşqabdan ibarətdir. Belə aparatlarda təmizlənmə dərəcəsi 99%-ə çatır.

Venturi skrubberləri də həmçinin havanın nəmli təmizlənməsi üçün istifadə olunur. Burada təmizlənmə dərəcəsi 98%-ə çatır. Çatışmamazlığı yüksək hidravliki müqavimətə (1500...7500 Pa) malik olması və damcı yığıcının quraşdırılmasının lazım olmasıdır.

Venturi skrubberi (şək.4.10) iki hissədən, yəni havanın təmizlənməsi gedən venturi borusundan və su damcılarını qaz axınından ayırmaq üçün nəzərdə tutulan ayırıcıdan ibarətdir.

Təmizlənən hava şaquli borunun altından daxil olur, borunun çıxışında boşalma yaranır. Boşalmanın hesabına çəndən su kollektordan keçərək venturi borusuna sorulur. Nəticədə venturi borusunun həm divarlarında, həm də bütün həcmi boyu maye pilyonkaları yaranır ki, bu da qaz axınının təmizlənməsinə gətirib çıxarır. Qaz axınından maye damcılarının çökməsinə axın burulğanlandırıcısı səbəb olur. Ayırıcıda ayrılan maye çənə yığılır. Təmizlənmiş qaz axını atmosferə tullanır.

4.6. Elektrik sahəsinin təsirindən çökdürmə

Elektrik sahəsində narin dispers hissəciklərə elektrik yükü ötürülür ki, onun təsirindən çökməsi baş verir. Tozların, tüstülərin və dumanların elektrik sahəsində ayrılması digər çökdürmə üsullarına görə böyük üstünlüyə malikdir.

Qeyri-yekcins qaz qarışıqlarının elektrik sahəsində ayrılması elektrodlarda baş verir. Tozların və tüstülərin ayrılması üçün quru filtdən, dumanların ayrılması üçün isə nəm filtrlərdən istifadə olunur.

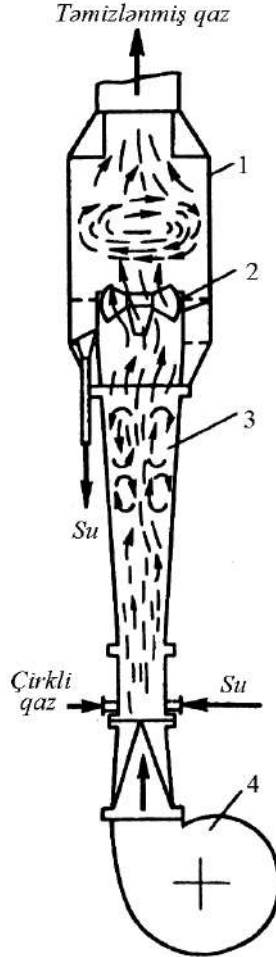
Ən sadə (bəsit) elektrik filtri iki elektrodan ibarətdir. Bunlardan biri anod-boru və ya lövhə şəklində hazırlanır, digəri isə boru anodun içərisində və ya lövhəli anodların arasında olmaqla çəkilən məftildən ibarətdir. Anodlar torpaqlanır.

Elektrodların sabit cərəyan mənbəyi ilə birləşməsində elektrodlarda 4...6 kV/sm potensial fərqi yaranır ki, bu da 1 m uzunluqda katodda 0,05...0,5 mA cərəyan sıxlığını təmin edir.

Qaz qarışığı borulu elektrodlara və ya lövhəli elektrodlara daxil olur. Elektrodlarda yaranan yüksək potensiallar fərqi hesabına qaz layında mənfi elektrod (katodda) anoda yönələn elektronlar axını yaranır. Elektrodların neytral qaz molekulları ilə toqquşması nəticəsində qaz ionlaşır. Bu zərbəli ionlaşma adlanır.

Qazın ionlaşmasının xüsusiyyəti katodda tacın yaranmasıdır

və buna görə də katod taclı elektrod adlanır. İonlaşma nəticəsində mənfi və müsbət ionlar yaranır. Müsbət ionlar katodun ətrafına yığılır, mənfi ionlar isə yüksək sürətlə anoda tərəf hərəkət edir, qazda asılan hissəcikləri yükləyir və özü ilə aparır. Toz və ya duman hissəcikləri anoda çökrək orada çöküntü layı əmələ gətirir.



Şək.4.10. Venturi skrubber:

- 1 - ayırıcı; 2 - axını burulğanlandırıcı; 3 - ventri borusu;
4 - ventilyator

Elektriki çökmənin sürəti saniyədə bir neçə santimetrdən onlarla santimetrlərə kimi dəyişir. O asılı hissəciklərin ölçülərindən və qaz mühitinin hidrodinamiki müqavimətindən asılıdır. Elektriki çökmənin sürəti hərəkət edən qaz ionlarının qaz mühitinə və asılı hissəciklərə impuls vermə nəticəsində yaranan "elektrik küləyi" təsirindən arta bilər.

Hissəciklərin sürətini təyin etdikdə elektrik sahəsində laminar rejim nəzərdə tutulur.

Yüklü hissəciyə elektrik sahəsi $F = ne_0E_x$ qüvvəsi ilə təsir edir (burada n - hissəciyin aldığı yük; e_0 - elementar yükün qiyməti; E_x - katoddan x məsafəsində elektrik sahəsinin potensial qradienti).

Elektrik çökmə sürəti

$$v_0 = \frac{ne_0E_x}{3\pi d\mu}.$$

Hissəciyin çökmə müddəti

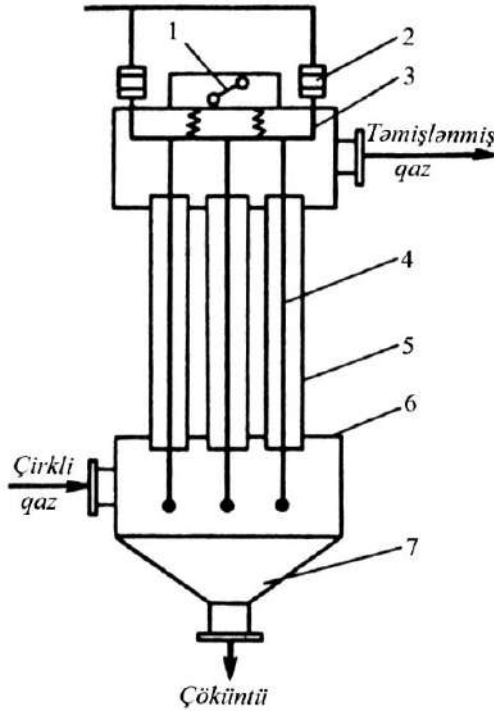
$$\tau_0 = \int_r^R \frac{dx}{v_0}, \quad (4.3)$$

burada R - katodun oxundan anodun səthinə kimi olan məsafə;
 r - katodun radiusudur.

Elektrik sahəsinin potensial qradienti E_x katoda qədər olan məsafədən x asılıdır. Buna görə hissəciklərin çökmə müddətini (4.3) tənliyinin qrafiki inteqrallaşdırılması ilə təyin etmək lazımdır.

Borulu quru elektrik filtri şəkil 4.11-də verilmişdir. Toz və ya tüstü filtrin elektrodlar bərkidilən qəfəsinə 6 daxil olur və borulu elektrodlar anodlara paylanır. Borulu elektrodların daxilində taclayıcı elektrodlar (katodlar) yerləşir. Elektrodlar izolyatorlara söykənən ümumi çərçivəyə birləşir. Elektrik sahəsinin təsirindən qazda asılı hissəciklərin elektriki çökməsi baş verir. Anodda çökən hissəciklər periodik olaraq zərbə qurğusu ilə silkələnir və filtrin konusvari alt hissəsində yığılır. Filtrdən çöküntü boşaldıcı qurğu

vasitəsilə çıxarılır və təmizlənmiş qaz isə filtrin üst hissəsindən ÇIXIR.



Şək.4.11. Borulu elektrik filtri:

1-silkələyici qurğu; 2–izolyator

Seksiyalı elektrik filtrlər işlənilib hazırlanmışdır ki, burada qaz ardıcıl birləşən seksiyalardan keçərək təmizlənir.

Plastinkalı (lövhəli) elektrik filtrdə elektrodlar (anodlar) lövhə şəklində, taclayıcı elektrodlar (katodlar) isə plastinkalar arasına çəkilmiş məftil şəklində olur.

Qazın elektriki filtrdə təmizlənmə dərəcəsi tozun elektrik keçiriciliyindən asılıdır. Əgər asılı hissəciklər cərəyanı yaxşı keçirirlərsə, onda hissəcik ani müddətdə öz yükünü verir və elektrodun yükünü qəbul edir. Bu halda itələyici Kulon qüvvəsi yaranır ki, bu da hissəciklərin qazla birgə filtrdən çıxmasına və təmizlənmə də-

rəcəsinin azalmasına gətirib çıxarır. Cərəyanın pis ötürülməsində elektrodda əsas elektrik sahəsinə əks təsir göstərən mənfi yüklü hissəciklərin sıx layı əmələ gəlir.

Qazda asılı hissəciklərin yüksək konsentrasiyasında ionların hissəciklərdə çökməsi səbəbindən onun təmizlənmə dərəcəsi azalır. Bu da aparılan yüklərin miqdarının azalmasına, yəni cərəyan şiddətinin azalmasına gətirib çıxarır.

Qazda hissəciklərin konsentrasiyasını azaltmaq üçün elektriki filtdən əvvəl əlavə qaz filtrləri quraşdırılır.

Elektrik filtrlərin hesabı filtrin məlum en kəsiyində və elektrodların sayında taclayıcı elektrodların uzunluğunun təyin edilməsindən ibarətdir.

Elektrik filtdə cərəyanın miqdarı

$$I = iL,$$

burada i - cərəyanın sıxlığı;

L - taclayıcı elektrodun uzunluğu.

$$E_k = 31 + 9,54 \sqrt{\frac{\delta}{r}}$$
 ifadəsindən potensialın kritiki qradienti

tapılır. Elektrodlararası məsafə məlum olduqda elektrodlarda potensial fərqi təyin edilir (burada δ - havanın verilən şəraitdə sıxlığının onun 0,1 MPa təzyiqdə və 25°C temperaturda olan sıxlığına nisbətidir).

Yoxlama sualları

1. Müxtəlif qeyri-yekcins qaz sistemlərinin təmizlənmə metodlarının müqayisəli səmərəsi necədir? 2. Qaz axınlarının asılı hissəciklərdən təmizlənmə effektivliyi nə ilə xarakterizə olunur? 3. Qravitasiya qüvvəsinin təsirindən qaz axınından hansı ölçüdə hissəciklər ayrılı bilər? 4. Qeyri-yekcins qaz qarışıqlarının ətalət (inersiya) və mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsirindən ayrılması hansı aparatlarda baş verir? 5. Siklon prosesinin üstünlüyü nədir? 6. Qazın siklonda təmizlənmə dərəcəsi hansı faktorlardan asılıdır? 7. Qaz axınlarının təmizlənməsində hansı filtrlərdən istifadə olunur? 8. Qazların nəm təmizlənməsinin mahiyyəti nədir? 9. Elektriki sahədə çökmə hansı prinsipə əsaslanır? 10. Hansı elektrik filtri konstruksiyaları vardır?

FƏSİL 5 SAXTA MAYELƏŞMƏ (qaynayan lay)

5.1. Qaynayan layda qarışma intensivliyi

Laya nüfuz edən qazın aşağı sürətində o hərəkətsiz qalır və həcmi dəyişmir. Qaz laydan keçərək filtrlənir. Müəyyən (kritiki) sürət əldə olunduqda qazın təzyiq sürəti layın çəkisinə bərabər olur, lay genişlənir. Qazın sürətinin sonrakı artması ilə saxta mayeləşmə baş verir. Materialın dənələri hərəkət edir və bu zaman lay özlülüyü az olan mayeni xatırladır. Layın hissəcikləri onun sərhədində qarışır və "qaynama" effekti yaranır və buna görə də "qaynayan" lay adlanır. Bu halda layın həcmi demək olar ki, sabit qalır, faza sərhədi isə kəskin ayrılır. Qazın daha yüksək sürətində kəskin "qaynama" baş verir və bərk hissəciklərin qaz fazasına tullanması müşahidə olunur. Əgər qazın sürəti ikinci kritiki sürəti keçərsə, onda lay qaz fazasına keçir, yəni asılı vəziyyətdə olur. Beləliklə, iki kritiki nöqtə müşahidə olunur: 1) saxta mayeləşmənin başlanğıcı; 2) layın asılı hala keçməsi.

Saxta mayeləşmə layında hissəciklərin irəli-geri və fırlanma hərəkəti müşahidə olunur, yəni aparatın mərkəzində hissəciklərin qalxması və divarlarında enməsi baş verir (şək.5.1).

Birinci kritiki sürətə uyğun sürəti təyin etmək üçün aşağıdakı tənlikdən istifadə edilir:

$$Re = AFe^n,$$

burada A və n - eksperiment yolu ilə təyin edilən sabit kəmiyyətlərdir, kömür və dən üçün $A=0,19$; $n=1,56$ olur;

Fe - Fyodorov kriteriyası adlanıb, dəyişmə sərhədi 40...200 olur;

Re - Reynolds kriteriyasıdır.

$$Re = \frac{wd_e}{\nu},$$

burada w - axtarılan sürət;

ν - qazın kinematik özlülüüyüdür.

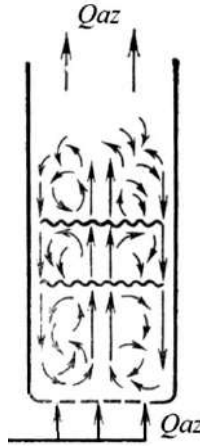
Hissəciklərin gətirilmiş diametri

$$d_e = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi n \rho}}, \quad (5.1)$$

burada m - layda hissəciklərin kütləsi, kq;

n - hissəciklərin sayı;

ρ - hissəciklərin sıxlığıdır, kq/m³.



Şək.5.1. Hissəciklərin qaynayan layda hərəkət sxemi

Fyodorov kriteriyası

$$Fe = d_e \sqrt{\frac{4g}{3\nu^2} \cdot \frac{\rho}{\rho_q - 1}}, \quad (5.2)$$

burada ρ_q - qazın sıxlığıdır.

Şaquli divarlı aparatlarda qaynayan layın hidravliki müqaviməti (Pa)

$$\Delta p = \frac{G}{S_\delta},$$

burada $S_{\text{ş}}$ - şadaranın sahəsi, m^2 ;
 G - layda bərk hissəciklərin çəkisi, N.

$$G = h(1 - \varepsilon)\rho g ,$$

burada h -hava üfürülmədikdə şadara material layının hündürlüyü, m;

ε - layın məsaməliliyi;

ρ - bərk hissəciklərin sıxlığı, kg/m^3 ;

G - sərbəstdüşmə təcildir, m/san^2 .

Qaynayan layda qarışmanın intensivliyi istilik və diffuziya hallarının bu layda yüksək intensivliyini təmin edir. Bu səbəbdən kimya və qida sənayesində belə qarışdırıcı aparatlar geniş yayılmışdır. Saxta qaynama metodu qurutma texnikasında daha geniş istifadə olunur.

5.2. Saxta mayeləşmənin fiziki əsasları və hesabat düsturları

Saxta mayeləşən (qaynayan) layın əmələ gəlməsini nəzərdən keçirək. Perforasiyalı qazpaylayıcı şadara ilə təchiz olunmuş şaquli aparatda (şək.5.2) narın dispers bərk material layı yerləşdirilir. Mayeləşdirici agent, yəni qaz aparatın alt hissəsinə, qazpaylayıcı şadaranın altına verilir. Layda təzyiqlər fərqi diferensial manometrə ölçülür.

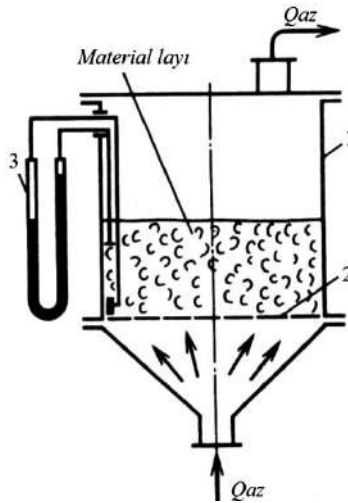
İki fazalı sistemin halı saxta mayeləşmə əyrisi şəklində verilir. Bu əyri layda təzyiqlər fərqinin Δp mayeləşdirici agentin sürətindən v asılılığını ifadə edir:

$$\frac{\Delta p}{H_0} = \frac{f}{v}, \quad (5.3)$$

burada H - hərəkətsiz layın hündürlüyüdür, m.

Qazın çox yüksək olmayan sürətində dənəvər material layı hərəkətsiz qalır, qaz laydan keçərək filtrlənir (şək.5.3, *OK* əyrisi). Qazın sürəti artdıqca layda təzyiqlər fərqi artır və müəyyən anda layda dənəvər materialın kütləsi qaz axınının hidrodinamiki təzyi-

qı ilə bərabərləşir və hidrodinamiki tarazlıq yaranır.



Şək.5.2. Saxta mayeləşmə üçün aparat:

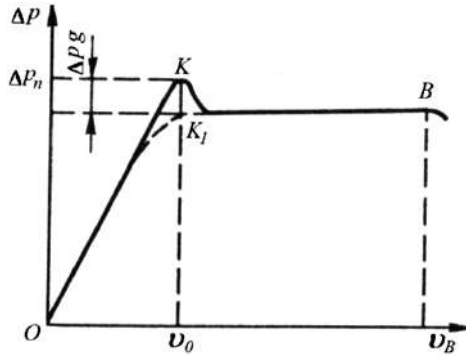
1-korpus; 2-perforasiyalı şadara; 3-manometr

Hidrodinamiki tarazlıq şəraitində hissəciklərin pulsasiyalı (döyüntülü) hərəkəti baş verir. K_1 nöqtəsindəki kəsilmə sabit layın "qaynama" halına keçməsinə uyğun gəlir. K_1 nöqtəsinin absisi "qaynamanın" başlama sürətini, ordinatı isə bu nöqtədə təzyiqlər sürətini təyin edir. Dənəvər layın saxta mayeləşmə halına keçməsi sürəti saxta mayeləşmənin başlanğıc sürəti adlanır. Qazın sürətinin artmasında lay genişlənir, hissəciklərin qarışma intensivliyi artır, ancaq təzyiqlər fərqi sabit qalır.

İkinci kritiki sürətdə U_B və ya aparılma sürətində hidrodinamiki tarazlıq pozulur. Bu sürət saxta mayeləşən layın mövcudluğunun yuxarı sərhəddidir. $U > U_B$ olduqda hissəciklər laydan aparılır, nəticədə onların kütlə miqdarı azalır və bərk fazanı asılı vəziyyətdə saxlamaq üçün lazım olan enerji azalır.

Real saxta qaynama əyrisi ideal əyridən bir qədər fərqlənir. Beləliklə, saxta qaynama layının sərhədləri saxta qaynamanın başlama və aparılma sürəti ilə məhdudlaşır. Sabit laydan saxta

mayeləşməyə kəskin keçid qiymətləri bir-birinə yaxın hissəciklərdən ibarət olan laylar üçün xarakterikdir.

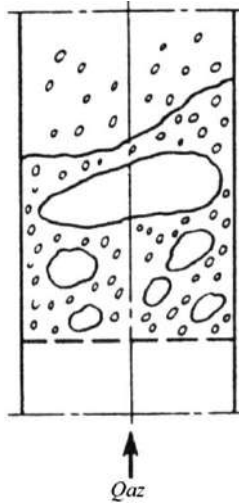


Şək.5.3. Saxta mayeləşmə əyrisi

İşçi sürətin saxta mayeləşmənin başlama sürətinə nisbəti $W = v/v_0$ saxta mayeləşmə ("qaynama") ədədi adlanır. Saxta mayeləşmə ədədi saxta mayeləşmə halını və onda hissəciklərin qarışma intensivliyini xarakterizə edir. Saxta mayeləşən layın xassələri saxta mayeləşmə ədədlərindən asılıdır.

Layın saxta mayeləşməsi yekcins və qeyri-yekcins olur. Yekcins saxta mayeləşmə layın damcılı maye ilə "qaynamasında" müşahidə olunur. Qeyri-yekcins "qaynamada" qaz layında qabarcıqların olması müşahidə olunur (şək.5.4). Saxta mayeləşmə ədədi kiçik olduqda layın qeyri-yekcinsliyi onun xassələrinə mənfi təsir göstərmir. Hərəkət edən qaz qabarcıqları layda hissəciklərin qarışmasını intensivləşdirir. Ancaq saxta mayeləşmə ədədi artdıqda layın qeyri-yekcinsliyi artır, yəni qabarcıqların ölçüləri böyüyür və hissəciklərin laydan intensiv atılması (aparılması) başlayır. Qabarcıqların en kəskin ölçüləri aparatın ölçüsünə bərabərləşir. Porşen rejimi adlanan rejim yaranır, bu halda qaz və materialın hissəcikləri arasında qeyri-bərabərlik yaranır.

Qazla saxta mayeləşdirmədə, əsasən də nəmli, kiçik yapışqan hissəciklərdə, kanal əmələ gəlmə müşahidə oluna bilər ki, bu halda qaz laydan sıçrayaraq keçir.



Şək.5.4. Qeyri-yekcins saxta mayeləşən layın strukturu

Kanal əmələ gəlmənin məhdud halı fantanlayıcı (fəvvarə) layı yaradır (şək.5.5). Fantanlayıcı axında qaz aparatın oxuna yaxın yaranan kanalla laydan keçir.

Saxta mayeləşmə sıx və duru fazalarda baş verir.

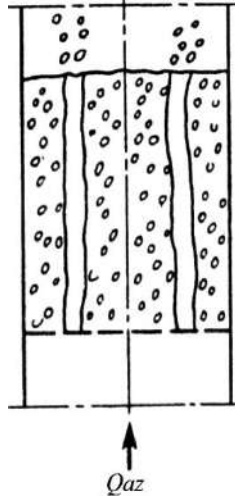
Sıx fazada saxta mayeləşmə o zaman müşahidə olunur ki, qazın sürəti saxta mayeləşmənin başlama sürəti v_0 və aparılma sürəti v_B arasında olur. $v > v_b$ olduqda hissəciklərin laydan pnevatiki nəql etdirilməsi baş verir. Bu halda saxta mayeləşən lay duru fazada olur. Duru halda faza o zamana qədər mövcud olur ki, qaz axımında heç olmasa bir hissəcik olsun.

Bərk hissəciklər layının saxta mayeləşmə halında olması üçün enerji E sərf etmək lazım gəlir. Bu enerji hissəciklərin bir-birinə sürtünməsini, qazın hissəciklərə, hissəciklərin və qazın aparatın divarlarına sürtünmələrini qət etməsinə və layın genişlənməsinə sərf olunur.

Sabit en kəsiyi olan aparatlarda qazın sıxılmasını nəzərə almadan qəbul etmək olar ki,

$$E = v\Delta pF ,$$

burada Δp - qazın laydan keçməsində təzyiqlər fərqi;
 F - aparatın en kəsik sahəsidir.



Şək.5.5. Layda kanal əmələ gəlmə

Layda təzyiqlər fərfini nəzəri yolla təyin etmək olar. Əgər H hündürlüyü boyu ε sabit qəbul edilməzsə, onda

$$\Delta p = g\rho_e(1 - \varepsilon)H, \quad (5.4)$$

burada ρ_e - hissəciklərin səmərəli sıxlığı ($\rho_e \approx \rho_l$), q/m³;
 ε - saxta mayeləşən layın müxtəlifliyidir.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_T},$$

burada ρ_s - layın sıxlığı;

ρ_T - bərk hissəciklərin sıxlığıdır, kq/m³.

Hərəkətsiz lay üçün

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_H}{\rho_T},$$

burada ρ_H - materialın tökmə sıxlığıdır, kg/m^3 .
Saxta mayeləşmənin başlanğıc nöqtəsində

$$\frac{\Delta p}{H_0} = g\rho_e(1 - \varepsilon_0).$$

(5.3) və (5.4) tənliklərini bərabərləşdirdikdə saxta mayeləşmə sürəti tapılır:

$$f/v = g\rho_e(1 - \varepsilon_0).$$

Layda təzyiqlər fərqi hesablamak üçün Erqanın tənliyi tövsiyə edilir:

$$\Delta p = 150 \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\mu v}{d_e^2} H + 1,75 \frac{1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_0^3} \cdot \frac{\rho_T v^2}{d_e} H.$$

Bu tənlikdən ($\varepsilon_0=0,38\dots0,42$ olduqda) Todes saxta mayeləşmənin başlanğıc sürətini hesablamak üçün kriteriya asılılığı əldə etmişdir:

$$\text{Re}_0 = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (5.5)$$

burada Re_0 - Reynolds kriteriyası;
 Ar - Arximed kriteriyasıdır.

Bu asılılıq Reynolds ədədinin hər bir dəyişmə diapazonunda həm laminar, həm keçid və həm də turbulent rejimlərində istifadə olunur.

Sferik formada olmayan hissəciklər üçün saxta mayeləşmənin başlanğıc sürəti forma faktoru Φ nəzərə alınmaqla təyin edilir.

Sferik formadan fərqlənəndə hissəciklərin ölçüləri aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$d_i = \sqrt[3]{\frac{6V_r}{\pi}},$$

burada V_r - baxılan fraksiyada bir hissəciyin həcmnin orta ədədidir.

$$V_r = \frac{g}{n\rho_T},$$

burada g - təcrübədə nümunənin kütləsi;
 n - nümunədə hissəciklərin miqdarı;
 ρ_T - hissəciklərin sıxlığıdır.
Hissəciklərin forma faktoru

$$\Phi = \sqrt{\frac{\pi d_h^2}{S_h}} = \sqrt{\frac{4,87V_h^{\frac{2}{3}}}{S_h}},$$

burada d_h - hissəciklərin diametri;
 S_h - hissəciklərin sahəsidir.

İkinci kritiki sürətin hesabı ν_B (5.5) düsturu ilə analogi aparılır:

$$\text{Re}_B = \frac{Ar}{18 + 0,575\sqrt{Ar}}. \quad (5.6)$$

Hissəciklərin aparılma sürəti

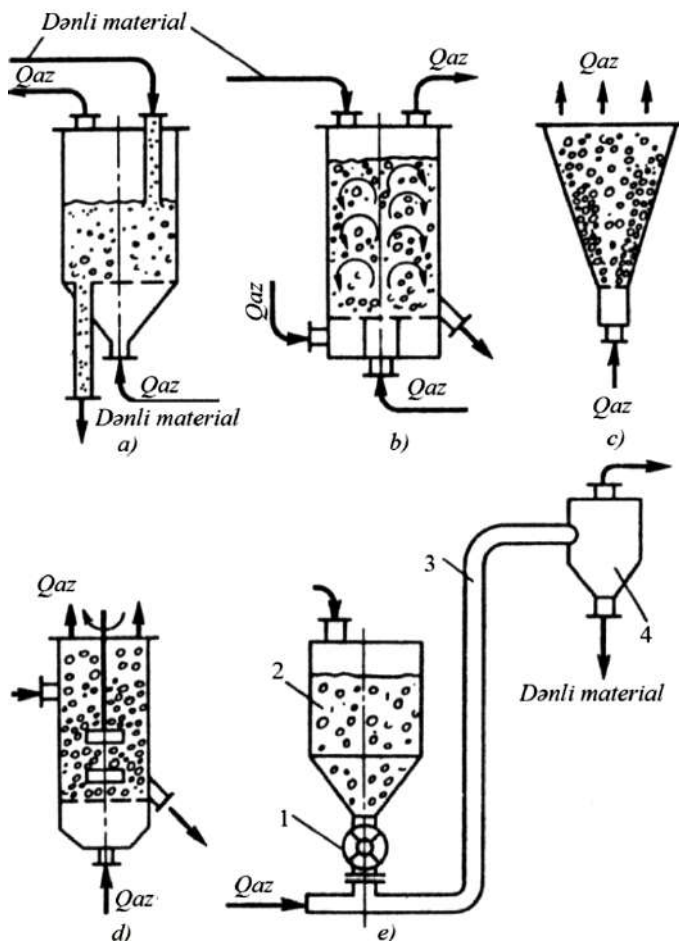
$$\nu_B = \frac{\text{Re} \nu}{d_h}, \quad (5.7)$$

burada ν - kinematik özlülük əmsəlidir.

5.3. Saxta mayeləşən laylı (qaynayan laylı) aparatlar

Prosesin gedişinin texnoloji şərtlərini nəzərə alan çoxlu miqdarda qaynayan laylı aparatların konstruksiyaları işlənmişdir. Şəkil 5.6-da belə aparatların bir neçə sxemi göstərilmişdir.

Təsir prinsipinə görə aparatlar periodik və fasiləsiz olurlar. Fasiləsiz təsirli aparatlarda qaz axınının dənəvər materialla təması baş verir, bu proses fasiləsiz yerinə yetirilir, çünki material aparata fasiləsiz olaraq daxil edilir və oradan çıxarılır. Proses düz, əks və çarpaz axında yerinə yetirilə bilər.



Şək.5.6. Qaynayan laylı aparatların sxemi:

a-silindrik əksaxınlı fasiləsiz təsirli; *b*-istiqamətləndirilmiş sirkulyasiyalı (silos); *c*-konusvari; *d*-qarışdırıcı qurğulu; *e*-pnevmatik nəql etmək üçün qurğu; 1-şlüz siyirtməsi; 2-bunker; 3-pnevmatik xətt; 4-siklon

Silindrik əksaxınlı fasiləsiz təsirli işləyən aparata (şək.5.6,*a*) mayeləşdirici qaz axını qazpaylayıcı şadaranın altından, dənəvər material isə aparatın üstündən daxil olur. Qazpaylayıcı üzərində müəyyən material layını təmin etmək və onu aparatdan çıxarmaq üçün axıdıcı qısa boru nəzərdə tutulmuşdur.

Şaquli silindrik siloslar (şək.5.6,*b*) böyük miqdarda daxil olan dən materialını toplamaq üçün istifadə olunur. Qaynayan lay iki altlıq arasında yerləşən və daxili boşluğa verilən qaz (hava) ilə yaradılır. Daxili boşluq konsentrik arakəsmələrlə daxili və xarici həlqələrə ayrılır. Xarici həlqəyə daxildən təxminən iki dəfə çox qaz verilir. Qazın miqdarının müxtəlif olması hesabına silosda istiqamətləndirilmiş sirkulyasiya əldə olunur və dənli material aparatın kənarlarından onun oxuna tərəf sirkulyasiya etməsi nəticəsində qarışdırılır.

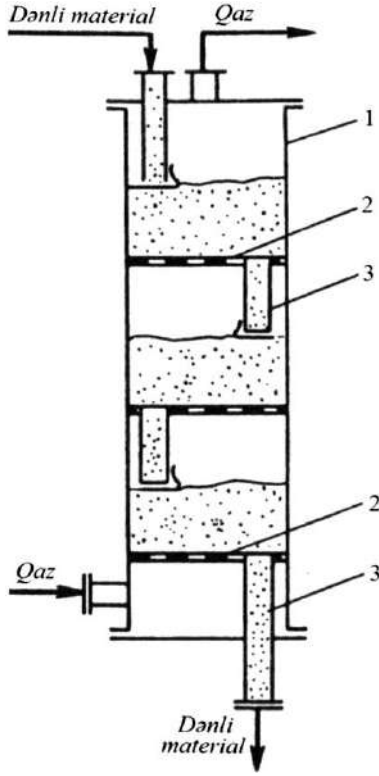
Konusvari aparatlarda (şək.5.6,*c*) sürətin aşağıdan yuxarıya doğru azalması polidispers materialları saxta mayeləşdirməyə imkan verir. Qaz aparatın altından yüksək sürətlə verilir. Bu qazpaylayıcı şadarasız işləməyə imkan verir, bu da nəm və yapışqan materialları saxta mayeləşdirilməsində çox vacib rol oynayır. Aparatın konusluq bucağı böyük olduqda qaz şırnağı aparatın divarlarından ayrılaraq kanal yarada bilər. Bu kanalla qazda asılı olan hissəciklər yüksək sürətlə hərəkət edə bilər. Belə lay fantanlayıcı adlanır. Fantanlayıcı laylı aparatlarda dənəvər materialın mərkəzdən divarlara tərəf intensiv sirkulyasiyası yaranır.

25...40 mkm diametrlı kiçik hissəciklərin qaynamasında onların yapışqanlıq, elektrikləşməyə meyilli olduğu üçün hissəciklərin qarışdırılmasını yaxşılaşdırmaq, istilik və kütlədəyişmə proseslərini intensivləşdirmək məqsədi ilə qaz mexaniki saxta mayeləşdirmə üsulundan istifadə olunur. Bu halda əlavə enerji tələb edən müxtəlif qarışdırıcı qurğular və vibratorlardan istifadə olunur (şək.5.6,*d*).

Şəkil 5.6,*e*-də pnevmatik nəqletdirici qurğu göstərilmişdir. Dənəvər material şlyüz siyirtməsi vasitəsilə dozalaşdırılaraq pnevmatiki xəttə verilir.

Saxta mayeləşmiş layın dənəvər material və qaza ayrılması siklonda yeni səviyyədə baş verir.

Materialın əksinə qarışmasını azaltmaq üçün əksaxınlı fasiləsiz təsirli işləyən aparatlarda onlar seksiyalara ayrılır (şək. 5.7), yəni dənəvər material hündürlüyü boyu perforasiyalı arakəsmələrlə bölünür.



Şək.5.7. Fasiləsiz təsirli seksiyalı aparat:

1- korpus; 2- qazpaylayıcı şadara; 3- axıdıcı qurğu

Dənəvər materialın üst seksiyadan alt seksiyaya qravitasiya qüvvəsinin təsirindən axması xüsusi axıdıcı qurğular və ya üfüqi arakəsmələrdə olan deşiklər vasitəsilə yerinə yetirilir.

Yoxlama sualları

1. Dənli material layının hansı vəziyyəti saxta mayeləşən adlanır? 2. Qaynayan layın üstünlükləri və çatışmamazlıqları nədir? 3. Real qaynama əyriləri ideal əyrilərdən nə ilə fərqlənir? 4. Dənəvər material layının qaynamasında qaz axınının enerjisi nəyə sərf olunur? 5. Qaynayan laylı aparatlar hansı konstruksiyada olur? 6. "Fantanlayıcı" lay nədir? 7. Saxta mayeləşmə ədədi nəyə deyilir? 8. İkinci kritiki sürət başqa cür necə adlanır? 9. Porşenli rejim hansı halda yaranır? 10. Saxta mayeləşmənin başlanğıc sürəti nəyə deyilir?

FƏSİL 6 QARIŞDIRMA

6.1. Qarışdırma üsulları

Səpələnən, maye və qaz şəkilli cisimlərin sıx təmasa gətirilmə prosesi qarışdırma adlanır. Hər dəfə istilik və ya kütlədəyişmə proseslərini sürətləndirmək üçün qarışdırmadan istifadə olunur.

Emulsiya və suspenziyalarda olan maye və bərk cisimlər arasında əlaqə yaratmaq üçün qarışdırma üsulları tətbiq edilir. Müxtəlif qarışdırma üsullarının təsnifatı aşağıdakı kimi olur:

- 1) maye mühitdə qarışdırma;
- 2) səpələnən materialların qarışdırılması;
- 3) plastik kütlələrin qarışdırılması.

Maye mühitdə qarışdırma mexaniki, pnevmatiki və axın üsulu ilə yerinə yetirilir. Mexaniki qarışdırma qarışdırıcılar vasitəsilə, pnevmatiki qarışdırma qaz və ya buxar şırnağının enerjisi hesabına, axınlı qarışdırma isə maye axınlarının xüsusi qarışdırıcılarda qarışdırılması hesabına yerinə yetirilir.

6.2. Mexaniki qarışdırma

Qida sənayesində istifadə olunan mexaniki qarışdırıcılar üç əsas qrupa bölünür: pərli, propellerli və turbinli.

Pərli qarışdırıcılar. Bu qarışdırıcılar başqalarına nisbətən sadə konstruksiyalı olub qurğularda hərəkət istiqamətinə perpendikulyar və ya maili yerləşdirilir. Pərlər fırlanan şaquli və ya üfüqi valda oturdulur. Bir səthdə 1-dən 4-ə qədər pərlər yerləşə bilər. Pərlərin forması müxtəlif, adi düzbucaqlıdan mürəkkəb konstruksiyalaradək olur. Qarışdırılan mühitin xassəsinə uyğun pərin tipi müəyyənləşdirilir. Belə ki, lövbərli qarışdırıcılar çöküntülü sistemlərin qarışdırılmasında tətbiq edilir. Özlü mayələrin qarışdırılması zamanı mayenin pərlərlə birgə fırlanmaması üçün əksətdiricilər quraşdırılır.

Qarışdırıcıların fırlanması zamanı mayenin səthi paraboloid

formasını alır ki, onun dərinliyi, fırlanma tezliyi artdıqca çoxalır. Pərli qarışdırıcıların fırlanma tezliyi 400 dövr/dəq- dən artıq olmur, adətən 20...80 dövr/dəq. təşkil edir. Pərli qarışdırıcıların üstünlükləri qurğunun sadəliyidir. Lakin onlar pərin səthinə perpendikulyar istiqamətdə qarışdırmanı yaxşı təmin edə bilmirlər. Pərlər hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yerləşdirildikdə suspenziyanın hissəciklərinin asılı halda olmasını təmin edə bilmirlər.

Sadə pərli qarışdırıcılar əsasən aşağı özlülüklü mayelərin qarışdırılmasında istifadə olunur (0,1 Pa·san-yə qədər). Özlülüyü çox olan mayelərin qarışdırılması üçün çərçivəli qarışdırıcılardan və ya əksetdirici arakəsməli çənlərdən istifadə olunur. Pərli planetar qarışdırıcı yaxşı qarışmanı təmin edir, ancaq mürəkkəb konstruksiyaya malikdir.

Propellerli qarışdırıcılar. Propellerli qarışdırıcıların işçi orqanı şaquli və ya üfüqi oxa oturdulmuş propellerlərdən (vintlərdən) ibarətdir. Vintin diametri adətən çənin diametrinin 1/3...1/4-ni təşkil edir. Vintlər iki və ya üç pərli olurlar. Pərlərin maillik bucağının dəyişməsi hesabına mayenin hissəciklərini vint müxtəlif istiqamətə hərəkət etdirir. Bunun nəticəsində qarşılıqlı maye şirnaqları yaranır ki, bu da yaxşı qarışmanı təmin edir.

Propellerli qarışdırıcılar orta özlülüklü (6 Pa·san-yə qədər) hərəkətli mayelərdə istifadə olunur. Pərlilərlə müqayisədə bu qarışdırıcılar daha faydalıdır, ancaq daha çox enerji istifadə edir. Vintin oxunun maili yerləşməsi qarışdırmanın effektivliyini təmin edir.

Turbinli qarışdırıcılar. Turbinli qarışdırıcıların işçi orqanı şaquli oxla fırlanan turbin çarxıdır. Çarxın fırlanma tezliyi 200...2000 dövr/dəqiqədir. Onun işi mərkəzdənqaçma nasosunun işi ilə anolojiidir. Maye çarxa mərkəzi deşikdən ox istiqamətində daxil olur və pərlərdən təcil alaraq çarxdan radial istiqamətdə atılır. Fırlanan çarx fırlanmayan pərli çarxın içərisində yerləşdirilir. Bu çarxın məqsədi maye axınının istiqamətini dəyişdirmək və hidravliki itkiləri azaltmaqdır. Daha yaxşı qarışmanı təmin etmək üçün valda iki turbin yerləşdirilir.

Turbinli qarışdırıcılar çox səmərəli aparatlar olub həm özlülüyü az, həm də çox olan (500 Pa·san-yə qədər) mayeləri və eləcə

də mayelərdə səpələnən cisimləri (25 mm ölçülərində) qarışdırmaq üçün istifadə olunur.

6.3. Mexaniki qarışdırmada enerji sərfi

Mexaniki qarışdırma zamanı enerji sərfini təyin etmək üçün ölçülər analizi metodundan istifadə edilir. Qarışdırma prosesinin eksperimental tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, qarışdırıcının gücü N mayenin özlülüyündən η , sıxlığından ρ , qarışdırıcının fırlanma tezliyindən n və diametrindən d asılıdır.

$$N = \varphi(\eta, \rho, n, d)$$

və ya

$$N = c\eta^x \rho^y n^z d^v, \quad (6.1)$$

burada c, x, y, z, v - əmsal və dərəcə göstəriciləridir.

Burada 5 məchul var. Deməli, “pi” teoreminə əsasən kriteriyaların sayı $5-3=2$.

Tənliyin kəmiyyətlərinin ölçü vahidlərini yazmaq:

$$[N] = Vt = \frac{N \cdot m}{san} = \left(\frac{kq \cdot m}{san^2} \right) \frac{m}{san} = \frac{kq \cdot m^2}{san^3};$$

$$[\eta] = \frac{N \cdot san}{m^2} = \left(\frac{kq \cdot m}{san^2} \right) \frac{san}{m^2} = \frac{kq}{san \cdot m};$$

$$[\rho] = \frac{kq}{m^3}; \quad [n] = \frac{1}{san}; \quad [d] = m.$$

Ölçülər tənliyi

$$\frac{kq \cdot m^2}{san^3} = \left(\frac{kq}{san \cdot m} \right)^x \left(\frac{kq}{m^3} \right)^y \left(\frac{1}{san} \right)^z (m)^v;$$

$$kq \cdot m^2 \cdot san^{-3} = kq^{x+y} san^{-x-z} m^{-x-3y+v}.$$

Əsas vahidlər üçün tənliklər sistemi yazılır:

$$\begin{aligned}kq|1 &= x + y \\m|2 &= -x - 3y + v \\san|-3 &= -x - z.\end{aligned}$$

Buradan dəyişikliklər etdikdə

$$y = 1 - x; \quad v = 5 - 2x; \quad z = 3 - x$$

alınır.

Alınan qiymətləri (6.1) tənliyində yerinə yazdıqda

$$N = c\eta^x \rho^{1-x} n^{3-x} d^{5-2x};$$

$$N = c\rho n^3 d^5 \left(\frac{\eta}{\rho n d^2} \right)^x$$

və ya

$$\frac{N}{\rho n^3 d^5} = c \left(\frac{\rho n d^2}{\eta} \right)^{-x}. \quad (6.2)$$

Ölçüsüz kompleks $\frac{N}{\rho n^3 d^5}$ Eyler kriteriyası və ya güc kriteriyası K_N adlanır və qarışdırma üçün Eu_m kimi işarələnir. $\rho n d^2 / \eta$ -Reynolds kriteriyasının başqa növü olub Re_m kimi işarələnir.

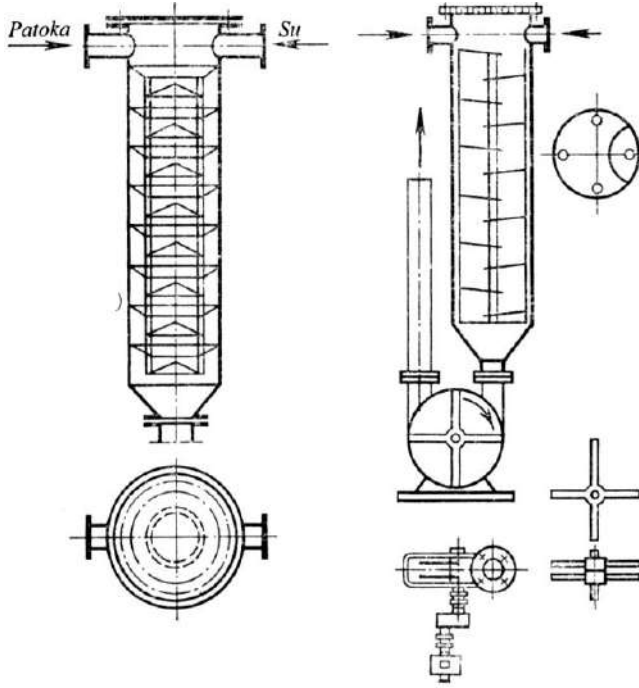
$$Eu_m = c Re_m^k. \quad (6.3)$$

(6.3) tənliyi qarışdırmada enerji sərfinin kriteriya tənliyinin ümumi görünüşüdür. c və k kəmiyyətləri eksperimental yolla təyin edilir.

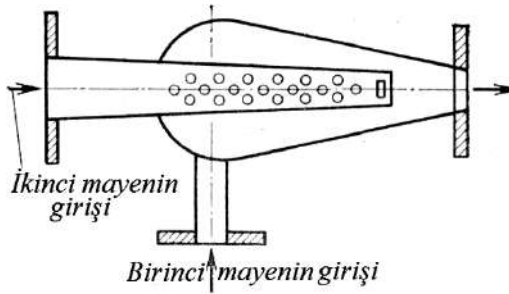
6.4. Qarışdırıcı qurğular

Axınlı qarışdırma. Mexaniki qarışdırıcılar adətən periodik, axınlı qarışdırıcılar isə fasiləsiz işləyirlər (şək.6.1). Bu qarışdırıcı-

larda iki və ya daha çox sayda mayelərin qarışdırılması yerinə yetirilir. Bu məqsədlə arakəsməli və ya ejektorlu qarışdırıcılardan istifadə olunur (şək.6.2).

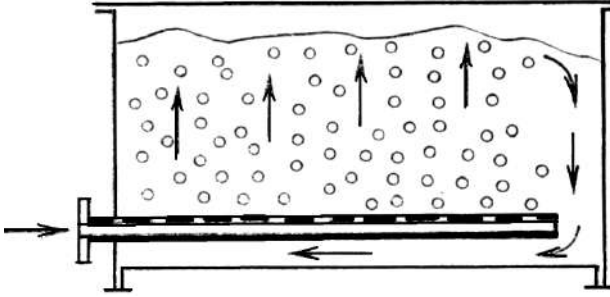


Şək.6.1. Spirt istehsalında sirop və suyun qarışdırılmasında istifadə edilən axınlı qarışdırıcı



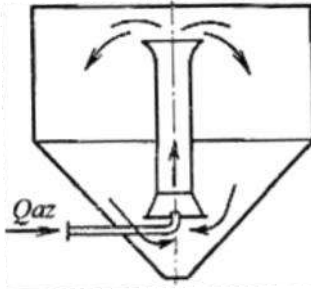
Şək.6.2. Su və maye suspenziyanı qarışdırmaq üçün ejektorlu qarışdırıcı

Pnevmatiki qarışdırma. Pnevmatiki qarışdırmadan özlülüyü çox yüksək olmayan (200 Pa·san-yə qədər) mayelər üçün istifadə edilir (şək.6.3). Qarışdırma buxar ilə yerinə yetirildikdə bu halda maye də qızdırılır. Pnevmatiki qarışdırmada qaz və ya buxar mayeyə barbotyor vasitəsi ilə verilir. Bu zaman qazın (buxarın) şırnaqları maye kütləsində üzə çıxan qabarcıqlara parçalanır.



Şək.6.3. Pnevmatiki qarışdırıcı

Mayenin qarışması qabarcıqların özləri ilə mayeni yuxarı qaldırması hesabına baş verir. Səpələnən cisimləri (dənləri) qarışdırmaq üçün qaz şırnaqlı nasosun təsir prinsipindən istifadə olunur. Hava kompressorla mərkəzi boruya verilir. Bu halda boruda qaz, maye və dən qarışığı əmələ gəlir ki, onun sıxlığı qarışığın sıxlığından aşağı olur (şək.6.4). Mayelərin sıxlıqları fərqi hesabına kütlənin sirkulyasiyalı hərəkəti baş verir.



Şək.6.4. Səpələnən cisimlərin qarışdırılması

Pnevmatiki qarışdırma hava sərfi qarışdırmanın intensivliyindən asılıdır və 1 m^2 maye səthində $0,4...1 \text{ m}^3/\text{dəq.}$ təşkil edir.

Asan uçan mayələrin pnevmatik üsulla qarışdırılması məqsəduyğun deyil, çünki onlar qarışdırıcı qazla uçur.

Pnevmatiki qarışdırma enerji sərfi qazın miqdarından və təzyiqindən asılıdır. Hava üfürücüsünün yaratdığı təzyiq iki kəmiyyətin cəmindən ibarətdir:

1) çəndə maye sütununun təzyiqini nizamlamaq üçün tələb olunan təzyiq p ;

2) qazın boru kəmərlərində itirilən təzyiqi p_T .

Hava üfürücüsündə yaranan təzyiqin yüksək olmadığından güc N aşağıdakı düsturla hesablanır (Vt):

$$N = V(p + p_T)10,2\eta, \quad (6.4)$$

burada V - verilən havanın sərfi, m^3/san ;

$p+p_T$ - təzyiq, Pa;

η - hava üfürücüsünün faydalı iş əmsalıdır.

6.5. Səpələnən kütlələrin qarışdırılması

Səpələnən kütlələrin qarışdırılmasında istifadə olunan aparatlar müxtəlifdir. Bu aparatlar yavaş gedişli və bərk gedişli olurlar. Yavaş gedişli aparatlarda ölçüsüz Frud kriteriyası

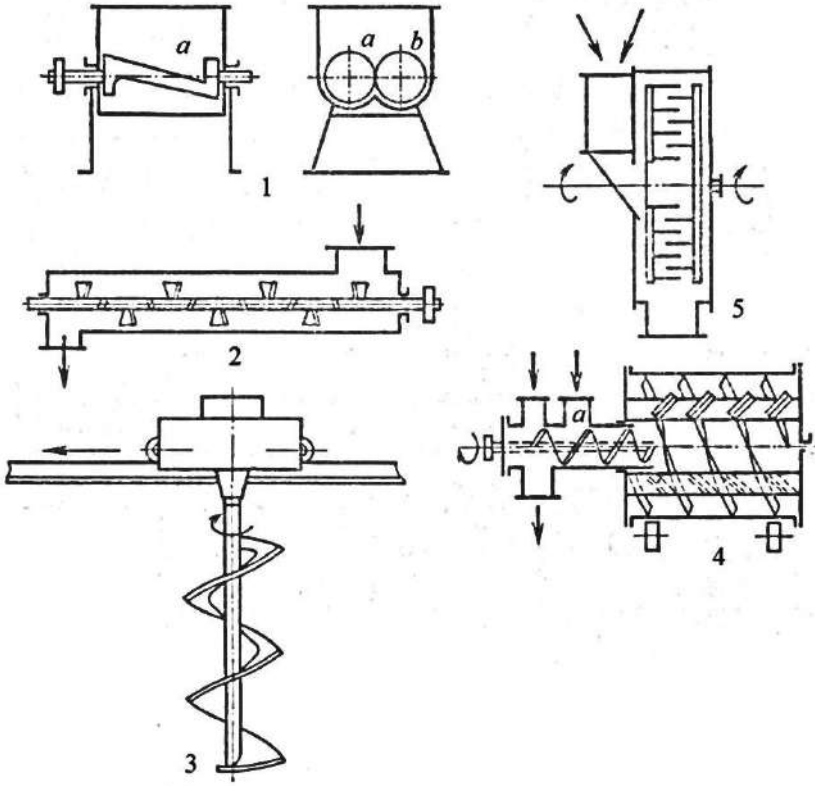
$$Fr = \frac{\omega^2}{Rg} < 30, \quad (6.5)$$

burada ω - çevrə sürəti;

R - fırlanma radiusu;

g - sərbəst düşmə təcilidir.

Barabanlı qarışdırıcılarda R barabanın daxili radiusu, şnekli qarışdırıcılarda isə R vintin radiusudur. Bu radiuslara görə ω çevrə sürəti qəbul olunur. Şəkil 6.5-də qarışdırıcıların əsas tipləri verilmişdir.



Şək.6.5. Səpələnən cisimlər üçün qarışdırıcıların əsas tipləri:

1 – kürəkli, 2, 3 – şnekli, 4 – barabanlı, 5 – zərbəli

Fasiləsiz qarışdırıcılarda material həm qarışdırılır və həm də eyni zamanda nəql etdirilir. Pərli qarışdırıcı iki «Z» şəkilli pərdən ibarətdir. Pərlər müxtəlif istiqamətlərdə fırlanır. Qarışdırıcıya daxil olan material pərlərin intensiv qarışdırmasına məruz qalır.

Qida sənayesində oynaq oxlu şnekli qarışdırıcılar geniş yayılmışdır. Barabanlı qarışdırıcılarda qarışdırma pərlərlə təchiz olunmuş barabanın fırlanması hesabına baş verir. Barabana material şnek vasitəsilə verilir.

Zərbə tipli qarışdırıcılarda qarışdırma billərin qarışdırılan hissəciklərə zərbəsi nəticəsində yerinə yetirilir. Billər sürətlə əks istiqamətlə fırlanan disklərə oturdulur.

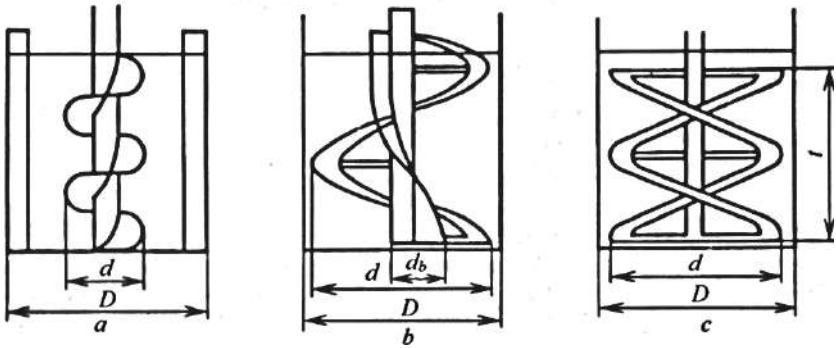
6.6. Plastiki kütlələrin qarışdırılması

Plastiki kütlələrin qarışdırılmasında, xüsusən də çörək, makaron və qənnadı istehsalında komponentlər yalnız qarışdırılır, həmçinin xəmir yoğrularaq hava ilə zənginləşir və müəyyən xassə əldə edir.

Qarışdırma prosesi periodik və fasiləsiz təsirli olmaqla çərçivəli, şnekli və lentli qarışdırıcılarla (şək.6.6) yerinə yetirilir. Qarışdırıcıların qarışdırıcı qurğuları şaquli və üfüqi oxlu olur. Elastik-bərk (sərt) kütlələrin (buğda xəmiri) emalı üçün bir sıra hallarda qarşı-qarşıya müxtəlif sürətlə fırlanan iki işçi orqanlı qarışdırıcılardan istifadə olunur.

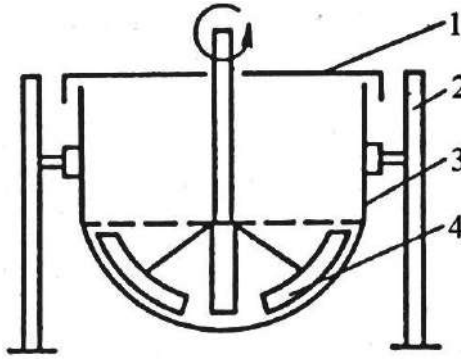
Diametri d_m olan şnekli qarışdırıcının gücünün hesabı üçün $Eu_m=71/Re_m$ və ya $N=Ad_m n^2 \mu$ tənliyindən istifadə olunur. A əmsallı qarışdırıcı qurğunun həndəsi nisbətləri funksiyası kimi təyin edilir.

Az və yüksək özlülüklü qənnadı kütlələrin qarışdırılması (vafli xəmiri, vafli içliyi, biskvit xəmiri və s.), həmçinin səpələnən komponentli qənnadı kütlələrin qarışdırılması üçün (keks xəmiri və kişmiş, yumurtanın ağı ilə araxis) təknə içərisində yerləşən müxtəlif istiqamətdə fırlanan iki spirallı işçi orqana malik qarışdırıcılardan istifadə olunur. Qarışmanın yüksək intensivliyi prosesin nazik layda yerinə yetirilməsi hesabına baş verir.



Şək.6.6. Şnekli (a) və lentli (b, c) qarışdırıcılar

Pirojna xəmiri xəmir yoğuran aparatın dibində 90° bucaq altında yerləşən dörd pərdən ibarət qarışdırıcı qurğunun köməyi ilə yoğrulur (şək.6.7).



Şək.6.7. Xəmir yoğuran aparat:

1-qapaq; 2-dayaq; 3-gövdə; 4-qarışdırıcı qurğu

Qarışdırıcının fırlanma tezliyi 12 dəq^{-1} -dir. Qarışma prosesi qurtardıqda aparat çevrilir, bu zaman qapaq açılır və xəmirin boşalması baş verir.

Yoxlama sualları

1. Qarışdırma nədir? 2. Qida sənayesində qarışdırma hansı məqsədlə yerinə yetirilir? 3. Müxtəlif qarışdırma üsullarının təsnifatı hansılardır? 4. Maye mühitdə hansı qarışdırma üsulları mövcuddur? 5. Qida texnologiyasında qarışdırıcıların hansı konstruksiyalarından istifadə olunur? 6. Turbinli qarışdırıcıların əsas işçi orqanı olan çarxın fırlanma tezliyi nə qədərdir? 7. Mexaniki qarışdırma zamanı enerji sərfini təyin edilməsində hansı metoddan istifadə edilir? 8. Qarışdırıcının gücü N hansı parametrlərdən asılıdır? 9. “pi” teoreminə əsasən kriterilərin sayı nə qədərdir? 10. Plastik kütlələri və səpələnən materialları qarışdırmaq üçün hansı qarışdırıcı qurğulardan istifadə olunur? 11. Şekli qarışdırıcının gücünün hesabı üçün hansı tənlikdən istifadə olunur? 12. Plastik kütlələri qarışdırmaq üçün qarışmanın yüksək intensivliyi nə zaman baş verir?

FƏSİL 7

ƏKS OSMOS VƏ ULTRAFİLTRASIYA

Əks osmos - təzyiq altında filtrləmə yolu ilə yarımqeçirici membrandan məhlulların həlledicisini buraxan və bu həlledicidə həll olan maddələrin molekullarını və ya ionlarını saxlamaq qabiliyyətinə malik ayırma prosesidir.

Ultrafiltrasiya – məhlulların yarımqeçirici membrandan keçdikdə fraksiyalara ayrılması və konsentrasiyalarının artırılması üçün ayırma prosesidir. Burada maye fasiləsiz olaraq membranın üzərinə 0,1...1 MPa təzyiqlə verilir.

İlkin məhsul ultrafiltrasiya nəticəsində iki yeni məhsula çevrilir. Bunlar kiçik molekullu (filtrat) və yüksək molekullu məhsullardır. Filtrat membrandan keçərək drenaj sistemindən çıxarılır, yüksək molekullu məhsul isə konsentrasiya edir. Ultrafiltrasiya süd sənayesinin ikinci dərəcəli məhsullarından süd zülalı almağa və əlavə qida məhsulları istehsal etməyə imkan verir.

Qida sənayesində membranlı proseslərin istifadəsi meyvə və tərəvəz şirələrinin, siropların, ekstraktların susuzlaşdırılması prosesində, buxarlandırmaqla qatılaştırma və ya qismən dondurma prosesləri ilə müqayisədə enerji sərfini xeyli azaltmağa imkan verir. Məsələn, ultrafiltrasiya zamanı ilkin məhsuldan meyvə şirəsinin çıxımı 95...99% artır. Yağsızlaşdırılmış süddən ultrafiltrasiya ilə süd konsentratı alınır ki, ondan müxtəlif növ pendirlərin, şorların, turş süd məhsullarının istehsalında istifadə olunur və bu da hazır məhsulun çıxımını artırmağa imkan verir. Bişməmiş şəkər şirəsinin ultrafiltrasiyası bilavasitə saxarozanın kristallaşmasına sərf olunan kolloidlərdən azad olmuş təmiz filtrat əldə etməyə imkan verir. Ultrafiltrasiya pivənin pasterizasiyasını əvəz edir. Bu halda pivənin tərkibində olan və onun keyfiyyətini və stabilliyini dəyənliqliyini aşağı salan bakteriyalar və yüksək molekullu maddələr ayrılır. Pivənin ultrafiltrasiya ilə emalının qiyməti pasterizasiyadan 2,5 dəfə aşağıdır.

Üzüm şərablarının əks osmosla emalı onların dayanıqlıq məsələsini həll etməyə imkan verir. Əks osmosdan istifadə etdikdə

membrandan su və etil spirti keçir, kalium və şərab turşusu konsentrasiyada qalır. Konsentrat filtrləndikdən sonra filtratla qarışdırılır, bu da onun dayanıqlığını uzun müddət artırmağa imkan verir. Yumurta zülalını əks osmosla konsentrasiya etdikdə proteinin denaturasiyası baş vermir və tərkibində 30%-a qədər protein olan yumurta zülalı alınır.

7.1. Əks osmos və ultrafiltrasiya ilə ayırmanın nəzəri əsasları

Həllədicinin yarımkeçirici membrandan öz-özünə məhlula keçməsi məhlulların əks osmosla ayırma metoduna əsaslanır (şəkl.7.1). Əgər məhlulun üzərində təzyiqlik osmotik təzyiqdən aşağı olarsa ($p < \pi$), onda həllədicinin məhlula sistemdə osmotik tarazlıq yaranana qədər keçməsi davam edəcəkdir. Tarazlıq halı o zaman baş verir ki, səviyyələr fərqi ilə təyin olunan məhlul və həllədicinin arasındakı hidrostatik təzyiqlik osmotik təzyiqlikə bərabər olsun ($p = \pi$).

Əgər osmotik təzyiqlik əldə olunduqdan sonra məhlul tərəfdən osmotik təzyiqdən yüksək təzyiqlik tətbiq edilərsə ($p > \pi$), onda həllədicinin məhluldan əks istiqamətə keçməyə başlayacaq və əks osmos müşahidə olunacaqdır. Bu zaman membrandan keçən həllədicinin filtrat adlanır.

Əks osmos prosesinin hərəkətedici qüvvəsi təzyiqlik fərqi $\Delta p = p - \pi_1$; burada p - məhlul altında yaranan izafi təzyiqlik; π_1 - məhlulun osmotik təzyiqidir.

Əgər əks osmos prosesində həll olunmuş maddənin membrandan keçməsi müşahidə olunarsa, onda hərəkətedici qüvvənin hesablanması membrandan keçən filtratın osmotik təzyiqlini π_2 nəzərə almaq lazımdır. Onda

$$\Delta p = p - (\pi_1 - \pi_2) = p - \Delta \pi. \quad (7.1)$$

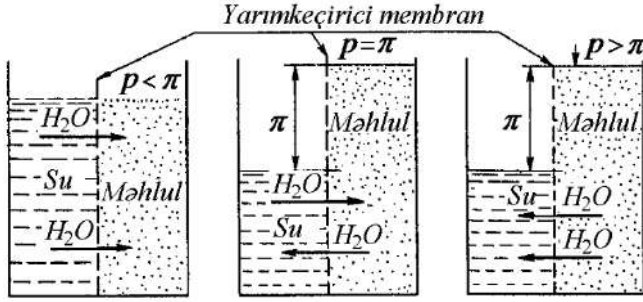
Osmotik təzyiqlin təqribi hesabı üçün Vant-Hoff düsturundan istifadə edilir:

$$\pi = xRT, \quad (7.2)$$

burada x - həllolan maddənin mol payı;

R - qaz sabiti;

T - məhlulun mütləq temperaturu, K.



Şək.7.1. Əks osmos ilə məhlulun ayrılma sxemi

Məhlulların osmotik təzyiqləri onlarla MPa-a çatır. Əks osmos qurğularında təzyiq əks osmos təzyiqindən xeyli böyük olur, çünki prosesin effektivliyi onun hərəkətedici qüvvəsi ilə (işçi və osmotik təzyiqlər fərqi) təyin olunur, yəni 2,45 MPa osmotik təzyiqli, 35% duz tərkibli dəniz suyunun duzsuzlaşdırılmasında qurğuların işçi təzyiqi 7,85 MPa civarında olmalıdır.

Molekulyar kütləsi 500 və daha çox olan su məhlullarını ultrafiltrasiya ilə ayırırlar. Ultrafiltrasiyanın hərəkətedici qüvvəsi işçi və atmosfer təzyiqlərinin fərqinə bərabərdir. Adətən ultrafiltrasiya aşağı təzyiqlərdə (0,1...1,0 MPa) aparılır.

Ultrafiltrasiya membrandan əvvəl və ondan sonrakı təzyiqlərin dəyişməsi təsirindən baş verir. Ultrafiltrasiyanın təyinatından asılı olaraq aşağıda qeyd edilən membranalardan istifadə olunur: həlledicini və əsasən kiçik molekullu birləşmələri buraxan; həlledicini və yüksək molekullu birləşmələrin müəyyən fraksiyalarını buraxan; yalnız həlledicini buraxanlar.

Əks osmos və ultrafiltrasiya ilə ayırma faza dəyişiklikləri olmadan baş verir. İş A_m (Coul) mayədə təzyiqin yaradılmasına və onun membrandan sıxılaraq keçməsinə sərf olunur:

$$A_m = A_s + A_{keç}, \quad (7.3)$$

burada A_s - mayenin sıxılmasına sərf olunan iş, Coul;

$A_{keç}$ - mayenin membrandan sıxılaraq keçməsinə sərf olunan iş, Coul.

Maye sıxılmadığından A_s kəmiyyətini nəzərə almamaq olar

$$\Delta A_{keç} = \Delta p V, \quad (7.4)$$

burada Δp -membranda təzyiqlər fərqi, N/m²;

V -sıxılaraq keçən mayenin həcmidir, m³.

1 m³ suyun sıxılaraq keçməsinə sərf olunan işlə 1 m³ suyun buxarlanmasına sərf olunan işi müqayisə edirik.

Birincidə $p=4,9$ MPa-da suyun sıxılaraq membrandan keçməsinə sərf olunan iş 4,90 MCoul təşkil edir, ikincidə ($r =2260$ kCoul/kq) buxarlanmaya sərf olunan iş 2270 MPa təşkil edir. Müqayisədən görüldüyü kimi əks osmosla ayrılımda buxarlanmaya nisbətən az enerji sərf olunur.

Əks osmos və ultrafiltrasiya ilə ayırma adi filtrləmədən fərqlənir. Əks osmos və ultrafiltrasiyada iki məhlul əmələ gəlir: konsentrasiyası yüksək (qatı) və konsentrasiyası zəif (duru) məhlul əmələ gəlir, filtrləmədə isə çöküntü filtrləyici arakəsmədə qalır. Əks osmos və ultrafiltrasiya prosesində membranın səthində həll olunan maddənin yığılması yol verilməzdir, çünki, bu halda membranın selektivliyi (ayırma qabiliyyəti) və keçiriciliyi (xüsusi məhsuldarlığı) kəskin sürətdə aşağı düşür və istifadə müddəti azalır. Selektivlik və keçiricilik membranların ən əsas texnoloji xassələridir.

Yarımkeçirici membranda ayırma prosesinin selektivliyi $\varphi(\%)$ aşağıdakı tənliklə təyin edilir:

$$\varphi = (x_1 - x_2) / x_1 \cdot 100 = (1 - x_2 / x_1) 100, \quad (7.5)$$

burada x_1 və x_2 - həll olan maddənin uyğun olaraq ilkin məhlulda və filtratda konsentrasiyaları,

φ - duz saxlama qabiliyyəti də adlanır.

Verilən təzyiqdə keçiricilik (nüfuzetmə) ($l/m^3 \cdot \text{saat}$) aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$G = V / (F \tau), \quad (7.6)$$

burada V - filtratın həcmi, l ;

F - membran səthinin işçi sahəsi, m^2 ;

τ - prosesin davam etmə müddətidir, saat.

Membranlar yüksək ayırma qabiliyyətinə (selektivlik); yüksək xüsusi məhsuldarlığa (keçiricilik); istismar prosesində sabit xassələrə; ayırıcı mühitdə kimyəvi dayanıqlığa; mexaniki möhkəmliyə; aşağı qiymətə malik olmalıdırlar. Membranlar polimer pilyonkalardan, şüşədən, metal folqadan və s. hazırlanır. Ən geniş yayılan polimer pilyonkalardan hazırlanan membranlardır.

Yarımkeçirici membranlar məsaməli və məsaməsiz olur. Molekulyar diffuziya nəticəsində konsentrasiya qradientinin təsiri nəticəsində həlledici və həll olan maddələr məsaməsiz membrandan keçir. Buna görə belə membranlar diffuziyalı membranlar adlanırlar. Onlar kvazihomogen gəllərdən ibarətdir. Komponentlərin bu membrandan diffuziya etmə sürəti onun hissəciklərinin membran materialı ilə əlaqəli təsiri zamanı aktivləşmə enerjisindən asılı olur. Diffuziya etmə sürəti həmçinin membran matrisasının ayrı-ayrı bəndlərinin hərəkətiliyindən və diffuziya edən hissəciklərin ölçülərindən asılıdır. Membran nə qədər çox şişsə, sürət bir o qədər yüksək olur. Diffuziya etmə sürəti molekulların ölçülərindən və formasından asılı olan diffuziya əmsalı ilə düz mütənasibdir.

Diffuziyalı membranların kapilyarları olmadığından onlar tutulmur (dolmur) və keçiriciliyi sabit qalır. Diffuziyalı membranlar oxşar xassəli, müxtəlif ölçülü molekulları olan komponentlərin ayrılmasında, adətən, qaz və maye məhlulların membrandan buxarlanaraq ayrılmasında istifadə olunur.

Əks osmos və ultrafiltrasiya prosesində polimer materiallardan hazırlanan məsaməli membranlardan istifadə olunur. Polimer membranlar anizotrop və izotrop olur.

Anizotrop strukturlu membran mikroməsaməli “altlıqlı” nazik üst layından ibarətdir. Ayrılma praktiki olaraq aktiv üst layda baş verir. Təzyiqlərin düşməsi bu laya təvafüq edir.

İzotrop membranlar nazik polimer plyonkaların yüklü hissəciklərlə süalandırılmasından və sonradan onların kimyəvi reagentlə işlənməsindən alınır. İzotrop membranlar polikarbonat plyonkalar əsasında buraxılır. Sənayedə selyulozal, selyuloza efiri, akrilnitril, neylon, polivinilxlorlu, polikarbonat və polisulfon əsasında hazırlanan polimer plyonkalardan istifadə olunur.

Məhlul ayrımanın bir neçə mexanizmi mövcuddur. Y.İ.Datnerskinin təklif etdiyi kapilyar-filtrasiyalı yarımkeçiricilik mexanizmi modelinə görə üzvi və qeyri-üzvi maddələrin ayırma prosesinə mayenin üst səthi daha çox təsir edir.

Maye və membranın təmas zonasında səthi qüvvələr olan yapışma, səthi gərilmə və molekulyar qüvvəsi təsir edir. Buna görə membranın girişindəki mayenin sərhəd layının fiziki-mexaniki xassələri onun daxili həcmindəki uyğun xassələrindən kəskin fərqlənir. Sərhəd layının qalınlığı azaldıqca, bu fərqlər artır.

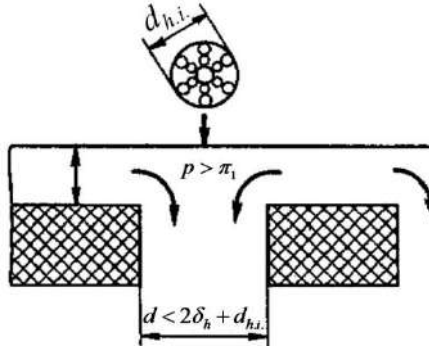
Membranların selektivliyinə və keçiriciliyinə ionların hidrotasiya qabiliyyəti təsir edir. Hidrotasiya ondan ibarətdir ki, həll olan maddənin ionları həlledici ilə əhatə olunub bə onunla əlaqəli təsirdə olan həlledicinin bir qismi ilə hərəkət edirlər. Həll olan maddənin bilavasitə yaxınlığında olan su molekulları hidrat örtüyü əmələ gətirir.

Liofil membranın səthində və kapilyarlarının daxilində əlaqələnən δ_h qalınlığında su layı yaranır. Onun fiziki-kimyəvi xassələri mayenin daxilindəki xassələrindən fərqlənir.

Membranın kapilyarlarında əlaqəli suyun olması bu suda həll olmayan qarışıqların molekullarının membrandan keçməsinin əsas səbəbidir. Əgər membranın kapilyarlarının diametri

$$d \leq 2\delta_h + d_{h.i.}$$

olarsa (burada $d_{h.i.}$ -hidrotasiya olan ionun diametri), belə kapilyardan yalnız su keçəcəkdir (şək.7.2). Lakin membranların kapilyarlarının diametri müxtəlif olur, əlaqəli su isə qeyri-üzvi duzları həll edir, bu səbəbdən membranın selektivliyi 100% -dən aşağı olacaqdır.



Şək.7.2. Yarımkəçirici membranla ayırma mexanizminin izahat sxemi

Kapilyar-filtrasiya modelinə görə əks osmos hadisəsini aşağıdakı kimi göstərmək olar: hidrofil yarımkəçirici membranın səthində və kapilyarların daxilində əlaqəli su layı əmələ gəlir. İstilik hərəkətində məhluldakı duz ionları membranın üzərində suyu saxlayaraq hidrat örtüyü əmələ gətirir və beləliklə onu məhlulun daxilinə aparır. Membranın məhlula tərəf olan səthində suyun konsentrasiyasının azalması, membrandan təmiz suyun keçməsi ilə kompensasiya olunur. Belə keçid suda molekulların ionlarla çəkilməsi zamanı yaranan qüvvələrlə, məhlul tərəfindən hidrostatiki təzyi qüvvələri ilə tarazlaşana qədər davam edəcəkdir.

7.2. Membranlı aparatların quruluşu

Əks osmos və ultrafiltrasiya aparatları periodik və fasiləsiz təsirli olurlar. Periodik təsirli aparatlar adətən laborator praktikasında istifadə olunur. Fasiləsiz təsirli axınlı aparatlar isə sənayedə istifadə olunur.

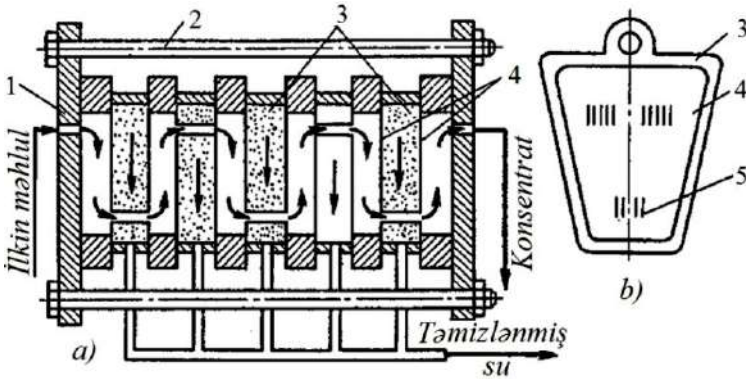
Membranlı aparatlar böyük xüsusi ayırma səthinə malik olub, sadə yığılan və quraşdırılan olmaqla işi etibarlıdır. Aparatlarda təzyiqlər fərqi az olur. Əks osmos aparatlarının çatışmazlığı yüksək işçi təzyiqin olmasıdır ki, bu da boru kəmərləri və arma-

turlarda yüksək təzyiqlə hesablanan xüsusi kipləşdiricilərin istifadəsini zəruri edir.

Membranların yerləşməsinə görə aparatlar səthli kameralı filtrləyici elementli “filtr-pres” aparatlarına, silindrik və rulonlu elementli aparatlara bölünür. Qeyd edilən aparatlar ayrı-ayrı seksiyalardan və ya modullardan ibarətdir ki, bu da müxtəlif sahəli ayırma səthi olan aparatları yığmağa imkan verir.

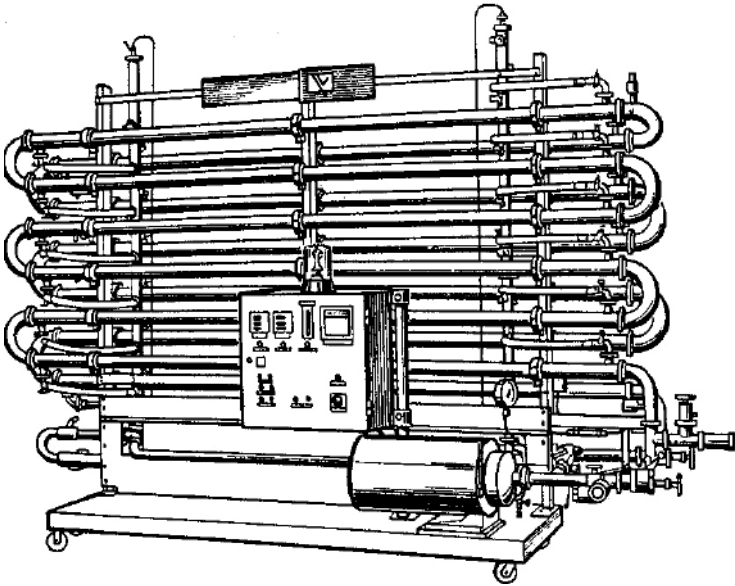
“Filtr-pres” tipli aparat konstruksiyasına görə adi filtrləyici aparata bənzəyir və ən sadə membranlı aparatdır. Bu konstruksiyanın əsasını filtrləyici element təşkil edir (şək.7.3). O altlığın hər iki tərəfindən yerləşdirilən məsaməli polimer materialdan hazırlanan iki membrandan ibarətdir. Mayenin keçməsi üçün altlıqda deşiklər olur. Onlar bir-birindən 0,5...5 mm məsafədə yerləşərək ayrılan məhsul üçün membranlararası məsafə yaradır. Filtrləyici elementlər paketi iki plitə arasında sıxılır və boltlarla bərkidilir. Filtrlənən məhlul ardıcıl olaraq bütün filtrləyici elementlərdən keçir və konsentrasiya olunur. Konsentrat və filtrat aparatdan fasiləsiz olaraq çıxarılır.

Bu tip aparatlar pendir zərdabından zülalların ayrılması üçün və həmçinin yağsızlaşdırılmış südün və şor zərdabının ultrafiltrasiyası üçün istifadə olunur. Zərdaba görə məhsuldarlıq 5,0...6,8 m³/saat, konsentrata görə 0,16...0,3 m³/saat təşkil edir.



Şək.7.3. Membranlı filtr-pres (a) və “altlıq”(b)
1-plitə; 2-bolt; 3-“altlıq”; 4-membran; 5-deşik

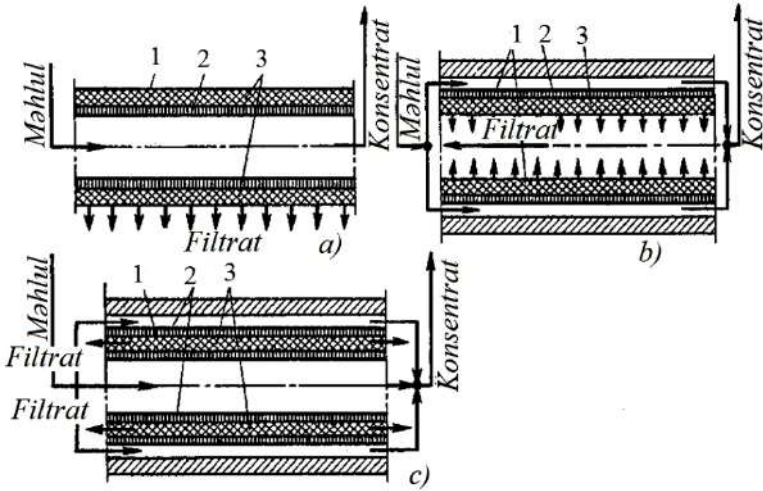
Silindrik filtrləyici elementli aparat ayrı-ayrı silindrik filtrləyici modullardan yığılır (şək.7.4).



Şək.7.4. Silindrik filtrləyici elementli membranlı aparat

Silindrik filtrləyici element (şək.7.5) yarımkəçirici membran dan və drenaj karkasından yığılan, dəyişdirilə bilən düyümdən, drenaj karkası isə borudan və membranın drenaj kanalına düşməsinin qarşısını alan altlıqdan ibarətdir. Silindrik filtrləyici elementlər membranın yerləşməsinə görə üç tipdə hazırlanır: drenaj karkasının daxilində, xaricində yerləşən və kombinə edilmiş halda yerləşən.

Silindrik filtrləyici elementli və membranı drenajın karkasının daxilində yerləşən (şək.7.5,a) aparat aşağıdakı üstünlüklərə: kiçik material tutumluluğa və hidravliki müqavimətə, filtrləyici elementlərin sökülmədən çöküntüdən mexaniki təmizlənməsinə və etibarlı konstruksiyaya malikdir. Konstruksiyanın çatışmazlıqları isə membranın filtrləyici səthinin xüsusi işçi sahəsinin az olması və elementlərin yığılmasına olan yüksək tələbatların mövcudluğudur.



Şək.7.5. Membranı müxtəlif vəziyyətlərdə yerləşən silindrik filtrləyici elementlər:

a - drenaj karkasının daxili səthində; *b*- drenaj karkasının xaricində; *c*-kombinə edilmiş halda yerləşən; 1- boru; 2- membran; 3- altlıq

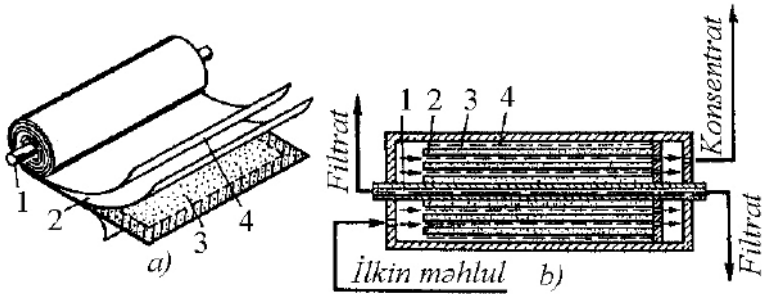
Membranı xarici səthdə yerləşən filtrləyicinin elementlərinin konstruksiyası (şək.7.5,*b*) böyük xüsusi işçi filtrləyici səthinə malikdir. Lakin onlar daha çox metal tutumludur. Onların filtrləyici elementlərinin mexaniki təmizlənməsi praktiki olaraq mümkün deyil.

Membranı kombinə edilmiş halda yerləşən silindrik filtrləyicinin elementləri (şək.7.5,*c*) yuxarıda qeyd edilənlərdən iki dəfə böyük xüsusi işçi filtrləyici sahəyə malikdir. Lakin belə konstruksiyalar filtrat ayırma kanallarının uzun olmasına görə daha böyük hidravliki müqavimətə malikdirlər.

Silindrik filtrləyici elementli ultrafiltrasiya qurğuları meyvə şirələrinin saflaşdırılmasında istifadə olunur. Şirənin tərkibində olan və onun rəngini bulandıran maddələrdən olan protein, nişasta, selyulozanın hissəcikləri, pektin və s. ayrılır. Saflaşmış şirənin bir tərkibdə olan bütün maddələrinin ilkinliyi saxlanır.

Rotorlu filtrləyici elementli aparatlar boru şəklində hazırlanır. Borunun içərisində ardıcıl olaraq bir neçə rulonlu filtrləyici elementlər yerləşdirilir (yığılan membranın sıxlığı 300...800 m²/m³) (şək.7.6,a). Hər bir element, çıxaran borunun üzərinə burlan iki membran paketi və altlıqdan ibarətdir. Membranlararası məsafəni yaratmaq üçün membranlar arasında torlu separator yerləşdirilir.

İlkin məhlul membran kanalları ilə uzununa istiqamətdə hərəkət edir (şək.7.6,b), filtrat isə spiral drenaj layı ilə boruya daxil olur və oradan çıxarılır.



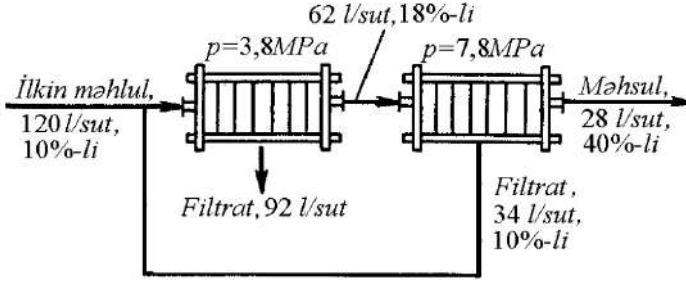
Şək.7.6. Rulonlu filtrləyici element (a) və bu elementlərə yüklənən aparat (b)

1-boru; 2-membran; 3-altlıq; 4-torlu separator

Bu aparatlarda membranların işçi sahəsinin artması membranların yığımının sıxlığını artırır və hazırlanma qiymətini aşağı salır. Paketin maksimal eni 900 mm-ə çatır. Paketin uzunluğu drenaj layının filtrat axınına hidravliki müqavimət göstərməsi ilə məhdudlaşır və adətən 2 m-dən artıq olmur.

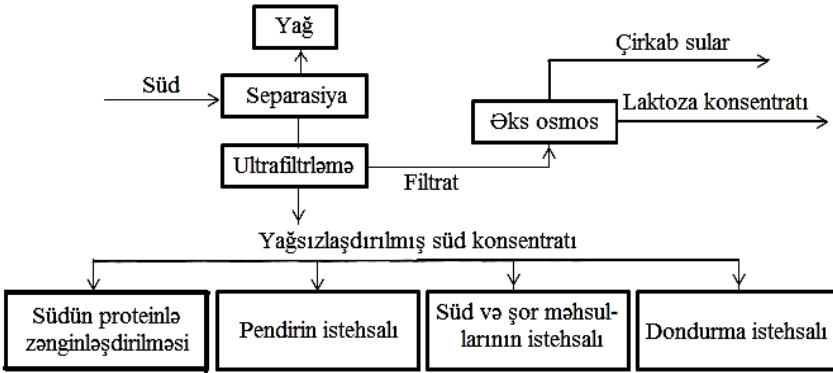
Qida sənayesində membran proseslərindən istifadənin effektivliyini nəzərdən keçirək.

Şəkil 7.7-də filtratın ikinci pillədən qaytarılması ilə işləyən portağal şirəsinin konsentrasiyası üçün ikipilləli qurğunun sxemi verilir. Əsas aparatlar membranlı filtr preslərdir. Prosesin material balansı sxemdə verilmişdir. Ultrafiltrasiya nəticəsində məhsulun konsentrasiyası dörd dəfə artır.



Şək.7.7. Konsentrasiya olunmuş portağal şirəsi üçün qurğunun ikipilləli sxemi

Südün emal sxemi şəkil 7.8.-də verilir. Əsas texnoloji pillələr yağın alınması ilə südün separasiyası, yağsızlaşdırılmış südün ultrafiltrasiyası və əks osmosudur.



Şək.7.8. Südün emalı sxemi

Yağsızlaşdırılmış süd konsentratından çeşidli süd məhsulları alınır. Südün emalı zamanı membranlı aparatlardan istifadə çirkab suların təmizlənmə problemini həll etməyə imkan verir.

7.3. Axınlı aparatların hesabı

Hesabat, verilmiş məhsuldarlıqda filtrləyici səthin sahəsinin təyin edilməsindən ibarətdir.

Həll olmuş komponentə görə prosesin material balansı

$$L_n x_n = L_i x_i = \Phi y_i \quad (7.7)$$

bütün maddə üzrə

$$L_i = \Phi + L_n \quad (7.8)$$

burada L_n, L_i - uyğun olaraq aparata daxil olan və aparatın istənilən en kəsik sahəsində mayenin kütlə sərfidir;
 X_n, X_i - uyğun olaraq daxil olan mayədə və aparatın istənilən en kəsiyində həll olmuş maddələrin kütlə payı;

Φ – filtratın kütlə sərfi;

y_i – baxılan kəsiyə qədər filtratda həll olan maddənin kütlə payıdır.

Filtratda həll olan maddələrin kütlə payı

$$x_k = \frac{d(\Phi y_i)}{d(\Phi)} \quad (7.9)$$

Aparatın baxılan kəsiyində membranın keçiricilik (nüfuzetmə) qabiliyyəti ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$)

$$G = \frac{d\Phi}{dF} \quad (7.10)$$

burada F – membran səthinin işçi sahəsidir, m^2 .

Bu kəmiyyətləri ayrılan məhlulun və onun konsentrasiyasının axın funksiyası kimi ifadə edək:

$$y_i = f_1(x_i, L_i) \quad (7.11)$$

$$G = f_2(x_i, L_i) \quad (7.12)$$

(7.7) və (7.8) ifadələrindən alınır:

$$d\Phi = -dL_i \quad (7.13)$$

$$d(\Phi, y_i) = -d(L_i, x_i) \quad (7.14)$$

(7.13) və (7.14) ifadələrini nəzərə alsaq, onda (7.9) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$d(L_i, x_i) / dL_i = f_i(x_i, L_i),$$

Buradan

$$dL_i / L_i = - \frac{dx_i}{f_1(x_i, L_i) - x_i}.$$

(7.12) və (7.13) ifadələrini nəzərə alsaq, onda (7.10) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$dF = - \frac{dL}{f_2(x_i, L_i)} \quad (7.15)$$

(7.13)-dən dL – in qiymətini yazsaq alarıq:

$$dF = \frac{dx_i}{x_i f_1(x_i, L_i)} \frac{L}{f_2(x_i, L_i)} \quad (7.16)$$

(7.7) tənliyindən alınır:

$$y_i = \frac{x_n (L_n - Lx_i / x_n)}{\Phi} \quad (17)$$

Yoxlama sualları

1. Əks osmos və ultrafiltrasiya proseslərinin mahiyyəti nədir? 2. Qida texnologiyalarında əks osmos və ultrafiltrasiya hansı məqsədlər üçün istifadə olunur? 3. Əks osmos prosesinin əsasını hansı proses təşkil edir? 4. Əks osmos və ultrafiltrasiya proseslərinin hərəkətedici qüvvəsi nədir? 5. Ultrafiltrasiya adi filtrləmədən nə ilə fərqlənir? 6. Əks osmos və ultrafiltrasiya proseslərində hansı membranlardan istifadə olunur? 7. Membranlar hansı xassələrə malikdirlər? 8. Əks osmos və ultrafiltrasiya üçün hansı konstruksiyalı aparatlardan istifadə olunur? 9. Aparatların hesabı nədən ibarətdir?

III HİSSƏ. İSTİLİK DƏYİŞMƏ PROSESLƏRİ



İstiliyin ötürülməsi həmişə azalan temperatur istiqamətində baş verir.

İstilikötürmənin üç növü mövcuddur:

- istilikkeçirmə (bərk cisimlərdə və sabit mayelərdə),
- konveksiya (hərəkət edən mayelərdə),
- şüalanma və ya radiasiya (elektromaqnit titrəyişlər yolu ilə).

İstilikkeçirmə anlayışı cisimləri təşkil edən atom, molekul və sərbəst elektronların hərəkəti ilə izah olunur.

Bərk-dielektrik cisimlərdə və nazik təbəqəli hərəkətsiz mayelərdə istilikkeçirmə atom və molekulların bilavasitə bir-birinə dəyməsi (toxunması), metallarda əsasən sərbəst elektronların, nazik təbəqəli hərəkətsiz qazlarda isə atom və molekulların diffuziyası nəticəsində əmələ gəlir.

Cisimləri təşkil edən hissəciklərin hərəkət enerjisi temperaturla xarakterizə olunduğundan baxılan cismin daxilində istiliyin istilikkeçirmə prosesi ilə yayılması, həmin cismin daxilində temperaturun paylanması asılıdır.

İstilikötürmə adətən mürəkkəb olur (konvektiv - istilikkeçirmə, konvektiv-radiasiyalı və s.). İstiliyi ötürmək üçün istilik daşıyıcı adlanan müxtəlif hərəkət edən işçi mühitlərdən istifadə olunur (damcılı mayələr, qazlar, səpələnən cisimlər). Birfazlı (bir komponentli və ya çox komponentli) mühitlərin xassələri fəzada arasıkəsilmədən (məsələn, bütöv mayələr və ya məhlullar), çoxfazlı mühitlərin (bir neçə birfazlı mühitdən ibarət olan) xassələri isə fazaların sərhəddində sıçrayışlı dəyişir (məsələn, buxar qabarcıqlı qaynayan mayələr, siropda şəkər kristalları və s.). İstiliyi verən yüksək temperaturlu mühit qızdıran istilik daşıyıcısı, aşağı temperaturlu mühit isə qızdırılan adlanır.

İstiliyin isti mayedən (qazdan) soyuq mayeyə (qaza) onların arasındakı divar vasitəsi ilə verilmə prosesinə istilikötürmə deyilir. Belə ki, qızdıran səth (bərk divar) ilə ayrılan hərəkət edən iki

mühit arasındakı mürəkkəb istilikdəyişmə istilikötürmə adlanır. Qızdırın səth və hərəkət edən mühit arasındakı konvektiv istilikdəyişmə istilikvermə adlanır.

Qida istehsalında istilikötürmə prosesləri əsas texnoloji proseslərlə birgə baş verir. Qida məhsullarına istiliyin təsiri bir çox texnoloji proseslərin əsas şərtidir. İstiliklə emal prosesində qida mühitləri (çörək xəmiri, marmelad, karamel, süd, şəkər məhsulları və s.) bir çox dəyişikliklərə məruz qalır ki, bu da istilikötürmə şərtlərinin uyğun dəyişikliklərini yaradır. Buna görə də qida mühitlərində bir çox proseslər qeyri-stasionar şəraitdə baş verir.

Qida məhsullarının istilik əmsalı məsələləri müxtəlifdir. Texnologiyanın məqsədindən asılı olaraq aşağıdakı istilik prosesləri baş verir:

a) bir və çoxfazlı mühitlərin qızdırılması və soyudulması (mayelərin, yüksək konsentrasiyalı məhlulların, binar qarışıqların, suspenziyaların, emulsiyaların);

b) kimyəvi yekcins maye buxarlarının və onların qarışıqlarının (su spirt buxarları) kondensasiyası (su, ammonyak, freon);

c) buxar hava qarışığında subxarının kondensasiyası (havanın qurudulmasında);

d) buxar qaz mühitində suyun buxarlanması (havanın nəmləndirilməsində, materialların qurudulmasında, çörəyin bişirilməsində);

e) mayelərin qaynaması (suyun, yüksək konsentrasiyalı məhlulların və müxtəlif cinsli mürəkkəb sistemlərin).

Müxtəlif istilik daşıyıcılar arasında istilikdəyişmə ən çox aşağıdakı istilik proseslərində baş verir:

a) "isti mayenin" soyudulması hesabına "soyuq mayenin" qızdırılması;

b) qızdırıcı buxarın kondensasiya istiliyi hesabına mayenin qızdırılması;

c) "qaynar" mayenin soyuması hesabına mayenin qaynaması;

d) qızdırıcı buxarın kondensasiyası hesabına mayenin qaynaması.

FƏSİL 8 İSTİLİKÖTÜRMƏNİN ƏSAS TƏNLİKLƏRİ

8.1. İstilik axını (seli)

Hər hansı bir səthdən vahid zamanda keçən istilik miqdarı istilik axını (seli) adlanır. Vahid izotermik səthə düşən istilik axını istilik axınının (selinin) səthi sıxlığı adlanır:

$$q = \frac{Q}{F}, \quad (8.1)$$

burada q - istilik selinin səthi sıxlığı, Vt/m^2 ;

Q - istilik seli, Vt ;

F - izotermik səthin sahəsi, m^2 .

Silindrik səth (borular) üçün istilik selinin xətti sıxlığı

$$q_\ell = \frac{Q}{l}, \quad \text{Vt/m},$$

burada l - borunun poqon metrdir.

Əgər izotermik səth istilikdəyişən aparatın səthi kimi qəbul edilərsə, onda

$$F = \frac{Q}{q}. \quad (8.2)$$

Deməli, istilikdəyişdiricinin ölçülərini təyin etmək üçün istilik selinin qiymətini Q və istilik selinin səthi sıxlığının qiymətini bilmək gərəkdir. İstilik seli

$$Q = M_1 \Delta i_1 = M_2 \Delta i_2, \quad (8.3)$$

burada M_1 və M_2 - qızdıran və qızdırılan istilik daşıyıcılarının kütlə sərfidir, kq/san ;

$\Delta i_1 = i_{1b} - i_{1s}$ - qızdırılan istilik daşıyıcısının xüsusi entalpiyasının azalması, Coul/kq ;

i_{1b} və i_{1s} - xüsusi entalpiyanın başlanğıc və sonuncu

qiymətləri, Coul/kq;

$\Delta i_2 = i_{2s} - i_{2b}$ - qızdırılan istilik daşıyıcısının xüsusi entalpiyasının artımı, Coul/kq;

i_{2s} və i_{2b} - xüsusi entalpiyanın son və başlanğıc qiymətləridir, Coul/kq.

Birfazlı mühitin soyudulmasında

$$\Delta i_1 = \bar{c}_1 (t_{1b} - t_{1s}), \quad (8.4)$$

burada \bar{c}_1 - t_{1b} - t_{1s} temperatur intervalında orta xüsusi istilik tutumu, Coul/(kq·K), üstdəki xətt isə orta işarəsidir;

t_{1b} , t_{1s} - istilikdaşıyıcısının başlanğıc və son temperaturlarıdır, °C.

Birfazlı dəyişmədə

$$\Delta i_1 = r_k; \quad \Delta i_2 = r_b, \quad (8.5)$$

burada r_k və r_b - kondensasiya və buxarlanmanın xüsusi istiliyidir, Coul/kq.

Qızdırıcı səthin sahəsi F (m^2) və həmin səthin istilik selinin sıxlıq (Vt/m^2) müəyyən olduqda istilik seli

$$Q = qF.$$

8.2. İstilik şüalanması

Cismin üzərinə düşən şüa enerjisinin bir hissəsi cisimlə udulur, bir hissəsi əks olunur, qalan hissəsi isə cisimdən keçir. Ümumilikdə

$$\frac{Q_A}{Q} + \frac{Q_R}{Q} + \frac{Q_D}{Q} = 1,$$

burada Q_A/Q - cismin şüaudma qabiliyyətini xarakterizə edir;

Q_R/Q - cismin şüaqaytarma qabiliyyətini xarakterizə edir;

Q_D/Q - cismin şüaburaxma qabiliyyətini xarakterizə edir.

Tənliyə daxil olan parametrlərdən asılı olaraq cisimlər mütləq qara (şüa enerjisi cisim tərəfindən tamamilə udulur, yəni $Q_A/Q=1$) mütləq şəffaf (cismə düşən şüa enerjisi ondan tamamilə keçib gədir) və mütləq ağ (cismə düşən şüa enerjisi tamamilə əks olunaraq qaytarılır, yəni $Q_R/Q=1$) olurlar.

Təbiətdə mütləq qara, şəffaf və ağ cisimlər mövcud deyil. Texnikada boz cisimlər anlayışından istifadə olunur.

İstilik şüalanmasının qanunları Stefan-Bolsman, Kirxhof və Lambert tərəfindən verilmişdir.

Stefan-Bolsman qanunu cismin şüaburaxma qabiliyyəti E , bir saat ərzində cismin şüaburaxma enerjisinin miqdarı Q və cismin səthinin sahəsi arasındakı asılılığı göstərir.

$$E = \frac{Q}{F}, \quad (8.6)$$

Şüaburaxma enerjisi dalğanın uzunluğundan λ və temperaturdan T asılıdır.

Mütləq qara cismin şüaburaxma qabiliyyəti və temperaturdan asılılığı aşağıdakı kimidir:

$$E_0 = K_0 T^4,$$

burada K_0 - mütləq qara cismin şüaburaxma sabitidir, $\text{Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

$$K_0 = (4,19 \dots 5,67) 10^{-8} \text{Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4).$$

Praktiki hesablar üçün

$$E_0 = C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (8.7)$$

burada C_0 - mütləq qara cismin şüaburaxma əmsalındır, $C_0 = 5,67 \text{ Vt}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Real cisimlər üçün Stefan-Bolsman qanunu aşağıdakı şəkildə olur:

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (8.8)$$

burada C - boz cismlərin şüaburaxma əmsəlidir, $Vt/(m^2 \cdot K^4)$.

C -nin qiyməti həmişə C_0 -in qiymətindən aşağı olur və 0-dan $5,67 Vt/(m^2 \cdot K^4)$ -ya kimi dəyişə bilər.

$C/C_0 = \varepsilon$, $0 \dots 1$ arasında dəyişir və nisbi şüaburaxma qabiliyyəti və ya cismin qaralıq dərəcəsi adlanır. Bunu nəzərə alaraq boz cisimlər üçün istilik şüaburaxma qabiliyyəti aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$E = \varepsilon C_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4. \quad (8.9)$$

Kirxhof qanunu cismin şüaburaxma və şüaudma qabiliyyəti arasındakı asılılığı təyin edir. İki paralel cismin arasında baş verən şüa enerjisi mübadiləsini nəzərdən keçirək. Bunlardan biri mütləq qara cisimdir (temperaturu T_0 , şüaburaxma qabiliyyəti E_0), ikincisi boz cisimdir (temperaturu T , şüaburaxma qabiliyyəti E). $T > T_0$ olduqda mütləq qara cismin aldığı istilik miqdarı

$$q = E + E_0 \left(1 - \frac{Q_A}{Q} \right) - E_0 = E - E_0 \frac{Q_A}{Q},$$

burada $E_0(1 - Q_A/Q)$ - boz cismin qaytardığı enerjinin miqdarıdır.

$T = T_0$ olduqda enerji miqdarı mübadiləsi sıfıra bərabərdir:

$$E - E_0 \frac{Q_A}{Q} = 0; \quad E = E_0 \frac{Q_A}{Q}; \quad E_0 = E \frac{Q}{Q_A}. \quad (8.10)$$

(8.10) tənliyi Kirxhof qanununun ifadəsidir. Cisimlərin şüaburaxma qabiliyyətinin şüaudma qabiliyyətinə nisbəti həmin temperaturda mütləq qara cismin şüaburaxma qabiliyyətinə bərabər olub yalnız temperaturdan asılıdır.

Lambert qanunu şüalanmanın intensivliyinin dəyişməsinə ifadə edir və aşağıdakı kimi yazılır:

$$dQ = \frac{1}{\pi} E d\psi \cos\varphi dF_1, \quad (8.11)$$

burada $d\psi - dF_1$ elementindən dF_2 elementinin görünməsinin cismi bucağıdır;

$\varphi - dF_1$ və dF_2 elementlərini birləşdirən xəttlə yaranan bucaqdır.

İki paralel cisimlər arasındakı şüa istilik dəyişməsi Stefan-Bolsman qanunu əsasında alınmış tənlikdən hesablanır:

$$Q_{1-2} = C_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F, \quad (8.12)$$

burada Q_{1-2} - 1 cismin 2 cisminə verdiyi istilik miqdarı;

C_{1-2} - 1 və 2 cisimlərindən ibarət olan sistemin gətirilmiş şüalanma əmsalı;

F - şüaburaxma səthidir, hər iki cisim üçün bərabər götürülür.

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}}. \quad (8.13)$$

Əgər bir cisim digərini tam əhatə edirsə, onda (8.12) tənliyindən istifadə olunur, $F=F_1$ olur (burada F_1 - əhatə olunmuş cismin səthinin sahəsidir). Gətirilmiş şüaburaxma qabiliyyəti isə

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \cdot \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right)}, \quad (8.14)$$

burada F_2 - əhatə edən cismin sahəsidir.

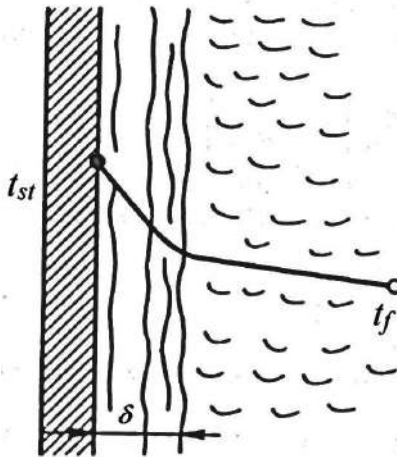
8.3. Konvektiv istilikdəyişmə (istilikvermə)

Cismin səthi ilə ətraf mühit arasında istilikdəyişmə prosesi istilikvermə adlanır.

Konvektiv istilikdəyişməsində istilik maye və ya qaz axınında bərk cismin səthindən və yaxud bərk cismə tərəf eyni vaxtda kon-

veksiya və istilikötürmə ilə ötürülür.

İstilik bərk cismin səthindən maye axınının sərhəd təbəqəsindən keçərək istilikkeçirmə hesabına yayılır. İstilikvermə intensivliyinə maye və ya qaz axınının hərəkəti təsir edir. Konvektiv istilikdəyişmənin sxemi şəkil 8.1-də verilmişdir. İstilikvermə sərbəst və məcburi konveksiyalı olur. Sərbəst və ya təbii konveksiya aparatda isti və soyuq maye (qaz) hissəciklərinin sıxlığının fərqindən yaranan hərəkətidir. Təbii konveksiyanın sürəti maye və qazın fiziki xassələri, isti və soyuq hissəciklərin temperatur və həcm fərqi ilə təyin olunur.



Şək.8.1. Konvektiv istilikdəyişmənin sxemi

Məcburi konveksiya nasos və ya ventilyatorun təsiri ilə baş verir və mühitin fiziki xassələri, hərəkət sürəti, forma və kanalın ölçüləri ilə təyin olunur. Məcburi istilikdəyişmə konveksiyası təbii konveksiyadan daha intensiv baş verir.

8.4. İstilikvermənin əsas qanunu – Nyuton qanunu

İstilikdəyişmə səthindən maye axınına və ya maye axınından istilikdəyişmə səthinə verilən istilik miqdarı dQ istilikdəyişmə sət-

hinin sahəsi F , səthin t_{st} və axının nüvəsinin t_f temperaturlar fərqi (və ya əksinə) və prosesin davamlılığı $d\tau$ ilə düz mütənasibdir:

$$\left. \begin{aligned} dQ &= \alpha(t_{st} - t_f) F d\tau \\ dQ &= \alpha(t_f - t_{st}) F d\tau \end{aligned} \right\} \quad (8.15)$$

burada α - istilikdəyişmə əmsəlidir.

İstilikvermə əmsalının ölçü vahidini (8.15) tənliyini həll edərək tapmaq olar:

$$\alpha = \left[\frac{dQ}{(t_{st} - t_f) F d\tau} \right] = \left[\frac{kCoul}{m^2 \cdot saat \cdot K} \right] = \left[\frac{Vt}{m^2 \cdot K} \right].$$

Əgər istilikvermə əmsalı $\alpha = const$ olarsa, onda (8.15) tənliyi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha(t_{st} - t_f) F \\ Q &= \alpha(t_f - t_{st}) F \end{aligned} \right\} \quad (8.16)$$

Konvektiv istilikdəyişmənin sürətini təyin edən istilikvermə əmsalının qiyməti bir çox faktorlardan, yəni mayenin (qazın) hərəkət rejimindən, mayenin (qazın) fiziki parametrlərindən, istilikdəyişmə səthinin forma və ölçülərindən və s. asılıdır.

İstilikvermə əmsalı konvektiv istilikdəyişmənin diferensial tənliklərinin oxşarlıq nəzəriyyəsi metodlarından alınan kriteriya tənlikləri ilə hesablanır.

Konvektiv istilikdəyişmənin diferensial tənliyi (Furye-Kirxhof tənliyi) substansional törəmənin (substansional törəmə - elementin bir nöqtədən digər nöqtəyə hərəkəti ilə bağlı eyni vaxtda zaman və fəzada temperatur elementlərinin dəyişməsini ifadə edir) bərabərliyindən alınır:

$$\frac{Dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + \frac{\partial t}{\partial x} V_x + \frac{\partial t}{\partial y} V_y + \frac{\partial t}{\partial z} V_z. \quad (8.17)$$

8.5. Bırfazalı mühitdə istilikvermə

Maddənin aqreqat halı dəyişmədikdə konvektiv istilikdəyişmə üçün əsas təyinedici kriteriyalar Reynolds, Qrasqof və Prandtl kriteriyalarıdır ki, buna görə Nusselt kriteriyası aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr). \quad (8.18)$$

Bu əsas kriteriyalar sistemində aşağıdakı faktorların təsiri nəzərə alınır:

- a) mühitin məcburi hərəkət rejimi (Re);
- b) əsas hərəkəti müşahidə edən sərbəst konveksiya (Gr);
- c) işçi cismin fiziki xassələri (Pr);
- d) sistemin təyinedici ölçüləri (Nu, Re, Gr kriteriyalarında);
- e) mühitin təyinedici temperaturu.

(8.18) tənliyində əlavə kimi l/d , s/d və s. həndəsi oxşarlıq kriteriyaları digər düsturlar ola bilər.

Yüksək turbulent rejimində sərbəst konveksiya praktiki olaraq özünü biruzə vermir. Buna görə Qrasqof kriteriyası təyinedici olur və (8.18) tənliyindən çıxarılır:

$$Nu = f(Re, Pr). \quad (8.19)$$

Sərbəst hərəkətli istilikdəyişmədə (8.18) tənliyindən Reynolds kriteriyası çıxarılır:

$$Nu = f(Gr, Pr). \quad (8.20)$$

Laminar axın rejimində istilikvermə əmsalı boru boyunca nisbətən dəyişir və sərbəst konveksiya təsirinə məruz qalır. Bu hal üçün oxşarlıq tənliyi aşağıdakı kriteriyalar sistemindən ibarətdir:

$$Nu = f(Re, Gr, Pr, l/d). \quad (8.21)$$

(8.21) tənliyi aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$Nu = f(Re \cdot d/l, Gr). \quad (8.22)$$

Aşağı temperatur basqılarında özlü rejim müşahidə olunur və Gr kriteriyası tənliyindən çıxarılır. Deməli, istilikdəyişmə əmsalının hesablanması üçün ümumi oxşarlıq tənliyi mövcud deyil, çünki ayrı-ayrı hallarda istilikötürməyə müxtəlif faktorlar təsir edir. Çox vaxt hesabatlarda hamar düz boru daxilində birfazlı mayenin turbulent hərəkətində istilikvermə halına rast gəlinir. Bu hal üçün M.A.Mixeyevin oxşarlıq tənliyinə nəzər yetirək:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} \varepsilon_q \varepsilon_l, \quad (8.23)$$

burada Nu - burada Nusselt kriteriyasının orta qiymətidir;

$$\varepsilon_q = \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} - \text{istilik axınının istiqamətini nəzərə alan}$$

düzəliş funksiyası;

Pr_c - işçi mühit üçün Prandtl kriteriyası;

Pr - maye axınının orta temperaturunda Prandtl kriteriyası;

$\varepsilon_l = f(Re, l/d)$ - cədvəldən qəbul olunan düzəliş funksiyasıdır, $l/d < 50$ olduqda (qısa borular üçün) daxil edilir;

l - borunun uzunluğu;

d - borunun daxili diametri olub təyinedici ölçüsüdür.

(8.23) tənliyinin sağ hissəsi düzəliş funksiyası olmayan tənliyin əsasıdır. Adətən ilkin hesabatlar tənliyin vasitəsilə yerinə yetirilir. Tənliyin əsasını təşkil edən əsas kriteriyalar sistemi

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad (8.24)$$

ölçülü hesabat düsturu şəklində verilir. (8.23) tənliyi $Re > 10000$; $Pr = 0,7 \dots 2500$ üçün istifadə olunur. Digər istilikvermə halları üçün kriteriya və ölçü hesabat düsturları anoloji seçilir və analiz edilir. Bunlardan başqa ən çox istifadə olunan birfazlı mühitdə konvektiv istilikdəyişmə düsturları aşağıdakı hallar üçün də nəzərdə tutulur:

a) boru daxilində laminar özlü-qravitasiya rejimində mayenin

məcburi axını ($Re < 2000$, M.A.Mixeyeva görə)

$$Nu = 0,15 Re^{0,33} Pr^{0,43} Gr^{0,1} \varepsilon_q \varepsilon_l; \quad (8.25)$$

b) boru daxilində keçid rejimində mayenin məcburi axını ($2000 < Re < 10000$, M.A.Mixeyevə görə)

$$Nu = f(Re) Pr^{0,43} \varepsilon_q, \quad (8.26)$$

burada $f(Re)$ - sorğu kitabından götürülür;

c) dairəvi boruların (xaricdən) məcburi suvarılması ($200 < Re < 200 \cdot 10^3$, V.P.İsaçenkoya görə)

$$Nu = c Re^n Pr^{0,33} \varepsilon_q \varepsilon_s \varepsilon_i, \quad (8.27)$$

burada ε_s və ε_i - borular dəstinin yerləşməsinə göstərən düzəliş funksiyasıdır;

$c=0,41$, $n=0,6$ - sərbəst yerləşməsi üçün;

$c=0,26$, $n=0,65$ - koridor (dəhliz) yerləşməsində;

d) müxtəlif formalı cisimlərin ətrafında sərbəst konveksiya (Reley kriteriyası $Ra = Gr \cdot Pr$):

plyonkalı hərəkət rejimində ($Ra < 0,001$)

$$Nu = 0,5; \quad (8.28)$$

laminar rejimində ($0,001 < Ra < 500$)

$$Nu = 1,18 Ra^{\frac{1}{8}}; \quad (8.29)$$

keçid rejimində ($500 < Ra < 2 \cdot 10^7$)

$$Nu = 0,54 Ra^{\frac{1}{4}}; \quad (8.30)$$

turbulent rejimində ($2 \cdot 10^7 < Ra < 10^{13}$)

$$Nu = 0,135 Ra^{1,3}. \quad (8.31)$$

Gətirilmiş düsturları seçmək üçün əvvəlcə məcburi və ya sər-

bəst hərəkət rejimini (Re və ya Ra kriteriyaları) təyin etmək lazımdır.

8.6. Faza dəyişməsində istilikvermə

Qida istehsalında buxarın kondensasiyası prosesində ayrılan istiliyin hesabına müxtəlif mühitlərin qızdırılması, bərk maddələrin qarışıqlarının qatılmaşması və yaxud çox komponentli qarışıqların ayrılması üçün istilikdəyişmədən istifadə edilir. Buxarın kondensasiyası və mayenin qaynaması proseslərində sistemin təyinedici ölçüləri müxtəlif olar. Buxarın kondensasiyasında təyinedici ölçü qızdırılan səthin xətti ölçüsüdür l ki, kondensatın axması boyunca ölçülür (məsələn, şaquli səthin hündürlüyü H və ya üfüqi borucuğun daxili diametri d_H).

Kondensasiya zamanı qızdırılan səthin üzərində damcılar və ya bütöv kondensat plyonkası əmələ gəlir. Həndəsi və rejim şərtlərindən asılı olaraq yaranan kondensat plyonkası müxtəlif hidrodinamiki rejimlərdə, yəni laminar, keçid, turbulent, qarışıq rejimlərdə axır. Plyonka istilik axını üçün əsas texniki müqavimət təşkil edir. Buna görə istilikvermə intensivliyi kondensat plyonkasının axma rejimindən və qalınlığından asılı olur. Buxarın kondensasiyası zamanı plyonkanın laminar axma rejimində əsas istilikvermə qanunları Nusselt tərəfindən təyin edilmişdir. Onlar aşağıdakı oxşarlıq tənliyi ilə ifadə olunur:

$$Nu = c(\text{Pr} \cdot \text{Ga} \cdot \text{Ku})^{0,25}, \quad (8.32)$$

burada $c=0,943$ - şaquli səthlər üçün ($l=H$); $c=0,728$ - üfüqi boruların xarici səthi ilə kondensasiyada ($l=d_H$);
 $Ku=r/(c\Delta t_l)$ - Kutateladzenin faza dəyişiklikləri kriteriyası;

r - faza keçidinin istiliyi;

c - mayenin istilik tutumudur, kCoul/kq .

(8.32) tənliyinə oxşarlıq kriterisini təşkil edən fiziki kəmiyyətlər yazılırsa, onda istilik dəyişmənin aşağıdakı ölçü tənlikləri alınar:

a) şaquli səthlər üçün

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{\sqrt[4]{H\Delta t_1}}; \quad (8.33)$$

b) üfüqi borular üçün

$$\alpha_1 = \frac{A_2}{\sqrt[4]{d_H\Delta t_1}}, \quad (8.34)$$

burada A_1 və A_2 - kondensatın temperaturundan t_k asılı olan fiziki parametrlərin funksiyalarıdır.

Əgər (8.34) tənliyinə $\Delta t_1 = q/\alpha_1$ qiyməti yazılıb ikinci dəfə α_1 -ə görə həll olunarsa, onda əsas hesablar düsturu alınır:

$$\alpha_1 = \frac{A'_1}{\sqrt[3]{Hq}}, \quad (8.35)$$

burada $A'_1 = f(t_k)$ - kondensat və onun temperaturunun fiziki parametrlərinin başqa funksiyasıdır.

α_1 -i hesablamaq üçün Δt_1 və q məlum olmalıdır.

Qaynama zamanı sərbəst buxar əmələgəlmə üçün sirkulyasiyasız həcmdə və ya qaynayan mayenin qızdırılan səthlə məcburi hərəkətində istilikvermə öyrənilir.

İstilikvermə intensivliyi hər iki hal üçün fərqlənir, çünki məcburi hərəkət zamanı qaynayan səthdən buxar qabarcıqları vaxtından əvvəl qopur. Qızdırılan bütün səth buxar yaranmaya işləyirsə, burada buxar borularda maye səthinin optimal səviyyəsində olur.

İstilik axınının sıxlığının "kritik" qiymətindən q_{kr} böyük olan qiymətlərində buxarın ayrı-ayrı qabarcıqları birləşərək buxar plynkası yaradır ki, o da qaynayan mayeni divardan izolyasiya edir (ayırır). Qabarcıqlı qaynama istilikdəyişmə intensivliyi aşağı olan plynkalı qaynamaya keçir. Qida sənayesi aparatlarında qaynama adətən mayenin optimal səviyyəsində olur və kritik sahəsindən əvvəl baş verir. Hesabat düsturları bu qaynama rejimlərinə aiddir.

Mayələrin qaynamasında istilikvermə əmsallarının hesablanması üçün əsasən ölçü-hesabat tipli tənliklərdən istifadə olunur:

$$\alpha_2 = B_1 q^{0,6}; \quad (8.36)$$

$$\alpha_2 = B_2 (\Delta t_2)^{\frac{3}{2}}. \quad (8.37)$$

A_1, A_2, A'_1, B_1 və B_2 - fiziki parametrlər funksiyasının qiymətləri istilikötürmə üzrə sorğu kitablarında verilir.

8.7. İstilikötürmə əmsalı və ümumi termiki müqavimət

İstilikötürmə əmsalı istilikdəyişmənin ümumi effektini göstərir, istiliyin ardıcıl olaraq qaynar mühitdən divara və divardan soyuq mühitə ötürülməsini xarakterizə edən kəmiyyətlərlə ifadə olunur. İstilikötürmə əmsalı aşağıdakı üsulla tapılır.

Düz səthli divarda stasionar istilikötürməni nəzərdən keçirək (şəkl.8.2). Birinci istilikdəyişmə sahəsində qızdırıcı istilik daşıyanla divarın səthi arasındakı səthi sıxlıq Nyutonun istilikvermə qanununa əsasən təyin edilir:

$$q = \alpha_1 \Delta t_1. \quad (8.38)$$

burada α_1 - istilikvermə əmsalıdır.

İkinci istilikdəyişmə sahəsində Furyenin istilikkeçirmə qanununa uyğun olaraq istilik axınının səthi sıxlığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$q = -\lambda \nabla t = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t_c, \quad (8.39)$$

burada λ - mühitin istilikkeçirmə əmsalıdır, $\text{Wt}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

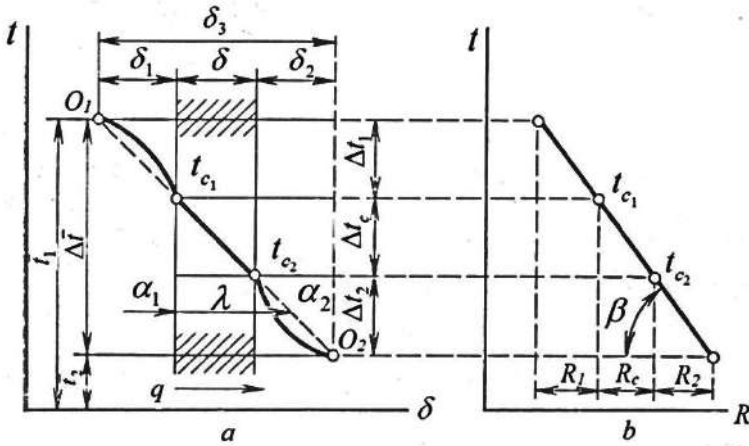
∇t - temperatur qradientidir, K/m ;

$\Delta t_c = t_{c1} - t_{c2}$ - divarda temperatur basqısıdır;

δ - səthi divarın qalınlığıdır, m .

Stasionar prosesdə istilik axınının sıxlığının sabit olmasına görə temperatur qradienti son kəmiyyətlərlə ifadə olunur. Üçüncü sahədə divarın səthi və qızdırılan istilikdaşıyan arasında istilik axınının səthi sıxlığı Nyutonun istilikvermə qanununa görə təyin edilir.

$$q = \alpha_2 \Delta t_2. \quad (8.40)$$



Şək.8.2. Temperatur basqısının paylanması:

a - sahələrlə və sistemin layları ilə; *b* - termiki müqavimətlərlə

Stasionar istilikdəyişmə prosesi üçün alınır:

$$q = \alpha_1 \Delta t_1 = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t_c = \alpha_2 \Delta t_2 = k \Delta t. \quad (8.41)$$

İlk üç bərabərlik temperatur fərqləri üçün həll edilir:

$$\Delta t_1 = q \frac{1}{\alpha_1}; \quad \Delta t_c = q \frac{\delta}{\lambda}; \quad \Delta t_2 = q \frac{1}{\alpha_2}.$$

Bu tənlikləri toplasaq

$$\Delta t_1 + \Delta t_c + \Delta t_2 = q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right).$$

Tənliyin sol hissəsində alırıq:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_c + \Delta t_2.$$

(8.41) - dən $\Delta t = \frac{q}{k}$, buna görə

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (8.42)$$

Demək

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}. \quad (8.43)$$

(8.42) tənliyini əks kəmiyyətlər kimi göstərmək məqsəduyğundur. Bu kəmiyyətlər termiki müqavimətlər adlanır və ədədi qiymətli daxili və xarici termiki müqavimətlərə bərabərdir:

$$R = R_1 + R_c + R_2, \quad (8.44)$$

burada $R = \frac{1}{k}$ - ümumi termiki müqavimət, $(m^2 \cdot K)/Vt$;

$R_1 = \frac{1}{\alpha_1}$; $R_2 = \frac{1}{\alpha_2}$ - xarici xüsusi termiki müqavimətlər, $(m^2 \cdot K)/Vt$;

$R_c = \frac{\delta}{\lambda}$ - daxili xüsusi termiki müqavimət, $(m^2 \cdot K)/Vt$.

Əgər səthi divar laylardan ibarətdirsə, onda onların termiki müqavimətləri toplanır:

$$R_c = \sum_{i=1}^n R_{ci}. \quad (8.45)$$

Buna görə çoxlaylı divar üçün aşağıdakı düsturlar mövcuddur:

a) istilikötürmə əmsalı

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1}; \quad (8.46)$$

b) ümumi termiki müqavimət üçün

$$R = R_1 + \sum_{i=1}^n R_{ci} + R_2. \quad (8.47)$$

Aydındır ki, ümumi termiki müqaviməti hesablamaq üçün daxili və xarici xüsusi termiki müqavimətləri bilmək lazımdır.

8.8. İstilikötürmə əmsallarının hesabı

İstilikötürmə əmsalı xüsusi termiki müqavimət məlum olduqda hesablanı bilər. Adətən istilikötürmə əmsalı iki dəfə tapılır: təmiz istilikdəyişmə səthi üçün (istismarın əvvəlində) və çirkli istilikdəyişmə səthi üçün (yaranan ərpə nəzərə alaraq).

Buna görə ümumi termiki müqavimətdən R təmiz səth R_0 və çirkli səth R_H üçün termiki müqavimət ayrılır:

$$R = R_1 + R_c + R_2 + R_H = R_0 + R_H, \quad (8.48)$$

burada $R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$ - termiki müqavimətin sabit hissəsi;

$R_H = f(\tau)$ - termiki müqavimətin dəyişən hissəsi olub, τ zamanında istilikdəyişmə səthi çirkəndikcə artır.

Çirkənmənin termiki müqaviməti bir neçə üsulla nəzərə alınır:

a) ərpənin qalınlığının və istilikvermənin λ_H məlum qiymətlərinə də $R_H = \frac{\delta_H}{\lambda_H}$ hesabat yolu ilə;

b) istismar müddətində orta təcürbi qiymətlərin R_H daxil edilməsi yolu ilə;

c) qızdırıcı səthin orta təcürbi istifadə əmsalının $\varphi < 1$ köməyi ilə.

Qızdırıcı səthin istifadə əmsalı çirkli qızdırma səthində istilik-

ötürmə əmsalının k təmiz qızdırma səthinin istilikötürmə əmsalına k_0 nisbətidir.

$$\varphi = \frac{k}{k_0} = \frac{R_0}{R} = \frac{R_1 + R_c + R_2}{R_1 + R_c + R_2 + R_H}. \quad (8.49)$$

φ əmsalı məlum olduqda çirklənmənin termiki müqaviməti

$$R_H = (1 - \varphi)\varphi R_0. \quad (8.50)$$

Xüsusi termiki müqavimətlər oxşarlıq tənlikləri ilə istilikvermə əmsallarının hesabından sonra təyin edilir.

Beləliklə, istilikötürmə əmsalının hesabı ardıcıl yaxınlaşma metodu ilə həll olunur. İstilikdəyişmənin yüklənmə xarakteristikası istilikdəyişmənin istilik yükünün dəyişməsi zamanı istilikötürmə şərtlərinin dəyişməsini nəzərə alan funksiyadır.

$$\Delta t = f(q).$$

Bu funksiyanın əyrisində Δt -nin verilən qiymətinə və xüsusi termiki müqavimətlərin axtarılan qiymətlərinə uyğun olan istilik axınının səthi sıxlığının qiyməti tapılır. Yüklənmə xarakteristikalarına o zaman müraciət edilir ki, termiki müqavimətlərin heç olmasa biri istilik axınının səthi sıxlığından asılı olsun. Buxar qızdırıcı şaquli buxarlandırıcının yüklənmə xarakteristikasını nəzərdən keçirək. Ərpin olmaması halı üçün

$$\Delta t = qR_0 = q(R_1 + R_c + R_2); \quad (8.51)$$

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_1}; \quad \alpha_1 = \frac{A'_1}{\sqrt[3]{Hq}}; \quad R_c = \frac{\delta}{\lambda}; \quad R_2 = \frac{1}{\alpha_2}; \quad \alpha_2 = B_1 q^{0,6}.$$

Deməli, təmiz qızdırma səthi üçün yüklənmə xarakteristikası aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\Delta t = q \left(\sqrt[3]{\frac{Hq}{A'_1}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{B_1 q^{0,6}} \right), \quad (8.52)$$

burada H - buxarlandırıcının borucuğunun hündürlüyü, m;
 δ - borucuğun divarının qalınlığı, m;
 λ - borucuğun materialının istilikkeçirməsi, $\text{Vt}/(\text{m}\cdot\text{K})$;
 $A'_1 = f(t_k)$ - kondensatın fiziki parametrlərinin funksiyasıdır, orta temperatura görə təyin olunur:

$$t_k \approx t_{s1} - (2 \div 5)^\circ\text{C},$$

burada t_{s1} - qızdırıcı buxarın doyma temperaturu, təzyiqə görə qəbul olunur;

$B_1 = f(t_p)$ - qaynayan qarışıqın fiziki parametrlərinin funksiyası olub qarışıqın qaynama temperaturunda təyin edilir, burada $t_p = t_{s2} + \Delta$;

t_{s2} - ikinci dərəcəli buxarın temperaturu;

Δ - temperatur depressiyasıdır.

Eyni vaxt α_1 və α_2 qiymətlərinə uyğun dəyişən kəmiyyət istilik axınının sıxlığıdır q . Xarakteristikanı qurmaq üçün q -nün bir sıra qiymətini təyin edərək Δt -nin uyğun qiymətini almaq lazımdır.

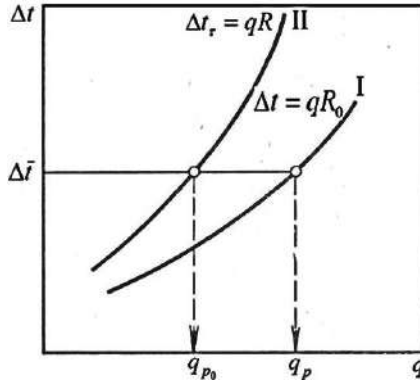
q və Δt -nin cüt qiymətləri ilə əyri qurulur (şək.8.3) və verilən temperatur basqısında $\Delta \bar{t} = t_{s1} - t_p$ q_p -nin hesabata qiyməti təyin edilir. Sonra istilikötürmə əmsalı elementar düsturla hesablanır:

$$k = \frac{q_p}{\Delta \bar{t}}. \quad (8.53)$$

Ərp olduqda da buxarlandırıcının yüklənmə xarakteristikası analogi hesablanır və qurulur.

φ qiyməti məlum olduqda R_H (8.52) düsturu ilə hesablanır, xarakteristika isə aşağıdakı tənliklə qurulur:

$$\Delta t_\tau = q \left[\frac{\sqrt[3]{Hq}}{A'_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1-\varphi}{\varphi} \left(\frac{\sqrt[3]{Hq}}{A'_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{B_1 q^{0,6}} \right) + \frac{1}{B_1 q^{0,6}} \right]. \quad (8.54)$$



Şək.8.3. İstilik dəyişənin (I) təmiz və (II) çirkli qızdırma səthinin yüklənmə xarakteristikaları

Şəkil 8.3-dən görünür ki, $\Delta \bar{t}$ temperatur basqısında çirkli qızdırma səthinin istilik axınının sıxlığı $q_{p\tau}$ təmiz qızdırma səthindən q_p aşağıdır.

8.9. İstilikdəyişənlər

Texnoloji və energetik təyinatından asılı olmayaraq işçi mühitlər arasında istilik dəyişməsi baş verən aparatlar istilikdəyişən adlanır.

İstilikdəyişənlərin təsnifatı müxtəlifdir. İstilikdəyişənlər istiliyin verilməsinə görə qarışdırıcı (işçi cisimlər bilavasitə təmasda olur və ya qarışır) və səthi rekuperatorlar (istilik mühitləri ayıran qızdırıcı səthdən ötürülür) tipli olurlar.

Əsas təyinatına görə istilikdəyişənlər qızdırıcılara, buxarlandırıcılara, soyuduculara və kondensatorlara ayrılır.

İşçi mühitin növünə görə istilikdəyişənlərin təsnifatı aşağıdakı kimi olur:

- a) maye-maye – iki maye mühit arasında istilikdəyişmədə;
- b) buxar-maye-buxar və maye arasında istilikdəyişmədə (buxar qızdırıcıları, kondensatorlar);
- c) qaz-maye-qaz və maye arasında istilikdəyişmədə (hava soyuducuları).

İstilik rejiminə görə istilikdəyişənlər periodik və fasiləsiz təsiri olurlar. Periodik təsiri istilikdəyişənlərdə məhsulun müəyyən hissəsi istiliklə emal olunur. Fasiləsiz istilikdəyişənlərdə məhsulun parametrləri aparatın axın hissəsi boyu dəyişir. Fasiləsiz proses istilik rejiminin sabitliyi və işçi mühitin sabit sərfi ilə xarakterizə olunur.

İstilikdəyişən agent kimi doymuş və ya yüngül çoxdoymuş (ifrat doymuş) buxardan geniş istifadə olunur. Qarışdırıcılı aparatlarda buxar mayeyə püskürdülərək mayenin daxilinə nüfuz edir, bu halda buxar kondensatı məhsul ilə qarışır. Səthi aparatlarda buxar qızdırılan səthin üzərində kondensasiya edir və kondensat məhsuldan ayrı suaxıdanlar vasitəsilə çıxarılır. İstilikdaşıyan kimi su buxarının borularla asan nəql etdirilməsi və temperaturunun asan nizamlanması, yüksək istilikvermə intensivliyi və s. kimi üstünlükləri var. Məhsulun buxarından su qızdırıcı kimi başqa buxarlandırıcılara və qızdırıcılara verildikdə buxardan istifadə əlverişli olur.

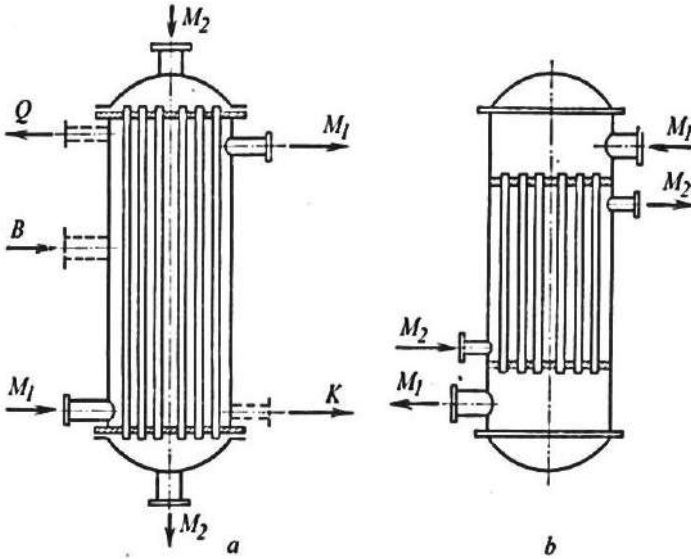
İsti su və mayelərlə qızdırma kondensat və mayelərin ikinci dəfə istifadəsində əlverişli olur. Buxarla müqayisədə maye ilə qızdırma az intensivlidir və istilikdəyişmənin temperaturu azalır. Buxar və su ilə qızdırmanın ümumi çatışmamazlığı temperaturun artması ilə təzyiqin tez yüksəlməsidir. Belə ki, buxar və su ilə qızdırmada yüksək temperatur $150...160^{\circ}\text{C}$ -də məhdudlaşır ki, bu da $(5...7)10^5$ Pa təzyiqə uyğundur. Ayrı-ayrı hallarda (konserv istehsalında) yağla qızdırmadan istifadə olunur və atmosfer təzyiqində 200°C temperaturu əldə etmək olur.

Qızdırıcı qurğularda qaynar qaz və hava ilə qızdırmadan ($300...1000^{\circ}\text{C}$ -yə qədər) geniş istifadə olunur. Qazla qızdırmanın aşağıdakı çatışmamazlıqları vardır: istilikdəyişənin çətin nizamlanması və nəql etdirilməsi; istilikdəyişmənin kiçik intensivliyi; aparatın səthinin çirklənməsi (dəm qazından istifadə edəndə) və s.

Soyutma texnikasında bir sıra soyuducu agentdən hava, su, şoraba, ammoniyak, karbon, freon və s. istifadə olunur. Maye mühitlərin qızdırılması və soyudulması üçün müxtəlif konstruksiyalı istilikdəyişənlər işlənmişdir.

8.9.1. Köynəkli borulu istilikdəyişənlər. Çoxborulu istilikdəyişən silindrik kameraya (köynəyə) yerləşdirilən borular dəstəsindən ibarətdir. Borular kameranın iki tərəfində yerləşən rezin qəfəslərə bərkidilir (şək.8.4). Boru qəfəslərinə borularla axan işçi mayeni M_2 çıxartmaq üçün qısa borulu paylayıcı qutular birləşdirilir. Kamera, həmçinin ikinci işçi maddəni M_1 vermək və çıxarmaq üçün qısa borularla təchiz olunur. Bütöv xəttlərlə göstərilən qısa borular (M_1) mayelərarası istilikdəyişmədə istifadə olunur. Buxarla qızdırmada punktirlə göstərilən qısa borulardan istifadə olunur (buxar üçün B , kondensat üçün K və qazlar üçün Q).

Borular latun, mis və ya poladdan olur. Diametri 10 mm-dən başlayır, özlü və çirkli mayelər üçün boruların diametri böyük olur.



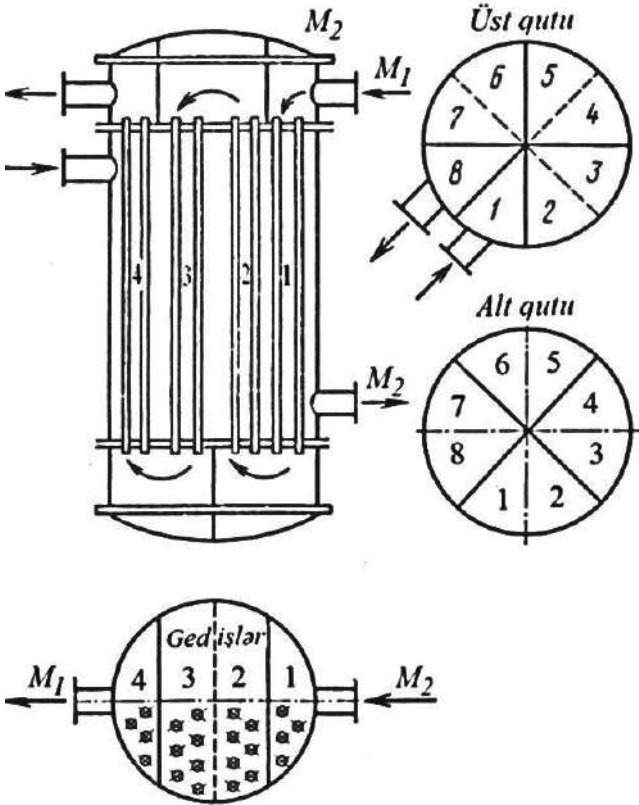
Şək.8.4. Birgediqli köynəkli borulu istilikdəyişən

İstilikdəyişmə səthinin çox olması və daha böyük istilikvermə əmsalı əldə etmək üçün kiçik diametrlı borucuqların istifadəsi daha səmərəlidir. Kameraya buxar daxil olduqda nazik borucuqların sınıması baş verə bilər. Bunun qarşısını almaq üçün buxar qısa bo-

rucuğunun qarşısında borucuqları qoruyan həlqə yerləşdirilir. Buxarın keçməsi üçün onda deşiklər açılır.

Birgedişli istilikdəyişənlərin çatışmamazlıqları borucuqların buraxıcı qabiliyyətilə istilikdəyişmə səthinin sahəsi arasındakı uyğunsuzluğudur.

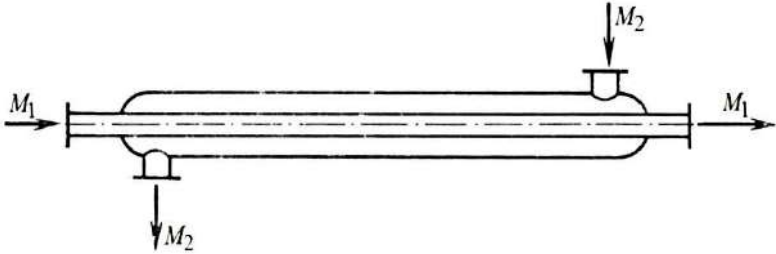
Borulu istilikdəyişənləri yaxşılaşdırmaq üçün onlarda arakəsmələr quraşdırılır (şək.8.5). Belə istilikdəyişən çoxgedişli adlanır və işçi maye borular arasından bir neçə gedişə keçir. Bu halda mayenin sürəti azalır və istilikvermə əmsalı artır. Gedişlərin sayı az olduqda (iki-üç) arakəsmələr vətərlər üzrə, çox olduqda radial və ya konsentrik yerləşir.



Şək.8.5. Borularda bir neçə gedişi olan çoxgedişli köynəkli borulu istilikdəyişən

Borulu istilikdəyişənlər iki tipdə şaquli və üfüqi olur. Şaquli istilikdəyişənlər az sahə tutur. İstilikdəyişənləri quraşdırdıqda işçi cisimlərin hərəkət istiqaməti nəzərə alınmalıdır. Qaynar (soyudulan) maye aşağı axmalı (yuxarıdan verilməli), soyuq maye isə yuxarı verilməlidir, onda məcburi hərəkət təbii hərəkətlə üst-üstə düşür. Birgədişli istilikdəyişəni şaquli, çoxgədişli istilikdəyişəni isə üfüqi quraşdırmaq daha yaxşıdır.

8.9.2. Elementli istilikdəyişənlər. İşçi mayenin az sərfi gedişində boruların sayı birə kimi azala bilər. Bu halda hər bir gedişi bir və ya bir neçə borulu sərbəst element kimi ayırmaq məqsəduyğundur. Bir borulu istilikdəyişənlər "boru-boruda" tipli ayrı-ayrı elementlərdən ibarətdir (şək.8.6).

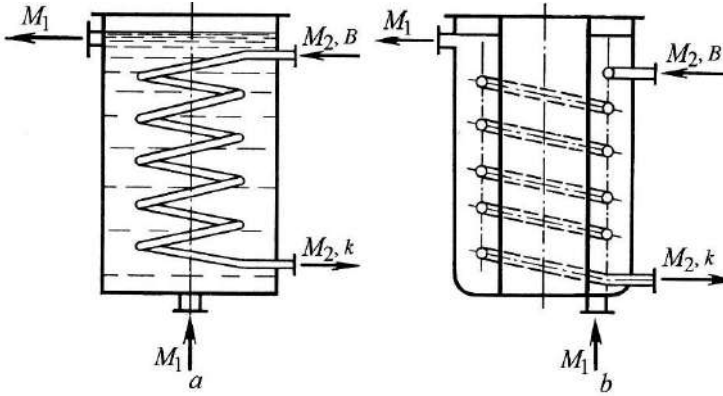


Şək.8.6. "Boru-boruda" istilikdəyişəni

Elementlər batareyada ardıcıl, paralel və ya kombinə edilmiş şəkildə birləşir. İşçi cisimlərin sürəti və istilikdəyişmə əmsalı k boruların daxili və xarici diametrindən asılıdır. Belə istilikdəyişənlərin üstünlüyü əks axının əldə edilməsidir ki, bu da istilikdaşıyanın tam istifadəsini təmin edir. Böyük qabaritinə və metal tutumuna baxmayaraq sürətli istilikdəyişənlər geniş yayılmışdır, əsasən yüksək təzyiqlərdə və bahalı istilikdaşıyanda (soyutma texnikasında) istifadə olunur.

8.9.3. Daldırılan borulu istilikdəyişənlər. Belə istilikdəyişənlər adətən mayeli çənin içərisinə daldırılmış ilanvari boru şəklindədir (şək.8.7). Qaynar işçi cisim (maye) adətən ilanvari boruya yuxarıdan aşağı verilir. İlanvari borularda istilikötürmə əmsalı bö-

yük deyil, çünki ilanvari borunun xaricində maye aşağı sürətdə hərəkət edir və ya heç hərəkət etmir (periodik qızdırmada). Boruların daxilində işçi cismin hərəkəti böyük olmur.

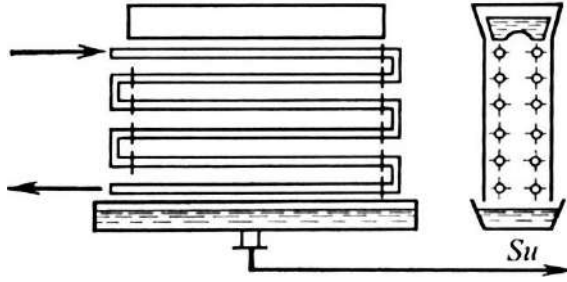


Şək.8.7. Daldırılmış ilanvari borulu istilikdəyişənlər

İstilikdəyişmə prosesini intensivləşdirmək üçün ilanvari borunu iki çən arasında həlqəvi yerləşdirirlər və ya qarışdırıcıdan istifadə edirlər (şək.8.7,b). Buxarla qızdırmada maye ilanvari borudan, buxar isə xaricdən verilir. Onda mayenin və k -nın daha yüksək sürətini təmin etmək olar.

8.9.4. Suvarıcı istilikdəyişənlər. Belə istilikdəyişənlər şaquli və üfüqi yerləşən dördkünc buruqlu borulardan ibarətdir (şək.8.8). Xaricdən borular maye ilə yuyulur. Maye nizamlanan yarıqdan borunun üst buruğuna, oradan da alt buruqlara axır. Boruları əhatə edən maye, axan mayenin temperaturundan asılı olaraq qızır və ya soyuyur.

Boruların xarici səthində istilikvermə əmsalı üst buruğa verilən mayenin miqdarından asılıdır. Bu miqdar geniş hüdudda nizamlanır, ancaq suyun miqdarı az olduqda boruların tam səthi suvarılmır. Axan suyun miqdarı çox olduqda borulardan qanova tökülür və istilikdəyişmədə iştirak etmir. Belə istilikdəyişənlər böyük olduğundan binadan kənarında yerləşdirilir.



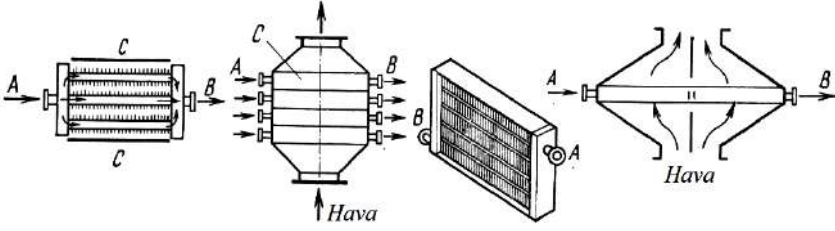
Şək.8.8. Suvarıcı istilikdəyişən

Soyutma texnikasında soyuducu agentin yüksək təzyiqində işləyən kondensator kimi pivənin, südün və başqa mayelərin soyulmasında istifadə olunur.

8.9.5. Səthi istilikdəyişənlər. Bu istilikdəyişənlərə qabırğalı, lövhəli və digər istilikdəyişənlər aiddir.

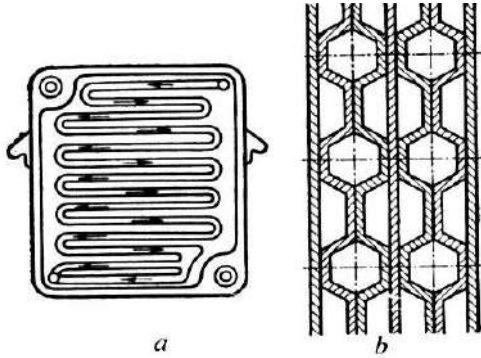
Qazların qızdırılması və ya soyulması üçün qabırğalı istilikdəyişən kalorifer adlanır (şək.8.9). Kalorifer səthləri bir sıra qabırğalı borucuqlarla birləşmiş iki qutudan ibarətdir. Giriş qısa borusundan *A* qutuları və borucuqları dolduran su və ya buxar daxil olur. *B* qısa borusundan su və ya kondensat çıxır, boruların qabırğaları arasından isə yan tərəfləri düz səthlərlə *C* məhdudlaşan qaz və ya buxar axını keçir. Kaloriferlər səthi formada olub ardıcıl və ya paralel birləşdirilir. Paralel birləşmədə hava bir neçə axına ayrılır ki, bu da batareyanın hidravliki müqavimətini aşağı salır, eləcə də havanın sürəti aşağı olduğundan istilikötürmə əmsalı azalır. Ardıcıl birləşmədə əksinə, istilikötürmə əmsalı artdığı kimi hidravliki müqavimət də artır. Beləliklə paralel birləşmədə istilikdəyişmə səthi artır, kaloriferə hava və ya qaz verən ventilyatorun enerji sərfi azalır.

Qabırğalı kaloriferlər müxtəlif ölçülərdə hazırlanır. Onlar borucuqların sayı, uzunluğu və qutuların ölçüləri ilə fərqlənilir. Havanın sürəti borulararası məsafənin (adətən 40%-ə yaxın) en kəsiyindən asılı olaraq təyin edilir.



Şək.8.9. K kalorifer

Lövhləli mayeli və buxar mayeli istilikdəyişənlər (şək.8.10) ar-
dıcıl birləşən kanallı ştamplanmış polad lövhələr paketindən yı-
ğılır.



Şək.8.10. Lövhləli mayeli və buxar mayeli istilikdəyişənlər

Yoxlama sualları

1. İstilikdəyişməyə hansı texnoloji proseslər aiddir? 2. İstilik daşıyanlara hansı tələbatlar qoyulur? 3. Hansı proses istilikötürmə adlanır? 4. İstilikötürmə əmsalının fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir? 5. İstiliyin süalanması prosesi hansı qanunla ifadə olunur? 6. Furiyenin istilikötürmə qanununun fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir? 7. Konveksiya zamanı istilikverməni hansı parametrlər xarakterizə edir? 8. İstikivermə qanununun (Nyuton qanunu) mahiyyəti nədir? 9. İstilikvermə və istilikötürmə əmsallarının əlaqəsi nədən ibarətdir? 10. Hansı istilikdəyişənlər vardır?

FƏSİL 9 BUXARLANMA (QATILAŞMA)

9.1. Buxarlanma prosesi

Qaynama zamanı qarışıqların qatılma prosesi buxarlanma adlanır. Qida sənayesində adətən su qarışıqları şirələr, siroplar, pektin yapışqanı, süd və s. buxarlandırılır.

Qaynama qarışığının bütün həcmi boyu baş verir. Qarışığın verilən tərkibində və verilən təzyiqində prosesin əsas xüsusiyyəti qaynama temperaturunun sabit olmasıdır. Su buxarlanaraq ayrılır, qarışan məhlul, məsələn, şəkər dəyişməz olaraq qarışıqda qalır. Buxarlanma texnoloji təyinatlı buxarlandırıcılarda baş verir. Vakuüm altında buxarlanmada bu aparatlar vakuüm aparatları adlanır.

Maye buxarlandıqda və qaynadıqda buxar halına keçir.

Buxar qabarcıqları əmələ gəlmədən buxarlanma, yəni qaynama prosesi olmadan buxarlanma qarışığının temperaturu qaynama temperaturundan aşağı olduqda, qarışdırıcının buxarlarının təzyiqi qarışığın üzərində olan parsial təzyiqdən çox olduqda müşahidə olunur. Buxarlanma qarışığının səthindən və müxtəlif temperaturlarda baş verir (məsələn qurutmada).

9.2. Qatılma qatılmaqda qarışığın xassələrinin dəyişməsi

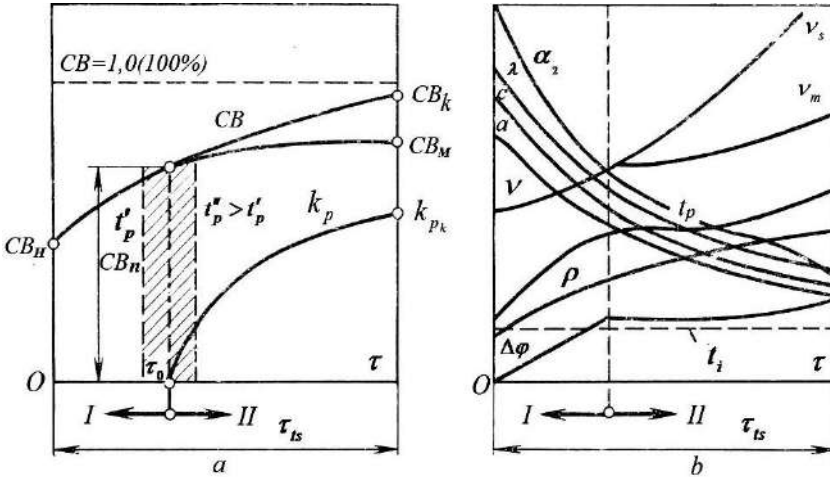
Qarışıq qatılmaqda onun fiziki xassələri dəyişir. Buxarlanma zamanı bu xassələrin dəyişməsini nəzərdən keçirək (şəkl.9.1). Buxarlanma prosesində τCB qarışığında quru maddələrin konsentrasiyası CB_H -dan CB_k -ya kimi artır. Konsentrasiya əvvəldə sürətlə, sonra yavaş dəyişir və asimptotik olaraq nəzəri hüduda $CB_k=1$ (100%) yaxınlaşır ki, qarışdırıcı buxara çevrilir. Praktiki olaraq son konsentrasiya CB_k texnoloji şərtlərlə təyin edilir. Konsentrasiya artıqda qarışığın xassələri, belə ki, qaynama temperaturu, istilikötürməsi, istilik tutumu, özlülüyü və s. dəyişir. Bu istilikötürmə şərtlərində əks olunur.

Verilən təzyiqdə qarışığın qaynama temperaturu t_p qarışığın

üzərindəki doymuş buxarın temperaturundan fiziki-kimyəvi depressiya Δf kəmiyyəti qədər çoxdur. Qarışıq buxarlandığıca sabit təzyiqdə onun qaynama temperaturu konsentrasiyanın artması ilə artır.

CB konsentrasiyasının və sıxlığın ρ artması ilə qarışığın istilikötürməsi λ və istilik tutumu c azalır və özlülük artır. Eyni zamanda temperatur ötürmə a düşür. Bu da bütövlükdə Prandtl kriteriyasının $Pr = \nu/a$ artmasına və aparatın qızdırma səthindən qaynayan qarışığa istilikvermə şərtlərinin pisləşməsinə gətirib çıxarır. Qarışıq qatılaşdıqca divardan qaynayan qarışıqda istilikvermə əmsalı α_2 azalır, çünki $\alpha_2 = B_1 q^{0,6}$ tənliyində qarışığın fiziki parametrlərinin funksiyası B_1 azalır.

Qarışığın qatılaşması buxarlandırıcı aparatın divarlarında ərpın yaranma şərtlərinin dəyişməsinə gətirib çıxarır, adətən qarışığın konsentrasiyasının artması ərpın yaranmasına səbəb olur. Bəzi hallarda əksinə, ərp yumşalaraq tökülür.



Şəkil 9.1. Qarışığın buxarlanması zamanı konsentrasiyasının (a) və fiziki xassələrinin (b) dəyişməsi:

I-doymuş qarışıq sahəsi; II-çoxdoyma və kristallaşma sahəsi

Kristallaşan çoxdoymuş (ifrat doymuş) qarışıqların buxarlan-

masında qarışan maddənin artığı bərk faza kimi çökür. Əgər τ_0 zaman anında qarışıq çoxdoyma CB_n konsentrasiyasına çatsa, onda sonrakı qatılma qarışıqda kütləvi kristallaşmaya k_p gətirib çıxarar. Kristalların böyüməsini sürətləndirmək üçün aparata qarışığın yeni porsiyası qatılır, buna görə qatılan kütlənin fiziki xassələri aparatın qarışıqla qidalanma rejimindən asılı olur.

Çoxdoyma konsentrasiyası iki sahənin sərhədidir: I-qatılma üçün adətən buxarlandırıcı aparatlardan istifadə olunan doymuş qarışıqların sahəsi; II- vakuu aparatlarda qatılan çoxdoymuş kristallaşan qarışıqlar sahəsi.

Çoxdoyma konsentrasiyası CB_n tələb olunan çoxdoyma dərəcəsindən və temperaturdan asılı olaraq ştrixlənən sərhəddə dəyişir. Qaynama temperaturunun azalması ilə verilən çoxdoyma dərəcəsi olan qarışığın konsentrasiyası azalır ($t'_p < t''_p$). Kristallaşan qarışıqlar sahəsində quru maddələr tutumu əyrisi iki hissəyə ayrılır: üst əyri qatılan kütləyə aiddir (kristallar daxil olmaqla); alt əyri qarışıqda quru maddələrin konsentrasiyasıdır CB_H . Eləcə də, ümumi özlülük əyrisi iki əyriyə ayrılır (şək.9.1,b): üstdəki- suspenziyanın effektiv özlülüyünü ν_s , altdakı qarışığın özlülüyünü ν_m göstərir.

Antikristallar və ya kristallanmayan qarışıqlardan ibarət qarışıqların qatılmasında II sahə olmur və CB və ν xəttləri ayrılmır. Qarışan maddələrin konsentrasiyası və qaynama temperaturu artıqda qarışıqda olan üzvü maddələr intensiv parçalanır və son məhsulda xoşagəlməz tam, rəng və iy yarana bilər. Məhsulun keyfiyyətini qorumaq üçün konsentrasiyalı qarışıqlar aşağı temperatürdə vakuu altında buxarlandırılaraq qatılma dırılır.

9.3. Buxarlandırma metodları

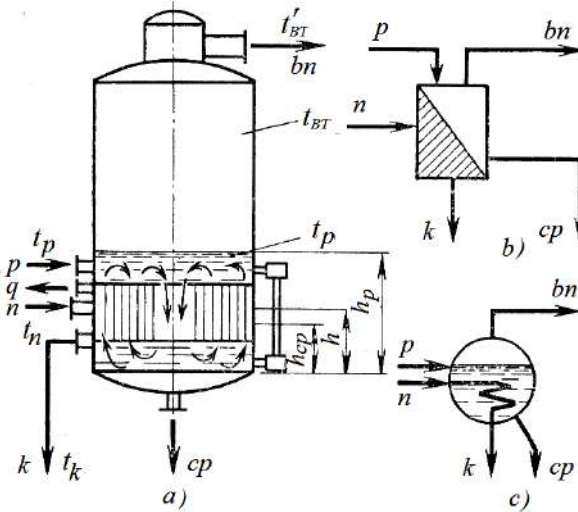
Buxarlanma buxarlandırıcı aparatlarda yerinə yetirilir. İstilikdaşıyan agent kimi adətən doymuş buxardan istifadə olunur.

Buxarlanma şərtlərindən asılı olaraq bir və ya çox korpuslu buxarlandırıcı qurğulardan istifadə olunur.

Prosesin gedişindən asılı olaraq buxarlanma periodik və fasiləsiz olur. Periodik buxarlanmada qarışıq bir aparata daxil olur və

verilən konsentrasiyaya qədər qatılaşır. Qatılaşdıqca yeni qarışıq daxil edilir. Qatılaşmış qarışıq kənarlaşdırılır və aparata yeni qarışıq nümunəsi verilir.

Fasiləsiz buxarlanma prosesi ya bir korpuslu aparatlarda və yaxud çox korpuslu qurğularda aparılır. Burada dayanıqlı proses müşahidə olunur. Qızdırıcı buxar və maye qarışıq fasiləsiz daxil olur, bu zaman konsentrasiya olunmuş qarışığın sabit miqdarı çıxarılır, qızdırıcı buxarın kondensatı hər bir korpusdan ayrılır. Geniş yayılmış şaquli qaynadıcı borucuqlu və daxili mərkəzi sirkulyasiyalı borulu buxarlandırıcı aparatın konstruktiv sxemi şəkil 9.2-də verilmişdir.



Şək.9.2. Buxarlandırıcı qurğunun sxemi və şərti işarələr:

a-buxarlandırıcı aparatın konstruktiv sxemi; *b* və *c*- istilik sxemlərində buxarlandırıcı aparatların şərti işarələri;

İşçi mühitin daxil olma və çıxarılma işarələri: *n* -qızdırıcı buxarın daxil olması; *p* -qarışığın daxil olması; *cp* -qatılaşmış qarışığın çıxarılması; *bn* -ikinci dərəcəli buxarın çıxarılması; *q* -kondensasiya edən qazların çıxarılması;

Temperaturların işarələri: *t_n* -qızdırıcı buxarın, *t_p* -orta səviyyədə qaynayan qarışığın; *t_k*=*t_n*-(2÷3)°C-kondensatın; *t_{BT}* - ikinci dərəcəli qarışığın üzərində ikinci dərəcəli buxarın; *t'_{BT}* - buxarı çıxaran boru kəmərinin sonunda ikinci dərəcəli buxarın temperaturu.

Borular iki qəfəs arasında yerləşir. Borulararası məsafə aparatın silindrik səthi ilə məhdudlaşır və buxar kamerası yaradır. Borulararasının alt hissəsindən qızdırıcı buxarın kondensatı çıxarılır, üstədən isə qızdırıcı buxarla daxil olan kondensasiya etməyən qazlar və hava çıxarılır. Qarışıq borularda qaynayır, üst boru qəfəslər arasından atılır və sirkulyasiya borusu ilə ikinci dərəcəli buxardan ayrılaraq qaynadıcı borularla çıxışa doğru hərəkət edir. Yeni qarışıq üst və ya alt qəfəsdən verilir, qatılmış qarışıq aşağıdan çıxarılır. İkinci dərəcəli buxar qarışıq üstü həcmi tutur, orada qarışığın damcılarını saxlayan tutucudan ayrılır. Qaynama səthinin alt kəsinin üzərində qaynayan qarışığın səviyyəsi aparatın ölçü şüşəsindəki qaynamayan mayenin pyezometrik səviyyəsindən çoxdur.

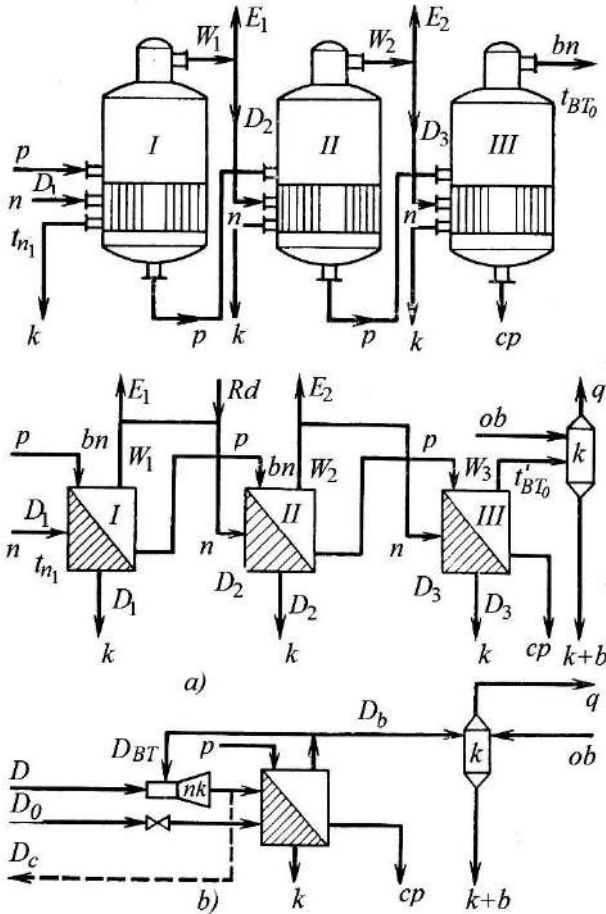
Bir korpuslu aparatda adi birdəfəlik buxarlanmada 1 kq buxarlanan suya 1 kq qızdırıcı buxar sərf olunur. Buxarın belə yüksək xüsusi sərfi sərfəli deyil. Prosesin səmərəsi ikinci dərəcəli buxardan istifadə etməklə artırıla bilər. Qızdırıcı buxarın təkrar istifadəsi daha məqsədəuyğundur.

Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğularda və istilik nasoslu buxarlandırıcı aparatlarda buxarın xüsusi sərfi azalır. Şəkil 9.3-də çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun sxemi verilmişdir.

Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğu bir neçə ardıcıl birləşmiş buxarlandırıcı aparatlardan ibarətdir. Qabaqdakı korpusun ikinci dərəcəli buxarı arxadakı korpusun qızdırıcı buxarı kimi istifadə olunur. Hər bir aparatda istilikdəyişmə qızdırıcı buxarın və qaynayan mayenin temperaturları fərqi hesabına təmin olunur, bu da hər sonrakı aparatda təzyiğin əvvəlki aparata nisbətən aşağı olmasına hesabına baş verir.

Ən aşağı təzyiq qurğunun sonuncu korpusunda olmalıdır. Bu təzyiq atmosfer təzyiqindən yuxarı və ya aşağı ola bilər. Əgər sonuncu korpusun ikinci dərəcəli buxarının temperaturu aşağı olub qızdırma üçün istifadə olunmursa, onda o kondensator k -ya yönəlir, burada soyuducu su ilə təmasa girdikdə mayeləşir. Bu sonuncu korpusda tələb olunan boşalmanı təmin edir.

Su və buxarla daxil olan kondensasiya etməyən qazlar kondensatordan vakuum nasosla sovrulur.



Şək.9.3. Buxarlandırıcı qurğunun sxemi:

a-çox korpuslu qurğu; *b*- buxar şırnaqlı kompressorlu buxarlandırıcı aparat; *k*-kondensator; *E*-ekstra buxarlar; *D₁*-qızdırıcı buxarlar; *Rd*-işlənmiş buxar; *ob*-soyuducu su; *k+b*-kondensatla soyudulan su məhlulu; *PK*-buxar şırnaqlı kompressor; *D*-işçi buxar; *D_{BT}*-ikinci dərəcəli buxar; *D₀*-kəskin buxar; *D_B*-izafi ikinci dərəcəli buxar; *D_c*-izafi sıxılmış buxar

Adətən ikinci dərəcəli buxarın hamısı arxadakı buxarlandırıcı aparatın qızdırılmasına sərf olunmur, qismən başqa aparatın qızdı-

rılmasına ayrılır. Qurğudan çıxarılan ikinci dərəcəli buxar ekstra-buxar adlanır. Müxtəlif korpuslardan müxtəlif potensiallı ekstra buxarlar ayrılır. Ayrılan buxarların miqdarı və temperaturu istilik istifadə edən qurğuların tələbləri ilə təyin edilir. Qurğunun hər hansı korpusuna qızdırıcı buxar kimi mühərriklərin işlənmiş buxarını Rd (Retur), onun təzyiqi həmin korpusun buxar kamerasındakı təzyiqinə uyğun olduqda daxil etmək olur.

Beləliklə, çox korpuslu qurğu öz əsas vəzifəsi olan qarışığı qatılaşıdırmaqda nəlavə müəssisəni qızdırıcı buxar və isti su ilə təmin edir.

9.4. Buxarlandırmanın material balansı

Fasiləsiz prosedə buxarlandırmanın material balansı qarışığın, qarışdırıcının və qarışan quru maddələrin miqdarnın dəyişmə-sini əks etdirən qrafiklə göstərilir (şək.9.4). Sadəlik üçün baş qidalandırıcılı üç korpuslu qurğu nəzərdən keçirilir.

Klassenin metoduna görə qəbul olunur ki, hər korpusda kondensasiya zamanı 1 kq qızdırıcı buxar 1 kq ikinci dərəcəli buxarın alınması üçün kifayət edir.

Prosesin başlanğıc və son halı üçün aşağıdakı dəqiq bərabərliklər alınır:

1. Maddənin balans tənliyi:

$$S_H = S_k + W, \quad (9.1)$$

burada S_H - birinci korpusa daxil olan qarışığın kütlə sərfi, kq/san;

S_k - sonuncu korpusdan çıxarılan qatılaşmış qarışığın kütlə sərfi, kq/san;

$\sum_1^3 W_i = W$ - qarışığın üç korpusunda buxarlanan suyun

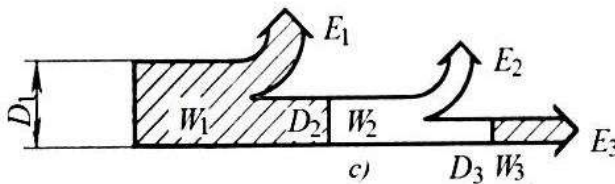
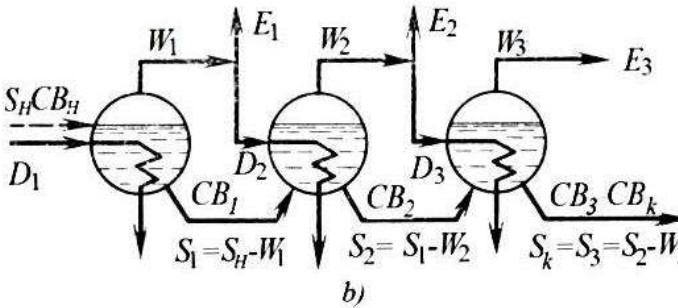
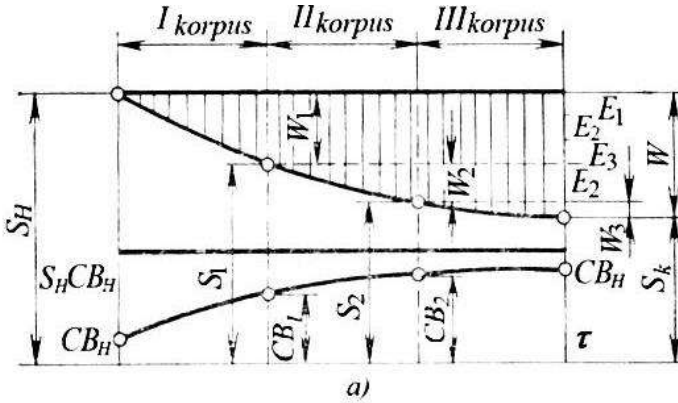
ümumi kütlə sərfi, kq/san;

i - korpusun sıra sayıdır.

2. Quru maddənin balans tənliyi (buxara keçməyən və qarışıqda qalan quru maddələrin sabit kütlə tənliyi):

$$S_H CB_H = S_k CB_k, \quad (9.2)$$

burada CB_H və CB_k - uyğun olaraq qarışıqda quru maddələrin kütlə konsentrasiyası, 1 kq qarışıqda vahid payı ilə, faizlə (məsələn $CB=0,4$ və ya 40%) və ya kiloqramla.



Şək.9.4. Buxarlanmanın material balansı:

a-qarışıqın material balansı; b-buxarlandırıcı qurğunun sxemi; c-buxarlanan suyun material balansı.

3. Verilən ilk və son kütlə konsentrasiyasında buxarlanacaq su

$$W = S_H - S_k = S_H(1 - CB_H / CB_k). \quad (9.3)$$

4. Qurğunun məlum məhsuldarlığında qarışığın son konsentrasiyası

$$CB_k = S_H CB_H / (S_H - W). \quad (9.4)$$

5. Buxarlanan suyun ümumi kütlə sərfi

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \quad (9.5)$$

burada $W_1 = D_1 = E_1 + D_2$ - birinci korpusda buxarlanan suyun kütlə sərfi, kq/san;

$W_2 = E_2 + D_3$ - ikinci korpusda buxarlanan suyun kütlə sərfi, kq/san;

$W_3 = E_3$ - üçüncü korpusda buxarlanan suyun kütlə sərfi, kq/san;

E_1, E_2, E_3 - başqa korpusların qızdırılması üçün ayrılan ekstra buxarların kütlə sərfi, kq/san;

D_1, D_2, D_3 - uyğun korpuslarda qızdırıcı buxarın kütlə sərfi, kq/san.

6. Qurğunun korpuslarından çıxan qarışığın kütlə sərfi(kq/san)

$$S_1 = S_H - W_1; \quad S_2 = S_1 - W_2; \quad S_3 = S_2 - W_3 = S_k. \quad (9.6)$$

7. Qurğunun korpuslarından çıxan qarışığın son konsentrasiyası

$$CB_1 = S_H CB_H / (S_H - W_1); \quad CB_2 = S_H CB_H / (S_H - W_1 - W_2); \\ CB_3 = S_H CB_H / (S_H - W_1 - W_2 - W_3) = CB_k. \quad (9.7)$$

8. Verilən korpusda və korpusdan əvvəl buxarlanan suyun kütlə sərfi

$$W_1 = S_H(1 - CB_H / CB_1); \quad W_2 = S_1(1 - CB_1 / CB_2);$$

$$W_3 = S_2(1 - CB_2 / CB_3) = S_2 - S_3; \quad W_1 + W_2 = S_H(1 - CB_H / CB_2);$$

$$W_1 + W_2 + W_3 = S_H(1 - CB_H / CB_3). \quad (9.8)$$

Bundan başqa qəbul olunan ifadələri aşağıdakı kimi yazmaq olar:

1. Müxtəlif korpuslarda qızdırıcı buxar sərfi

$$D_3 = W_3 = E_3; \quad D_2 = W_2 = E_2 + D_3 = E_2 + E_3;$$

$$D_1 = W_1 = E_1 + D_2 = E_1 + E_2 + E_3. \quad (9.9)$$

Deməli, birinci (baş) korpusu qızdıran buxar sərfi buxar dövriyyəsinin cəminə bərabərdir.

$$D_1 = \sum_1^3 E_i. \quad (9.10)$$

2. Qurğunun məhsuldarlığı

$$W_1 + W_2 + W_3 = E_1 + 2E_2 + 3E_3. \quad (9.11)$$

3. Həmin korpusdan ayrılan qarışıqın miqdarı

$$S_1 = S_H - W_1 = S_H - (E_1 + D_2) = S_H - E_1 - W_2;$$

$$S_2 = S_1 - W_2 = S_H - E_1 - W_2 - W_2 = S_H - E_1 - 2(E_2 + D_3) =$$

$$= S_H - E_1 - 2(E_2 + W_3);$$

$$S_3 = S_2 - W_3 = S_H - E_1 - 2E_2 - 2W_3 - W_3 =$$

$$= S_H - E_1 - 2E_2 - 3E_3. \quad (9.12)$$

9.5. Buxarlanmanın istilik balansı

9.5.1. Tək buxarlandırıcı aparatda buxarlandırma

İstiliyin daxil olması və sərfi üzrə istilik balansı. İstilik daxil olur (Vt):

1) ilkin qarışıqla $S_H C_H t_H$, burada C_H və t_H - bu qarışıqın istilik-

tutumu və temperaturudur.

2) qızdırıcı buxarla

$$Q = D(i'' - i'),$$

burada D - buxarın sərfi, kq/san;

i'' - buxarın xüsusi entalpiyası, Coul/kq;

i' - aparatdan çıxarılan kondensatın xüsusi entalpiyası, Coul/kq.

Daxil olan istilik aşağıdakı kimi sərf olunur:

1) ikinci dərəcəli buxarla W_i aparılır, burada i - ikinci dərəcəli buxarın xüsusi entalpiyası (Coul/kq);

2) konsentrasiya olunmuş qarışıqla $S_k C_k t_k$ aparılır, burada C_k və t_k - son qatılmış qarışığın xüsusi istilik tutumu və temperaturu;

3) ətraf mühitə istilik itkilərinin ayrılması ilə Q_n .

Daxil olan istiliyi sərf olunan istiliyə bərabərləşdirərək alırıq:

$$S_H C_H t_H + Q = W_i + S_k C_k t_k + Q_n. \quad (9.13)$$

Son məhsulun xüsusi entalpiyasını ilkin qarışığın və suyun xüsusi entalpiyalar fərqi kimi göstərmək olar:

$$S_k C_k t_k = S_H C_H t_H - W t_k C_B. \quad (9.14)$$

Bu ifadəni istilik balansını tənliyinə yazaraq qızdırılan buxarla daxil olan istilik miqdarı tapılır:

$$Q = W(i - C_B t_k) + S_H C_H (t_k - t_H) + Q_H. \quad (9.15)$$

Bu tənlikdən görünür ki, buxarlanmada istilik daşıyanla verilən istilik aşağıdakı kimi sərf olunur:

1) qarışığın t_H temperaturdan t_k qaynama nöqtəsinə kimi qızdırılmasına

$$S_H C_H (t_k - t_H);$$

2) ikinci dərəcəli buxarın əmələ gəlməsinə W (kq/san)

$$W(i - C_{B^k} t_k);$$

3) istilik itkilərinə Q_n .

Qızdırıcı buxar sərfi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$D = Q / (i'' - i'). \quad (9.16)$$

(9.15) tənliyində Q -nün qiymətini (9.16) ifadəsində yerinə yazsaq alarıq:

$$D = W \frac{i - C_{B^k} t_k}{i'' - i'} + S_H C_H \frac{t_k - t_H}{i'' - i'} + \frac{Q_n}{i'' - i'}. \quad (9.17)$$

Bu tənlikdən aşağıdakı nəticəyə gəlmək olar:

1) buxarlanmada qızdırıcı buxar ikinci dərəcəli buxarın əmələ gəlməsinə, qarışığın qaynama temperaturuna və istilik itkilərinin qarşılınmasına sərf olunur;

2) buxar sərfini azaltmaq üçün buxarlanmadan əvvəl qarışığı qaynama nöqtəsinə kimi qızdırmaq lazımdır, onda $t_H = t_k$ və (9.17) tənliyinin sağ hissəsi sıfıra bərabərləşir. Qaynamaya qədər qarışığın qızdırılmasına istilik sərfi qaçılmazdır. Qarışığı ucuz istilikdə-yişdiricidən istifadə etməklə qatılaşdırmaq məqsədəuyğundur;

3) buxar sərfini azaltmaq üçün aparatın və kommunikasiyaların xarici səthini izolyasiya etmək lazımdır. Bir dəfə buxarlanmada buxarın nəzəri sərfi

$$D = W \left[\frac{i - C_{B^k} t_k}{i'' - i'} \right]. \quad (9.18)$$

Buradan buxarın xüsusi sərfi

$$m = \frac{D}{W} = \frac{i - C_{B^k} t_k}{i'' - i'} \quad (1 \text{ kq buxarlanan suya kq-la}).$$

$m=1,04$; istilik sərfi nəticəsində praktiki olaraq $m=1,1 \dots 1,2$ qəbul edilir.

Aparatın istilik yükü

$$Q = D(i'' - i'). \quad (9.19)$$

Qida istehsalında $i''=i'=2260$ kCoul/kq. Bu səbəbdən

$$Q = 2260D \cong 2260W, \text{ kVt} \quad (9.20)$$

qəbul etmək olar.

İstilik balansı tənliyindən həmin şəraitdə buxarlana bilən suyun miqdarını tapmaq olar. (9.15) və (9.16) tənliklərini W görə həll etsək alırıq:

$$W = D \frac{i'' - i'}{i - C_B t_k} + S_H C_H \frac{t_H - t_k}{i - C_B t_k} - \frac{Q_n}{i - C_B t_k}, \quad (9.21)$$

burada $\alpha = \frac{1}{m} = \frac{i'' - i'}{i - C_B t_k}$ - buxarlanan suyun 1 kq qızdırıcı bu-

xara, 1 kq qızdırılan buxarın istiliyi hesabına buxarlanan su miqdarını göstərən buxarlanma əmsalı, kq;

$D \frac{i'' - i'}{i - C_B t_k}$ - qızdırıcı buxarın istiliyi hesabına D buxar-

lanan suyun miqdarı, kq/san;

$S_H C_H \frac{t_H - t_k}{i - C_B t_k}$ - öz-özünə buxarlanma hesabına buxar-

lanan suyun miqdarı, kq/san;

$\beta = \frac{t_H - t_k}{i - C_B t_k}$ - öz-özünə buxarlanma əmsalı, K·kq/Coul;

$\frac{Q_n}{i - C_B t_k}$ - istilik itkisi hesabına buxarlanmayan suyun

miqdarıdır, kq/san.

(9.21) tənliyini başqa şəkildə də yazmaq olar:

$$W = (D\alpha + SC\beta)\delta, \quad (9.22)$$

burada $\delta < 1$ - istilik itkisini nəzərə alan əmsaldır.

(9.21) və (9.22) tənliklərindən görünür ki:

1) aparatda su qızdırıcı buxarın istiliyi və qarışığa daxil olan

izafi istiliyin hesabına azalır;

2) qarışıq tam qızdırılmada və ətraf mühitə istilik itkiləri hesabına buxarlanan suyun miqdarı azalır.

9.5.2. Çox korpuslu qurğuda buxarlanma. Dayanıqlı fasiləsiz buxarlanma prosesində və istilik itkisi baş vermədikdə birinci korpusa (şək.9.5) aşağıdakılar daxil olur:

1) Ümumi entalpiyası $D_1 i''_1$ olan D_1 (kq/san) qızdırıcı buxar;

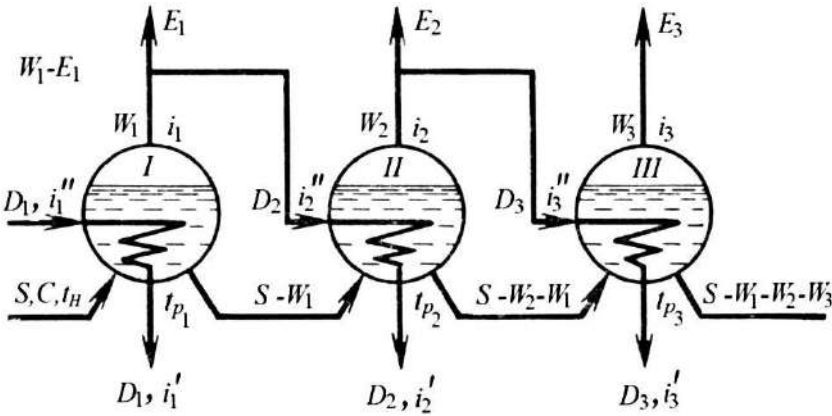
2) Ümumi entalpiyası SCt_H olan S qarışığı (kq/san);

Birinci korpustan çıxır:

1) $W_1 i_1$ entalpiyalı W_1 ikinci dərəcəli buxar (kq/san);

2) $S_c t_{p1} - W_1 C_B t_{p1} = (S_c - W_1 C_B) t_{p1}$ entalpiyalı $(S - W_1)$ qismən buxarlanan qarışıq;

3) $D_1 i'_1$ entalpiyalı kondensat D_1 (kq/san).



Şək.9.5. Buxarlanmanın istilik balansı

Birinci korpustan üçün istilik balansı tənliyi

$$D_1 i''_1 + S_c t_H = W_1 i_1 + (S_c - C_B W_1) t_{p1} + D_1 i'_1. \quad (9.23)$$

Birinci korpustan $(S_c - C_B W_1) t_{p1}$ miqdarında aparılan istilik bu qarışıqla ikinci korpusa keçir, qismən buxarlanan qarışıq ikinci

korpusdan üçüncü korpusa aparılır $(S_c - C_B W_1 - C_B W_2)t_{p_2}$, (Vt).

İkinci korpus üçün istilik balansı tənliyi

$$D_2 i_2'' + (S_c - C_B W_1)t_{p_1} = W_2 i_2 + (S_c - C_B W_1 - C_B W_2)t_{p_2} + D_2 i_2'. \quad (9.24)$$

Anoloji olaraq üçüncü korpus üçün istilik balansı aşağıdakı şəkildə olur:

$$\begin{aligned} D_3 i_3'' + (S_c - C_B W_1 - C_B W_2)t_{p_2} &= W_3 i_3 + \\ + (S_c - C_B W_1 - C_B W_2 - C_B W_3)t_{p_3} &+ D_3 i_3''. \end{aligned} \quad (9.25)$$

Hər hansı bir i korpus üçün istilik balansı tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$D_i i_i'' + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) t_{p_{i-1}} = W_i i_i + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) t_{p_i} + D_i i_i'. \quad (9.26)$$

Bu tənliyi W -ə görə həll etsək taparıq:

$$W_i (i_i - C_B t_{p_i}) = D_i (i_i'' - i_i') + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) (t_{p_{i-1}} - t_{p_i}). \quad (9.27)$$

i korpusunda buxarlanan suyun miqdarı

$$W_i = D_i \frac{i_i'' - i_i'}{i_i - C_B t_{p_i}} + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) \frac{t_{p_{i-1}} - t_{p_i}}{i_i - C_B t_{p_i}}. \quad (9.28)$$

İşarələmə apararaq:

$$\alpha_i = \frac{i_i'' - i_i'}{i_i - C_B t_{p_i}} - \text{verilən korpusun buxarlanma əmsalı};$$

$$\beta_i = \frac{t_{p_{i-1}} - t_{p_i}}{i_i - C_B t_{p_i}} - \text{həmin korpusun öz-özünə buxarlanma əmsa-}$$

lıdır.

Qarışıqın hər kiloqramı bir korpusdan digərinə keçdikdə temperatur düşməsi hesabına $C(t_{p_{i-1}} - t_{p_i})$ (Coul/kq) istiliyi verir. Bu istilik qarışıqın öz-özünə buxarlanmasına sərf olur, nəticədə 1 kq

qarışığa $C \frac{t_{pi-1} - t_{pi}}{i_i - C_B t_{pi}} = C \beta_i$ kq ikinci dərəcəli buxar əmələ gəlir.

α_i və β_i işarələrindən istifadə etsək hər hansı korpusda buxarlanan suyun miqdarı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$W_i = D_i \alpha_i + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) \beta_i. \quad (9.29)$$

Bu tənlik ilk dəfə İ.A. Tişenko (1924) tərəfindən çıxarılmışdır. Tənliyin sağ tərəfinin birinci həddi qızdırıcı buxarın istiliyi hesabına buxarlanan suyun miqdarıdır, ikinci həddi isə öz-özünə buxarlanma hesabına buxarlanan suyun miqdarıdır.

Q.N.Kostenkonun təklifi ilə istilik itkiləri $\delta_i < 1$ əmsalı nəzərə alındıqda

$$W_i = \left[D_i \alpha_i + \left(S_c - C_B \sum_1^{i-1} W \right) \beta_i \right] \delta_i. \quad (9.30)$$

Buxarlanma əmsalı vahidə yaxındır. Öz-özünə buxarlanma əmsalı vahidin yüzdə bir payını təşkil edir və adətən qurğunun sonuncu korpusları üçün artır. $\delta_i = 0,97 \dots 0,98$ əmsalı da sonuncu korpuslar üçün yüksəlidir. Təxmini hesablamalarda $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 0$, $\delta_i = 1$ qəbul etmək olar. İstilik itkiləri öz-özünə buxarlanma ilə kompensasiya olunur.

Tişenko metodu ilə W_i hesabı üçün korpuslarda ekstra buxarın miqdarını, α_i , β_i əmsallarını hesablamaq üçün temperatur rejimini bilmək lazımdır. D_i -ni bildikdən sonra aşağıdakı kəmiyyətləri təyin etmək olar:

$$\begin{aligned} W_1 &= D_1 \alpha_1 + S_c \beta_1; & D_2 &= W_1 - E_1; \\ W_2 &= D_2 \alpha_2 + (S_c - C_B W_1) \beta_2; & D_3 &= W_2 - E_2; \\ W_3 &= D_3 \alpha_3 + (S_c - C_B W_1 - C_B W_2) \beta_3 \text{ və s.} \end{aligned} \quad (9.31)$$

Hesabatın sonunda $\sum_1^n W_i = W = S_H \left(1 - \frac{CB_H}{CB_k} \right)$; bərabərlik yoxlanılır; buraxılabilən fərq 0,5%-dən çox olmamalıdır.

9.6. Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun işinin analizi

9.6.1. Korpusların yüklənməsinin əsas tənlikləri. Qurğunun işinin analizi üçün sadə asılılıqlardan istifadə edilir. Bunun üçün $\delta_i=1$, $\beta_i=0$, $\alpha_i=1$ və $D_i=W_i$ qəbul edilir.

Beş korpuslu qurğunun məhsuldarlığı W (kq/san) və buxar ayırma E_1 , E_2 , E_3 , E_4 (kq/san) kimi qəbul edilir. Hər bir korpusda buxarlanan suyun və qızdırıcı kəskin buxarın sərfi D_1 (kq/san) təyin edilir (şək.9.6).

Sonuncu V korpusda buxarlanan suyun miqdarı x ilə işarə edilir. Bu miqdar kondensatorun buxar çıxışını təkil edəcək. Onda hər bir korpusda buxarlanan suyun miqdarı aşağıdakı Klassen tənliklər sistemi ilə ifadə olunacaqdır:

$$\left. \begin{array}{l} V \text{ korpusda } W_5 = D_5 = D_k = x \\ IV \text{ korpusda } W_4 = D_4 = D_5 + E_4 = x + E_4 \\ III \text{ korpusda } W_3 = D_3 = D_4 + E_3 = x + E_4 + E_3 \\ II \text{ korpusda } W_2 = D_2 = D_3 + E_2 = x + E_4 + E_3 + E_2 \\ I \text{ korpusda } W_1 = D_1 = D_2 + E_1 = x + E_4 + E_3 + E_2 + E_1 \end{array} \right\} (9.32)$$

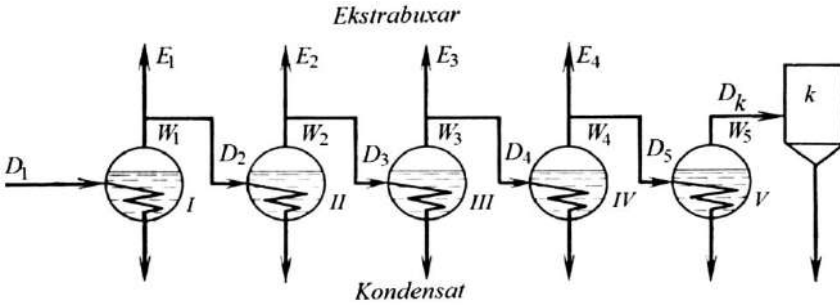
$W = \sum_1^5 W_i$ olduğundan (9.32) tənliyini toplayanda alınır:

$$W = 5x + 4E_4 + 3E_3 + 2E_2 + E_1. \quad (9.33)$$

Buradan isə sonuncu korpusda buxarlanan suyun miqdarını təyin edilir:

$$x = W_5 = D_k = D_5 = \frac{W - 4E_4 - 3E_3 - 2E_2 - E_1}{5}. \quad (9.34)$$

x -in qiyməti sistemin (9.32) bütün tənliklərinə yazılaraq W_4 , W_3 , W_2 və W_1 tapılır və hər korpusda qızdırıcı buxar sərfi D_4 , D_3 , D_2 və D_1 təyin olunur.



Şək.9.6. Beş korpuslu buxarlandırıcı qurğunun buxar paylanma sxemi

Tənliklər sistemi (9.32) əks istiqamətdə də yazıla bilər, əgər $x=W_1$ olarsa

$$\left. \begin{array}{l} I \text{ korpusda } W_1 = x \\ II \text{ korpusda } W_2 = x - E_1 \\ III \text{ korpusda } W_3 = x - E_1 - E_2 \\ IV \text{ korpusda } W_4 = x - E_1 - E_2 - E_3 \\ IV \text{ korpusda } W_5 = x - E_1 - E_2 - E_3 - E_4 \end{array} \right\} . \quad (9.32,a)$$

Bu tənlikləri toplayaraq kəskin buxar sərfi üçün ikinci tənlik tapılır:

$$x = W_1 = D_1 = \frac{W + 4E_1 + 3E_2 + 2E_3 + E_4}{5}. \quad (9.34,a)$$

Alınan tənliklərdən bir və ya bir neçə O korpuslu qurğularda istifadə etmək olar.

Aralıq korpuslara qızdırıcı buxarın daxil olması mənfi buxar-ayırma kimi də göstərilə bilər. Boşalma ilə işləyən və kondensato-

ra ikinci dərəcəli buxarı yaradan sonuncu korpus adətən içərisində çoxqızmış (ifrat qızmış) buxarın qızdırıcı buxar sərfi olmadan yalnız öz-özünə buxarlanması baş verən kondensator kimi hesablanır ($E_4=W_4$, $D_5=0$, $W_5>0$).

Aparılan dəyişikliklər nəticəsində korpusların yüklənmələrinin aşağıdakı tənlilikləri əldə edilir.

I korpus (qızdırıcı buxar sərfi tənliyi):

$$W_1 = D_1 = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + W_5 = \frac{W + 4E_1 + 3E_2 + 2E_3 + E_4}{5} \quad (9.35)$$

Qızdırmaq üçün bütün korpuslardan I korpusa daxil olan ekstra buxarından istifadə etdikdə

$$D_1 = W_1 = \sum_1^5 E_i, \quad (9.36)$$

$W_4=E_4$ və $W_5=0$ olduqda (öz-özünə buxarlanma nəzərə alınmadıqda)

$$D_1 = W_1 = \sum_1^4 E_i. \quad (9.37)$$

II korpus

$$W_2 = D_2 = E_2 + E_3 + E_4 + W_5. \quad (9.38)$$

III korpus

$$W_3 = D_3 = E_3 + E_4 + W_5. \quad (9.39)$$

IV korpus

$$W_4 = D_4 = E_4 + W_5. \quad (9.40)$$

V korpus

$$W_5 = D_5 = \frac{W - 4E_4 - 3E_3 - 2E_2 - E_1}{5}. \quad (9.41)$$

Qurğunun bütün korpuslarında buxarlanan suyun miqdarı

$$W = \sum_1^5 W_i = E_1 + 2E_2 + 3E_3 + 4E_4 + 5W_5. \quad (9.42)$$

9.6.2. Korpusların yüklənmə tənliklərinin analizi. Alınan tənlikləri analiz etdikdə aşağıdakı nəticələrə gəlinir:

1. Buxarlandırıcı qurğunun məhsuldarlığı buxarayırmanın qiymətindən asılı olub onun artması ilə artır və baş korpusdan uzaqlaşdıqca buxarayırmanın təsiri artır. Məsələn, əgər E_1 100 kq/saat-a kimi artırılarsa, onda qurğunun məhsuldarlığı da 100 kq/saat artır, E_3 -ün də belə artımında, məhsuldarlıq 300 kq/saat artır.

2. Buxarayırma artdıqda I korpusda kəskin buxar sərfi artır, məhsuldarlıq dəyişmədikdə baş korpuslarda buxarayırma buxar sərfinə çox təsir edir.

3. (9.41) tənliyi ilə W_5 hesablandıqda onun qiyməti mənfi alınır, bu da buxarayırmanın dəyişməsinin yerinə yetirilməsini göstərir.

4. Son korpuslarda buxarayırmanı artırmaq iqtisadi cəhətdən sərfəlidir, çünki bu halda qurğunun məhsuldarlığı nisbətən artır və ya kəskin buxar sərfi azalır. Müxtəlif korpuslarda ikinci dərəcəli buxarın qiyməti eyni olmur, yəni temperaturları fərqlidir, təcrübədə istilikdəyişdirənlərin qızdırılması üçün yüksək temperaturlu ekstra buxardan və baş korpusların buxar ayrılmalardan istifadə olunur.

5. Buxar ayrılmamaqla buxarlanmada $W_1 = W_2 = W_n$; $W_i = W/n$ (n - korpusların sayı), yəni buxarlanan su qurğunun korpuslarına bərabər paylanılır.

6. Buxarayırma olmadıqda buxarlanmaya maye sərf olunan kəskin buxarın miqdarı az olur. Ancaq buxarayırılmada qurğunun səmərəliliyi artır. Bu hal aşağıdakı tənliklərin müqayisəsindən aydın olur:

a) buxarayırma olmayan qurğuda ancaq buxarlanmaya kəskin buxar sərfi $D_i = W/n$ təşkil edir. Bundan başqa ikinci dərəcəli buxar

əvəzinə $\sum_1^n E_i$ miqdarında kəskin buxar sərf olunur. Zavod üzrə ümumi kəskin buxar sərfi

$$D = D_1 + \sum_1^{n-1} E_i = \frac{W}{n} + \sum_1^{n-1} E_i = \frac{W}{n} + E_1 + E_2 + \dots + E_{n-1}. \quad (9.43)$$

b) buxarayırlma olduqda qurğu üçün kəskin buxar sərfi zavod üzrə

$$D' = D_1 = \frac{W}{n} + \frac{n-1}{n} E_1 + \frac{n-2}{n} E_2 + \dots + \frac{1}{n} E_{n-1}. \quad (9.44)$$

Buxarayırlma olduqda və olmadıqda, buxar sərfi arasındakı fərq qurğunun səmərəliliyini müəyyənləşdirir:

$$D - D' = \frac{1}{n} E_1 + \frac{2}{n} E_2 + \dots + \frac{n-1}{n} E_{n-1}. \quad (9.45)$$

$\frac{iE_i}{n}$ kəmiyyəti i korpusundan ayrılımda kəskin buxar sərfi səmərəsini göstərir. Bu səmərə korpusun i sıra sayı artdıqca artır. Deməli, buxarayırlmanı sonuncu korpuslarda artırmaq əlverişli sayılır.

7. Buxarayırlmanı baş korpuslara keçirdikdə kondensatorda buxarayırlma artır ($D_k = W_n$). Bu da qurğunun işinin səmərəliliyini azaldır. İkinci dərəcəli buxarın qızdırılma əvəzinə kondensatora verilməsi buxarlandırıcı qurğunun istilik itkisi kimi qəbul olunur. Qızdırıcı buxar tələb etməyən və öz-özünə buxarlanmaya işləyən boşalmada olan sonuncu korpusun iş rejimi daha münasibdir ($W_n = E_{n-1}$).

8. Verilən məhsuldarlıqda və sabit buxarayırmada qurğu çox korpuslardan ibarət olduqda qızdırıcı buxar sərfi az olur. Ancaq buxarlanmanın dəfələrlə artması müəyyən həddə kimi məqsədəuyğun olur. Bu hədd aşağıdakılarla müəyyənləşir:

a) korpuslar arasında paylanan temperatur düşməsi ilə. Hər bir korpusun dayanıqlı işləməsi üçün temperatur fərqi 6-7 K olması

tələb olunur. Korpusların çoxunda temperatur itkilərinin cəmi artır. Bu da paylanan faydalı fərqi azaldır və buxarlanma saylarını məhdudlaşdırır. Ümumi temperatur düşməsi bir tərəfdən I korpusda qarışıqın buraxılabilən qaynama temperaturu ilə, digər tərəfdən sonuncu korpusun ikinci dərəcəli buxarının temperaturu ilə məhdudlaşır.

b) qızdırma səthinin ölçülərinin artması və kiçik temperatur dəyişmələrində korpusların qiyməti ilə. Korpusların sayından asılı olaraq qurğunun qiymətinin artması buxarlanma sayının artması və qızdırıcı buxarın sərfinin azalması ilə kompensasiya olunmur.

Çox sayda aparatların istilik itkilərinin artması qızdırıcı buxarın dəfələrlə istifadəsinin faktiki azalmasına gətirib çıxarır. Buna görə qida sənayesinin buxarlandırıcı qurğularının 5-dən artıq korpusu olmur.

9. Buxarlandırıcı qurğunun verilən məhsuldarlığında W və buxarlanmaya sərf olunan buxarın D_1 məlum qiymətində ayrı-ayrı korpuslardan müəyyən buxarayılma uyğunluğu mövcuddur. İkinci dərəcəli buxar istifadəçilərinin istilik hesabatından buxar dövriyyəsinin cəmi $\sum_1^{n-1} E_i$ təyin olunur. Bu da korpuslar arasında elə

paylanılır ki, məhsulların qızdırılmasını və qurğunun verilən məhsuldarlığını təmin etsin. Bu və ya digər korpusdan buxarayılmanın seçilməsi məhsulun çıxışda qızdırıcının son temperaturu ilə təyin edilir. Qızdırıcıda qızdırıcı buxar kimi istifadə edilən ekstra buxarın temperaturu məhsulun son temperaturundan $6...7^\circ$ çox olmalıdır. Baş korpuslarda daha yüksək temperaturlu buxarın istifadəsi istilikdəyişənlərin maya dəyərini azaldır. Sonuncu korpusların ikinci dərəcəli buxarının istifadəsi buxarlandırıcı qurğunun səmərəliliyini və qızdırıcıların qızdırma səthinə artırır. Qızdırıcının istilik istifadəçisinin bir korpusdan digərinə keçirilməsi praktiki olaraq ekstra buxarın istifadəsinə təsir etmir, çünki hər hansı bir korpus üçün $i''-i' \approx const$ olur. Ancaq verilən W və D_1 -də bir korpusda buxarayırmanın dəyişməsi digər korpuslarda da buxarayırmanın dəyişməsinə gətirib çıxarır. Göstərilən şərtlərdə hər korpusdan mümkün buxarayılma digər korpuslarda buxarayırmanın də-

yişməsinə gətirib çıxarır. Hər korpusdan buxarayıma İ.A.Tişenkonun metodu ilə təyin edilir. Məsələn, üç korpuslu buxarlandırıcı qurğu üçün

$$D_1 = E_1 + E_2 + E_3 \quad (W_3=E_3 \text{ olduqda}); \quad (9.37,a)$$

$$W = E_1 + 2E_2 + 3E_3. \quad (9.42,a)$$

Bu tənliklərin birgə həlli E_2 və E_3 -ün E_1 -dən funksional asılılığı aşağıdakı iki ifadəni verir:

$$E_2 = -2E_1 + 3D_1 - W; \quad (9.46)$$

$$E_3 = E_1 + W - 2D_1. \quad (9.47)$$

I korpusdan buxarlandırmanın E_1 artması II korpusdan buxarayımanın E_2 azalmasına və III korpusdan buxarayımanın E_3 artmasına uyğun gəlir. I korpusun maksimum buxarayımasında II korpusun buxarayıması sifıra kimi azalır.

9.7. Buxarlandırıcı aparatların və qurğuların istilik hesabı

Buxarlandırıcı aparat və qurğuların iki növ istilik hesabı mövcuddur: 1) layihə hesabı – onun məqsədi verilmiş işçi rejimdə korpusların qızdırıcı səthinin ölçülərinin təyini; 2) yoxlama hesabı – onun məqsədi baxılan rejimdə qurğunun məhsuldarlığının və optimal rejim səthlərinin təyini. Hər iki halda eyni istilikdəyişmə və istilik balans tənliklərindən istifadə olunur, ancaq bu hesabat müxtəlif istiqamətdə yerinə yetirilir.

Buxarlandırıcı qurğuların istilik hesablarından bütövlükdə qurğunun və onun ayrı-ayrı korpuslarının işini təyin edən aşağıdakı əsas faktorların qiyməti ilə təyin edilir:

a) buxarayımadan və ya buxarlandırma şərtinin dəyişməsindən asılı olaraq korpusların istilik yükü;

b) ərp əmələgəlməsini nəzərə almaqla korpusların texniki müqaviməti;

c) qurğunun verilən məhsuldarlığını əldə etmək üçün istilikdəyişmənin tələb olunan intensivliyini təmin etmək üçün temperatur düşmələri;

d) korpusların qızdırıcı səthi.

9.8. Bir korpuslu buxarlandırıcı aparatın hesabı

Bir korpuslu buxarlandırıcı aparatdan qida sənayesinin bir çox sahələrində istifadə olunur (cəm, povidlo, meyvə və giləmeyvə şirələrinin hazırlanmasında, südün qatılaşdırılmasında, xamanın və siropun hazırlanmasında, karamel kütləsinin və halvanın bişirilməsində və s.).

Layihə hesabı. Hesabat üçün verilənlər: qızdırıcı buxarın temperaturu t_n ; ikinci dərəcəli buxarın təzyiqi P_{vt} (t_{vt}); daxil olan qarışığın ilkin miqdarı S_H (kq/san); qarışığın ilkin və son konsentrasiyaları CB_H və CB_k ; qarışığın aparata daxil olduqda temperaturu t_H ; qarışığın fiziki parametrləri; aparatın qarışdırılma sxemi; dayanıqlı iş müddəti τ_l (və ya qızdırıcı səthin istifadə əmsalının qiyməti φ).

Ardıcıl olaraq aşağıdakı göstəricilər təyin olunur:

1. Qurğunun məhsuldarlığı

$$W = S_H \left(1 - \frac{CB_H}{CB} \right).$$

2. Hesabat konsentrasiyası

a) düzaxınlı aparat üçün

$$CB_p = 0,5(CB_H + CB_k);$$

b) çoxsaylı sirkulyasiyalı aparat üçün

$$CB_p = CB_k.$$

3. Qarışığın qaynama temperaturu

$$t_p = t_{vt} + (\Delta_q + \Delta_f).$$

4. Faydalı temperatur fərqi

$$\Delta t_p = t_n - t_p .$$

5. Yüklənmə xarakteristikası

$$\Delta t = ruR = ru(R_0 - R_H) ,$$

buradan

$$q_p = k\Delta t_p$$

hesabat qiyməti tapılır.

6. Aparatın qızdırıcı səthinin sahəsi iki üsuldən biri ilə hesablanır:

$$a) F = \frac{Q}{k\Delta t} \frac{x(R_0 + R_H) [S_H C_H (t_p - t_H) + W(i - C_B t_p)]}{\Delta t} , \quad (9.48)$$

burada $x=1,03\dots 1,05$ - aparatın ətraf mühitə istilik itkilərini nəzərə alan əmsal.

b) təxmini olaraq $t_H = t_p$; $i = C_B t_p = r$; $q = k\Delta t = ur$ olduqda

$$F = W \frac{i - i_p C_B}{u_p r} \approx \frac{W}{u_p} . \quad (9.49)$$

7. Qızdırıcı buxar sərfi D (kq/san)

$$D = \frac{Q}{i'' - i'} = \frac{x [S_H C_H (t_p - t_H) + W(i - C_B t_p)]}{i'' - i'} \approx u_p F , \quad (9.50)$$

8. Qəbul olunan eskizdə (sxemdə) aparatın qızdırıcı səthi yerləşdirilir və aparatın konstruktiv hesabı yerinə yetirilir.

Yoxlama hesabı. Hesabat üçün verilənlər: aparatın qızdırıcı səthinin sahəsi və ölçüləri; aparatın verilən məhsuldarlığı; müşahidə edilən buxarlanma rejimi; aparatın müşahidə olunan məhsuldarlığı; qızdırma səthindən istifadə əmsalı.

Hesabat ardıcılığı aşağıdakı kimidir:

1. Faktiki konsentrasiya və ilkin məhsulun kütləsinə görə hesablanan buxarlanan suyun müşahidə edilən miqdarı W_p (kq/san):

$$W_p = S_H \left(1 - \frac{CB_H}{CB_k} \right). \quad (9.51)$$

2. Faktiki kütlə gərginliyi U_p (kq/(m²·san))

$$U_p = \frac{W_p}{F}. \quad (9.52)$$

3. İstilikvermə əmsalı k_p (Vt/(m²·K)) və ya ümumi termiki müqavimət R_p (m²·K/Vt)

$$k_p = \frac{1}{R_0};$$

$$R_p = R_0 + R = (R_1 + R_c + R_2) + [(1 - \Phi)\Phi] \cdot (R_1 + R_c + R_2) = \frac{R_0}{\Phi}, \quad (9.53)$$

burada R_1 və R_2 - U_p -in qiymətindən tapılır.

4. Müşahidə edilən temperatur fərqi (K)

$$\Delta t_p = t_n - t_p. \quad (9.54)$$

5. Faktiki istilik yükü Q_p (Vt)

$$Q_p = k_p \Delta t_p F. \quad (9.55)$$

6. Aparatın tələb olunan məhsuldarlığı W (kq/san)

$$W = S_H \left(1 - \frac{CB_H}{CB_k} \right). \quad (9.56)$$

7. Tələb olunan istilik yükü

$$Q = [S_H C (t_p - t_n) + W (i - C_B t_p)] x. \quad (9.57)$$

8. Məhsuldarlıq ehtiyatı əmsalı

$$\chi_1 = \frac{Q_p}{Q} = \frac{\text{mövcud (istilik)məhsuldarlıq}}{\text{tələb olunan məhsuldarlıq}} . \quad (9.58)$$

Mövcud temperatur düşməsinə tələb olunan temperaturla düşməsi ilə müqayisə etdikdə aşağıdakı ifadə alınır:

$$\chi_2 = \frac{\Delta t_p}{\Delta t_t} . \quad (9.59)$$

Tələb olunan temperatur düşməsi verilən məhsuldarlıqla təyin olunur.

$$\Delta t_t = \frac{Q}{kF} . \quad (9.60)$$

Bu halda k , tələb olunan kütlə gərginliyi ilə təyin olunur:
 $U = \frac{W}{F}$, deməli

$$\frac{Q_p}{Q} = \frac{k_p \Delta t_p F}{k \Delta t_t F} ; \quad \chi_1 = \chi_2 \frac{k_p}{b} . \quad (9.61)$$

9. Hesabat nəticələrinin analizi ilə yekunlaşır. Hesabat χ qiymətindən asılıdır. Əgər $\chi < 1$ olarsa, onda aparat verilən məhsuldarlığı təmin etmir. Bu halda faydalı temperatur fərqi artırılması tövsiyə olunur. Əgər $\chi > 1$ olarsa, onda Δt_p -nin azalması məqsədəuyğundur (məsələn, qızdırıcı buxarın təzyiqini azaltma yolu ilə). Məhsuldarlıq ehtiyatının 5...10% olması normal hesab edilir.

9.9. Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun hesabı

Çox korpuslu qurğunun hesabı material və istilik balansını təminlərinin istifadəsinə əsaslanır və qeyd olunan elementlərdən ibarətdir. Müəyyən ana qədər çox korpuslu qurğu vahid bütöv kimi qəbul olunur. Termiki müqavimətlərin və qızdırıcı səthin təyin olunmasında hər bir korpusa bir korpuslu aparat kimi baxılır.

Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun istilik hesabı üç əsas hissədən ibarətdir:

- 1) buxarlanan suyun və qızdırıcı səthin gərginliyinin miqdarının təyini (korpusların yükünün hesabı);
- 2) korpusların termiki müqavimətlərinin təyini;
- 3) qızdırıcı səthin və ya optimal temperatur rejiminin hesabları.

Layihə hesabının ardıcılığı aşağıdakı kimi aparılır:

1. İlk məlumatlar kimi buxarlandırıcı stansiyanın sxemi, qızdırıcı buxarın temperaturu, məhsulun miqdarı, onların konsentrasiyası, temperaturu və s. təyin edilir.

2. Buxarlandırıcı qurğunun ikinci dərəcəli buxarını istifadə edən istilikdəyişənin buxar sərfinin təyini nəticəsində buxarayırma

cəmi məlum olur $\sum_1^{n-1} E_i$.

3. Optimal buxarayırma təyin olunur.

4. Korpusların yüklənmə tənliklərinə görə qurğunun hər korpusunda buxarlanan suyun miqdarı (W_i) təyin olunur.

Sadə hesabat Klassenin sadələşmiş tənliyi ilə aparılır. Məlum buxarayırma və qurğunun verilən məhsuldarlığında D_1 təyin edilərsə, buxarlanan suyun miqdarı ardıcıl olaraq tənliklərdən tapılır:

$$\left. \begin{aligned} W_1 &= D_1 \\ W_2 &= D_1 - E_1 = D_2 \\ W_3 &= D_2 - E_2 = D_3 \\ W_i &= D_{i-1} - E_{i-1} = D_i \\ W_n &= D_{n-1} - E_{n-1} = D_n \end{aligned} \right\}. \quad (9.62)$$

Bu tənlikləri toplayaraq, yoxlama aparılır

$$\sum_1^n W_i = S_H \left(1 - \frac{CB_H}{CB_k} \right).$$

5. İstənilən temperatur rejimi hesablanır. Bunun nəticəsində verilən dayanıqlı iş dövrünə τ_l uyğun əldə olunan temperatur düşməsi aşağıdakıları nəzərə almaqla qurğunun korpusları arasında paylanır:

a) sonuncu korpuslarda istilikdəyişmə pisləşir və istilikötürmə əmsalı düşür. Bu korpuslar üçün həddindən çox qızdırıcı səth tələb olunmasın deyə, faydalı düşmə birinci korpusdan sonuncu korpusa tərəf artır;

b) böyük istilik yükü olan qurğularda qızdırıcı səthi azaltmaq üçün onlarda böyük temperatur fərqi təmin edilməlidir;

c) hər korpus üçün müəyyən minimal faydalı düşmə təmin olunmalıdır (təxminən 6...7 K, süni sirkulyasiyalı aparatlar üçün 4...5 K).

6. Hər bir korpus üçün yüklənmə xarakteristikaları $\Delta t = f(U)$ qurulur. Buradan da temperatur düşmələrinə Δt_i uyğun kütlə hesabata gərginlikləri U_i təyin olunur.

7. Hər korpusun qızdırıcı səthi təyin olunur: $F_i = \frac{W_i}{U_i}$, kataloq-

dan standarta ən yaxın səthə malik aparatın seçilməsi ilə hesabat bitir. O, hesabat səthindən kəskin fərqlənə bilər. Bu da temperatur paylanmasının dəqiqləşdirilməsini tələb edir.

8. Qəbul olunan standart aparatlar üçün qurğunun yoxlama hesabata aparılır. Yoxlama hesabataın aparılmasında məqsəd qızdırıcı səthin optimal kütlə gərginliklərində buxarlandırıcı qurğunun optimal iş rejimini müəyyənləşdirməkdir.

Müəyyən qızdırıcı səthlərdə F_i hesabata, kütlə gərginliklərinin U_i hesabataına, uyğun termiki gərginliklərin R_i və faydalı temperatur fərqlərinin Δt_i hesabataına gətirilir. $\sum_1^n \Delta t_{pi} \geq \sum_1^n \Delta t_i$ və ya

verilən dayanıqlı iş müddətinin τ_l sonu üçün məhsuldarlıq ehtiyatı əmsalı $\chi \geq 1$ olduqda optimal iş rejimi əldə olunur. Məsələn, şəkər zavodlarında korpusların termiki müqaviməti $\tau_l = 40 \dots 50$ sutka üçün optimal iş rejimi təyin olunur. Optimal rejim qurğunun iş şəraitindən asılı olaraq dəyişir və hər buxarlandırıcı stansiya üçün

fərdi xarakter daşıyır. Buxarlandırıcı qurğuların hesabatı optimal variantın seçilməsinə qədər təxmini yerinə yetirilir. Hesabat qiymətlərinin dəqiqləşdirilməsi yalnız seçilmiş və ya ona yaxın variant üçün məqsədəuyğundur. Buxarayırmanın dəyişməsində və temperatur düşmələrinin yenidən paylanması hesabat qiymətləri dəyişikliyə məruz qalır.

9.10. Buxarlandırıcı aparatların konstruktiv sxemləri

Buxarlandırıcı aparatların konstruksiyaları müxtəlif olub, 100-ə yaxın növləri mövcuddur. Aparatlar aşağıdakı əlamətlərə: yerləşməsi, görünüşü, qızdırıcı səthin konfigurasiyası və konstruksiyası, qızdırıcı buxarın və qarışıqın əlaqəli yerləşməsi, sirkulyasiyasının rejimi və s. görə təsnifatlanır.

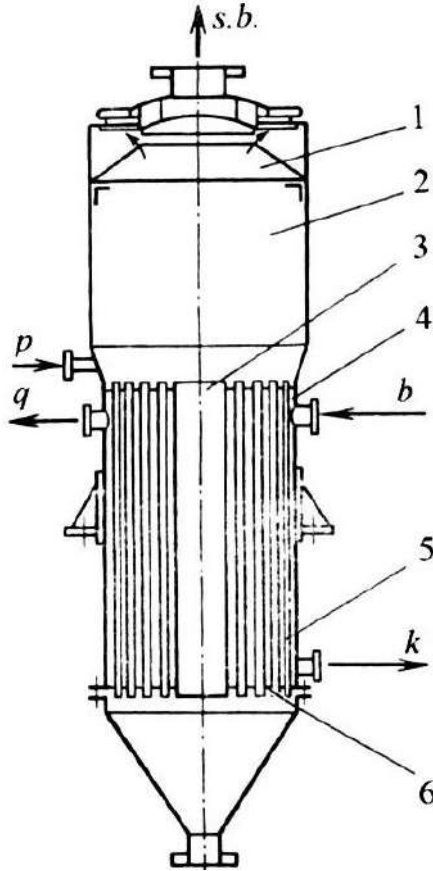
Şaquli qaynadıcı borulu və mərkəzi sirkulyasiyalı borulu buxarlandırıcı aparatın əsas elementləri əlavə elementlərlə təchiz olunur. Belə ki, aparatın əsas elementləri işçi mühiti vermək və çıxarmaq üçün qısa borularla, ilkin buxarın kondensatının çıxarılması və kondensasiya etməyən qazların çıxarılması üçün qısa borularla, separatorlarla və ikinci dərəcəli buxar damcılarını və köpüyü ayırmaq üçün tutucularla və s. ilə təchiz olunur. Başqa aparatlarda qızdırıcı səthin yerləşməsi şaquli, üfüqi və maili ola bilər.

Qızdırıcı səth köynəkli, həlqəvi elementlərdən ibarət asqılı kameralı, ilanvari, borulu, lövhəli və ya qabırğalı konfigurasiyalı olur. İşçi mühitin yerləşməsinə görə aparatlar buxar borulu (borunun daxilində buxar hərəkət etdikdə) və ya maye borulu (boruların daxilində maye qaynadıqda) olur. Qızdırıcı səthin yerləşməsinə görə aparatlar üfüqi və ya şaquli çıxarılan, şaquli və ya üfüqi daxili buxar kameralı olurlar.

Sirkulyasiya xarakterinə görə aparatlar sirkulyasiya rejiminə və sayına görə fərqlənir. Aparatlar düzaxınlı bir sirkulyasiyalı (qarıışıq bir dəfəyə keçir) və çox sirkulyasiyalı (qarıışıq aparatın eyni kəsiyindən bir neçə dəfə keçir) olur. Sirkulyasiya rejiminə görə aparatlar məcburi hərəkətli və təbii sirkulyasiyalı olur.

Rotorlu fırlanan qızdırıcı səthli buxarlandırıcı aparatlar xüsusi

yer tutur. Şəkil 9.7-də təbii sirkulyasiyalı buxarlandırıcı aparatın sxemi verilmişdir. Aparatın əsas konstruktiv elementləri borular dəstindən 5 və mərkəzi sirkulyasiya borusundan 3, qızdırıcı kame-
radan 4, boruları saxlayan 6, separasiya kamerasından 2 və separa-
tordan 1 ibarətdir.



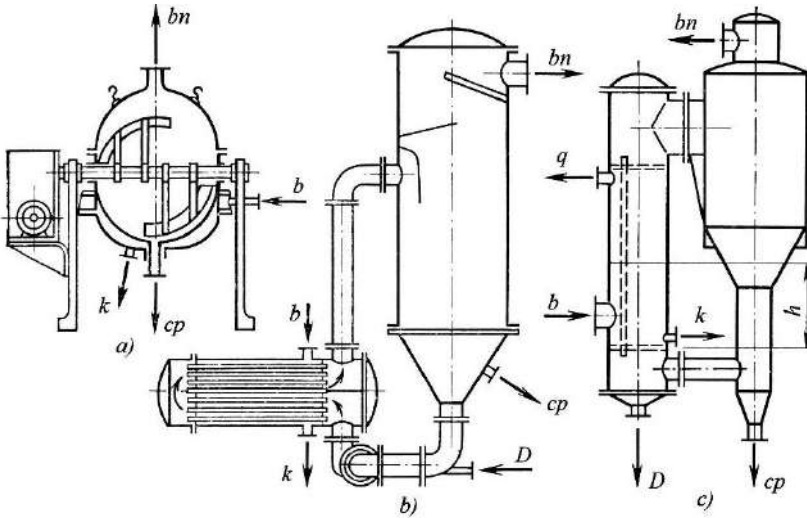
Şək.9.7. Təbii sirkulyasiyalı şaquli buxarlandırıcı aparat:

1-separator; 2-separasiya kamerası; 3-sirkulyasiya borusu; 4-
qızdırıcı kamera; 5-qızdırıcı borular; 6-boruları saxlayan qəfəs

Qarışıqın təbii sirkulyasiyası sirkulyasiya borusunda 3 maye-
nin və kiçik borucuqlarda buxar maye emulsiyasının sıxlıqlar fərqi

hesabına yararır. Qızdırıcı buxar b qızdırıcı kameranın üst hissəsinə daxil olur və əmələ gələn kondensat k kameranın alt hissəsindəki qısa borudan çıxarılır. Kondensasiya olunmayan qazların ayrılması üçün qızdırıcı kameranın üst hissəsində uyğun qısa boru quraşdırılır. Təzə qarışıq p aparata adətən boru saxlayan qəfəsin üzərindən daxil olur və aparatın ən alt hissəsindən cp çıxarılır.

Şəkil 9.8, b -də xarici sirkulyasiya borusunun buxar separatoruna çevrilməsi göstərilir. Burada separatorada qaynayan qarışıqın çoxdoyması üçün borulu qızdırıcı şəklində olan qızdırıcı səth aparatın korpusundan çıxarılır. Buxar tutucudan keçərək separatorun genişlənməmiş hissəsindən çıxarılır, qarışıq isə hündürlüyü h olan basqı sütununun üzərindən sirkulyasiya konturuna qaydır.



Şək.9.8. Buxarlandırıcı aparatın konstruktiv sxemləri:

a-buxar köynəklə qarışdırıcı; *b*-məcburi sirkulyasiyalı; *c*-yüksək qızdırıcı səthli; *n*-qızdırıcı buxar; *k*-kondensat; *q*-kondensasiya etməyən qazlar; *cp*-qatılmış qarışıq; *bn*-ikinci dərəcəli buxar

Sirkulyasiyanı yaxşılaşdırmaq üçün, əsasən konsentrasiyalı qarışıqların buxarlanmasında, axının nasos vasitəsi ilə süni hərəkətdə istifadə olunur (şək.9.8, b). Bu halda borulu qızdırıcı səthin

şaquli və ya üfüqi yerləşməsi mümkündür. Separatorun kəsiyində sipərlərin və əksetdiricilərin quruluşu görünür.

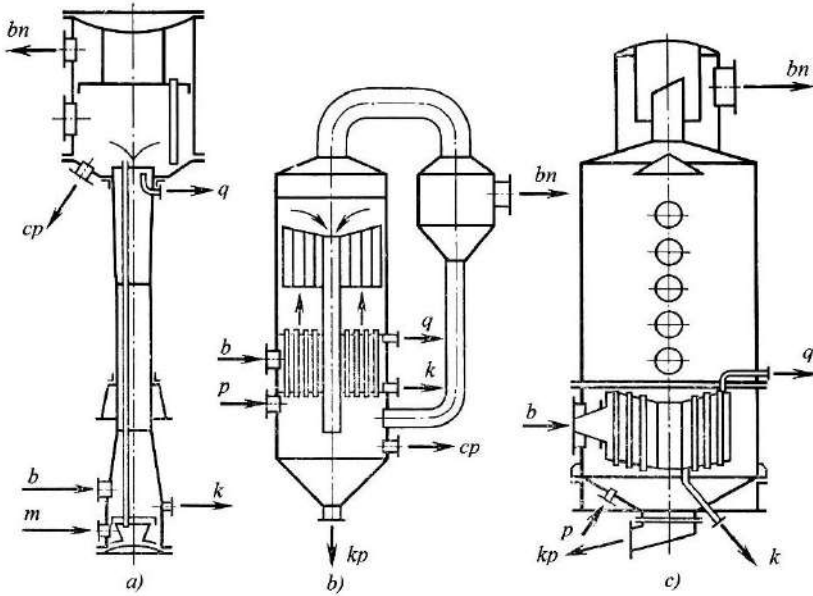
Yüksək özlülüklü plastiki kütlələrin kiçik porsiyalarda periodik birləşməsində borulu sirkulyasiyalı konturun istifadəsi məqsəduyğun deyildir. Bu halda açıq tipli buxar çənlərindən və kürəşəkilli qarışdırıcı buxarlandırıcı aparatlardan istifadə olunur (şək.9.8,a). Açılan korpusun üst yarımkürəsi yükləmə zamanı trosalar vasitəsilə qaldırılır, qarışdırıcılar fərdi mühərrik vasitəsilə reduktorla hərəkətə gətirilir. Alt yarımkürə buxar köynəklidir.

Şəkil 9.9,a– da Kestner sistemi olan uzun borulu birgədişli aparat verilmişdir. Qarışıq 7 m uzunluğunda qaynadıcı borulara altdan daxil olur və nazik layda buxarlanaraq boruların daxili səthi ilə sürtünərək yuxarı qalxır. Qarışıqın üzərindəki boşluqda borulardan fəvvarə verən qarışıqın enerjisini söndürən əksetdirici çətir və mərkəzdənqaçma tipli buxar separatoru yerləşir.

R.Y.Levin tərəfindən kristallaşan qarışıqlar üçün istifadə olunan bilən sirkulyasiyası daha yaxşı təşkil olunan aparat təklif olunmuşdur (şək.9.9,b). Aparatın xüsusiyyətlərinə yüksək sirkulyasiya sürətini yaradan qarışıqın yüksək səviyyəsi, qızdırıcı səthin məhlulla örtülməsi, konsentrik qızdırılmayan həlqəvi elementlərdən ibarət hidrodinamiki stabilləşdiricinin olması aiddir. Stabilləşdirici şaquli istiqamətdə müəyyən axın hərəkətini təmin edir və qarışıqın qarışdırılmasına sərf olunan enerji itkisini azaldır. Bunun hesabına sirkulyasiya sürətini yaratmaq üçün basqının istifadəsi yaxşılaşır.

Kristallaşan qarışıqların periodik buxarlandıraraq qatılaştırılması üçün vakuum aparatdan (şək.9.9,c) istifadə olunur. Bu aparat qızdırıcı səthin üzərindəki boşluğun həcmi çox olması ilə fərqlənir. Burada kütlənin bişməsi nəticəsində artan miqdarı yaranır. Məhsulun bişərək qatılaşmasını müşahidə etmək üçün bir sıra dairəvi müşahidə aynaları nəzərdə tutulur. Hazır qatılaşmış hərəkətsiz kütlə (93% quru maddə, 50%-ə yaxın kristallar) tsiklin sonunda böyük kəsiyin qapısından çıxarılır.

Müxtəlif meyvə şirələrinə qatılaştırmaq üçün buxar kompresoru kombinə edilmiş vakuum – aparatlardan istifadə olunur (şək. 9.10,a).



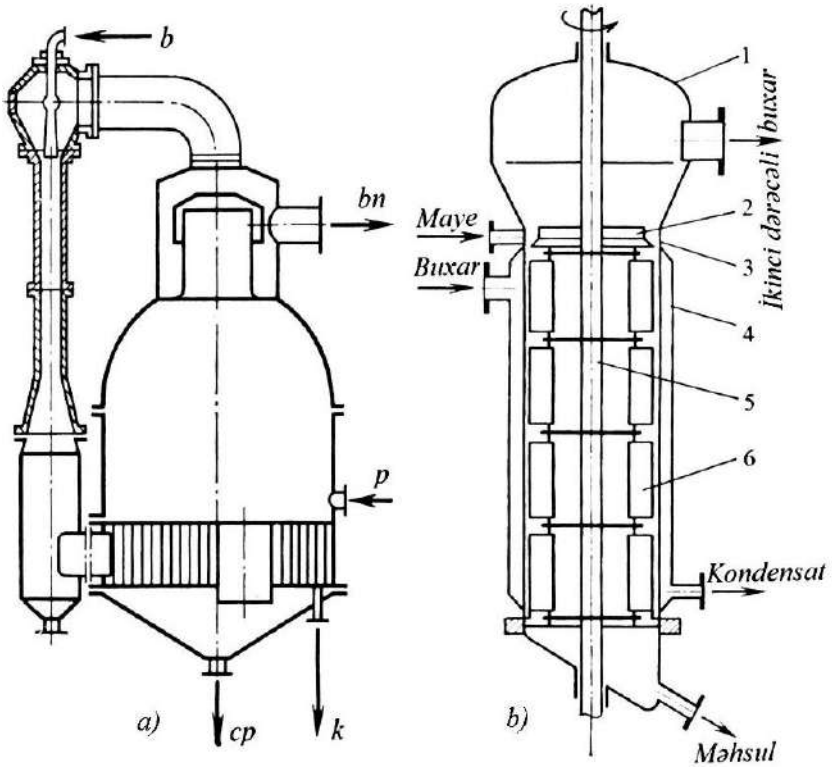
Şək.9.9. Buxarlandırıcı aparatların konstruktiv sxemləri:

a-uzunborulu buxarlandırıcı; *b*-axının stabilləşməsi ilə; *c*-qatılardırıcı vakuüm aparat; *p*-qarışıq; *kp*-qarışıqlı kristallar

0,8...1,0 MPa təzyiqli qızdırıcı buxar injektorda genişlənərək 1000 m/san sürətinə çatır. Yaranan sonuncu effekt hesabına injektor şirə boşluğundan 0,012 MPa təzyiqli ikinci dərəcəli buxarı sovurur (temperatur 52°C) və buxar qarışığının 0,03 MPa təzyi-qə kimi sıxır (temperatur 70°C). İnjeksiya əmsalı 1 kq ilkin buxara düşən ikinci dərəcəli buxarın kütləsinə bərabər olub 0,8...1,0 qiymətinə çatır.

Özlü termolabil (temperatura davamlı olmayan) mayeləri buxarlandırmaq üçün rotorlu-plyonkalı buxarlandırıcı aparatlardan istifadə olunur (şək. 9.10,*b*).

Bu aparatın şaquli korpusu 3 korpusun daxili səthinə istilik verməni təmin edən buxar köynəyi 4 ilə təchiz olunub, qarışıq nazik plyonka şəklində korpusun səthi ilə axır. Maye plyonkasının kiçik termiki müqaviməti hesabına qarışıqın buxarlanma sürəti yüksək olur.



Şək.9.10. Buxar kompressorlu (a) və rotorlu-plyonkəli (b) buxarlandırıcı aparat:

1-separator; 2-paylayıcı qurğu; 3-korpus; 4-buxar köynəyi;
5-val; 6-pərlər

Aparatın korpusunun daxilində rotor yerləşir. Rotor üzərində oynaq pərlər 6 bərkidilmiş şaquli valdan ibarətdir. Rotorun fırlanma tezliyi $1...3 \text{ san}^{-1}$ -dir. Aparatın üst hissəsində separator 1 yerləşir. Paylayıcı qurğu 2 valla birgə fırlanır və daxil olan mayenin aparatın qızdırılan korpusunun daxili səthi ilə nazik layla paylanmasını təmin edir. Yüksək sürətlə fırlanan rotorun pərləri bir tərəfdən mayenin qızdırılan səthə sıxılmasını təmin edir, digər tərəfdən isə onu çıxarır və ərpin yaranmasının qarşısını alır.

Mayenin aparatda qalma müddətinin $10...30$ saniyə olması,

onun əsas üstünlüyüdür. Aparatın əsas çatışmamazlığı onun kiçik məhsuldarlığa malik olmasıdır. Belə ki, bu tip aparatların qızdırıcı səthlərinin sahəsi 25...30 m² olur.

Yoxlama sualları

1. Buxarlanma prosesinin mahiyyəti nədir? 2. Sənayedə buxarlandırma prosesi hansı metodlarla yerinə yetirilir? 3. Buxarlanmanın istilik balansı hansı kəmiyyətlərdən ibarətdir? 4. Çoxkorpuslu buxarlandırıcı aparatlarda qızdırıcı buxara qənaət nəyin hesabına olur? 5. Buxarlandırıcı qurğuların hesabı nədən ibarətdir? 6. Sənayedə hansı buxarlandırıcı qurğulardan istifadə olunur? 7. Buxarlandırıcı aparatların neçə növü mövcuddur? 8. Buxarlandırıcı aparatlar hansı əlamətlərinə görə təsnifatlanır? 9. Təbii sirkulyasiyalı şaquli buxarlandırıcı aparat hansı hissələrdən ibarətdir? 10. Kristallaşan qarışıqların periodik buxarlandıraraq qatılaştırılması üçün hansı aparatdan istifadə olunur? 11. Müxtəlif meyvə şirələrini qatılaştırmaq üçün hansı aparatlardan istifadə olunur? 12. Hansı mayeləri buxarlandırmaq üçün rotorlu-plyonkalı buxarlandırıcı aparatlardan istifadə olunur?

FƏSİL 10 KONDENSASIYA

Kondensasiya buxar və qazın mayeləşmə prosesidir. Qida istehsalında kondensasiya buxarlandırıcı aparatlardan boşalmanın və mayenin qızdırılmasının təmin edilməsində (buxar qızdırıcı istilikdəyişənlərdə), müxtəlif mayeləşmə temperaturlu komponentlərdən ibarət sistemlərin ayrılmasında, soyuducularda, qızdırıcılarda, buxar turbinli qurğularda və s. istifadə olunur.

Kondensatorlar səthli və qarışdırıcı olub, kondensatı təmiz halda saxlamaq üçün (məsələn, soyuducu agentin kondensatı, sıxılan spirt buxarları) istifadə olunur. Bu kondensatorlar spesifik hissəli səthli istilikdəyişənlərdir. Soyuqluq daşıyan, adətən su və ya buxar olmaqla su ilə soyutma axınlı və ya buxarlandırıcı olub.

Qarışdırıcı kondensatorlara düzaxınlı və ya əksaxınlı qarışdırıcı kondensatorlar, həmçinin şırnaqlı (ejektorlu) kondensatorlar aiddir. Bu kondensatorlarda buxar axını su ilə təmasda olur. Qarışdırıcı kondensatorlar "nəm" və "quru" olur. Nəm kondensatorlardan soyuducu su, kondensat və kondensasiya etməyən qazlar nəmli hava nasosu ilə sovrulur. Burada kondensatorlardan hava və qazlar ayrı vakuum nasosla vurulur. Beləliklə, kondensatora buxar və soyuducu mühit (su, hava) verilir, kondensatordan müxtəlif nasoslarla kondensat, hava və başqa kondensasiya etməyən qazlar çıxarılır.

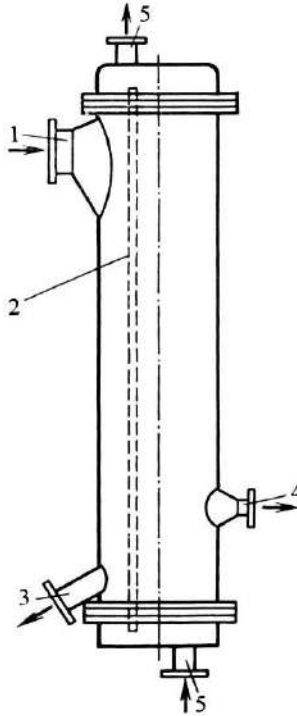
10.1. Səthli kondensatorlar

Səthli kondensatorlara qovma qurğularının müxtəlif deflektor və soyuducuları aiddir. Səthli kondensatorların konstruktiv sxemləri müxtəlifdir (şək.10.1). Şəkillərdə süd sənayesində istifadə olunan köynəkli borulu şaquli kondensator göstərilmişdir. İkinci dərəcəli buxar vakuum aparatında qısa boru 1 vasitəsilə borulararası məsafəyə daxil olur və burada da kondensasiya edir.

Kondensat nazik layla borucuqları xaricdən əhatə edərək aşağı axır və oradan isə nasos vasitəsilə qısa boru 3-dən sovrulur. Buxar-

rın tərkibində olan hava kondensatordan qısa boru 4 vasitəsilə vakuum-nasos və ya ejetor vasitəsilə çıxarılır. Soyuducu su çoxge-
dişli borular dəsti daxilində hərəkət edir, 5 qısa borusuna daxil
olur və oradan da çıxarılır. Aparatın qurğusu kondensatın təmizli-
yini, kondensatın və havanın çıxarılmasına az enerji sərfini təmin
edir.

Kondensatorun çatışmamazlığı böyük qabaritli ölçülərə və
kütləyə malik olmasıdır.

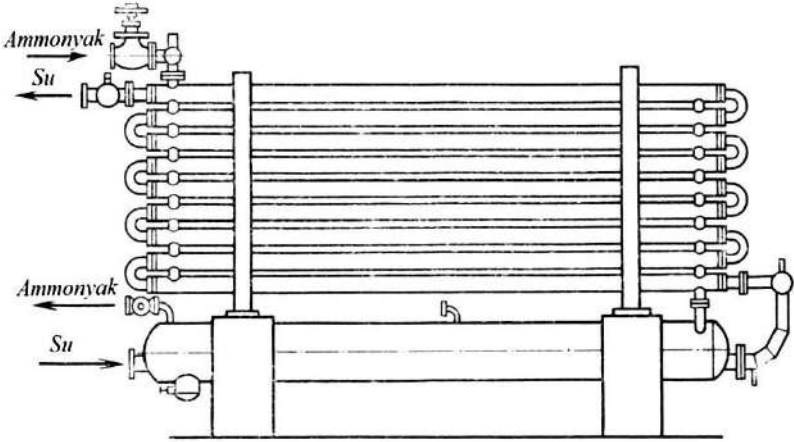


Şək.10.1. Şaquli köynəkli borulu kondensator:

1, 3, 4, 5-qısa borular; 2-borucuqlar

Şəkil 10.2-də soyuducu qurğunun elementli kondensatoru ve-
rilmişdir ki, burada ammonyak buxarları sıxılır. Elementli kon-
densatorlar iki borulu "boru-boruda" kondensatorlarla anoloji
olub, onunla fərqlənir ki, böyük diametrlı borunun daxilində bir

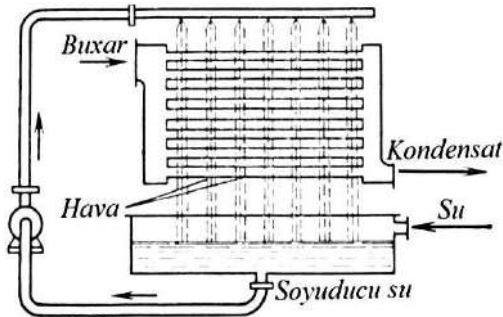
yox, bir neçə kiçik diametrlı borular yerləşir, məsələn 5-7 boru. Boru məsafəsindəki elementlər bir-biri ilə birləşdirici elementlərlə və borulararası məsafə qaynaq olunan qısa borularla birləşir.



Şək.10.2. Soyuducu qurğunun elementli kondensatoru

Soyuducu agent üstədən borulararası məsafəyə verilir, ardıcıl olaraq bu elementlərdən keçir və resiverə axır. Bu tip kondensatorlar ağır və böyük olmasına baxmayaraq yüksək təzyiqdə etibarlı işi təmin edir.

Buxarlandırıcı (və ya suvarıcı-buxarlandırıcı kondensator) borulardan ibarətdir (şək.10.3).



Şək.10.3. Suvarıcı-buxarlandırıcı kondensatorlar

Bu borularda buxar borularının xarici səthini suvaran soyuducu suyun qızdırılması və buxarlanması hesabına kondensasiya edir, həmçinin borular arasında sirkulyasiya edən havanın qızması hesabına soyuducu su yığıcı hovuzdan paylayıcı novlara qayıdır. Buxarlandıqca azalan su yığıcı hovuzdan əlavə olunur. Havanın sirkulyasiyası kondensatorun xarici səthindən buxarın ayrılmasını təmin edir.

Buxarlandırıcı kondensatorlar böyük ölçülü və çoxlu miqdarda birləşdirici elementli olub, adətən onlar binanın xaricində quraşdırılır ki, bu da iş rejimini atmosfer şəraitindən asılı edir. Bəzən hava soyuduculu kondensatorlardan istifadə olunur.

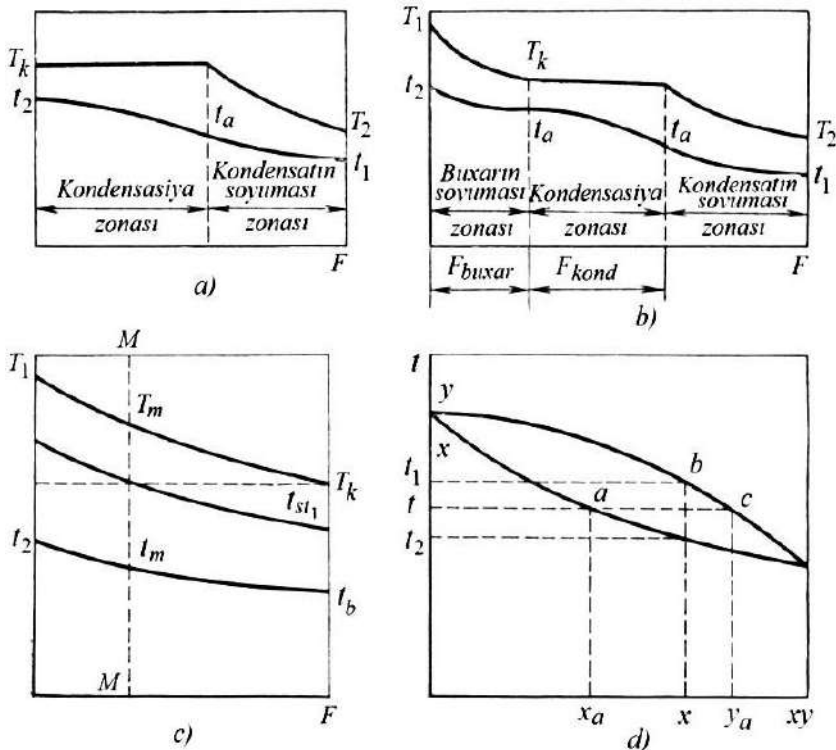
10.2. Səthli kondensatorlarda buxarın kondensasiyası və onların hesabı

Buxar və kondensatın temperaturlarını $T, ^\circ\text{C}$ ilə, divarın və soyuducu suyun temperaturlarını $t, ^\circ\text{C}$ ilə işarə edək (şək.10.4,*a,b,c*).

Doymuş buxarlar buxarlanma istiliyini verərək sabit temperaturda kondensasiya edir. Ancaq kondensatın temperaturu onun çox soyuması səbəbindən adətən T_k - dan aşağı olur (şək.10.4,*a*). Qızdırıcı səthin üst hissəsində əmələ gələn kondensat soyuq səthdən aşağı axaraq onun temperaturunu almağa çalışır. Eyni zamanda soyuyan kondensat buxarla təmasda olaraq qızdırılır. Bu səbəbdən aparatdan çıxan kondensatın temperaturu buxar və soyuq səth arasındakı orta temperaturda olur. Kondensatın çox doyma dərəcəsi ($T_k - T_2$) bir sıra faktorlardan səthin temperaturundan, qızdırıcı səthin yerləşməsindən, buxar tərkibində havanın və kondensasiya etməyən qazların olmasından, aparatın axın hissəsində hərəkət edən buxarın təzyiq itkisindən, axan buxarın miqdarından və s. asılıdır. Kondensatın soyuması aşağıdakı hallarda artır:

- a) kondensatın qızdırıcı səthlə axma yolunun uzanmasında;
- b) kondensasiya edən buxarın miqdarının azalmasında;
- c) kondensasiya temperaturunun azalması nəticəsində təzyiq itkilərinin artmasında (məsələn ilanvari kondensatorların uzun borularında);

d) verilən temperaturda partial təzyiğin düşməsi nəticəsində buxar-qaz qarışığında hava və qazların miqdarının artmasında.



Şəkil 10.4. Səthli kondensatorda kondensasiya zamanı işçi mühitlərin temperaturlarının dəyişməsi

Yalnız kondensasiya üçün nəzərdə tutulan kondensatorların layihələndirilməsində adətən çox soyuma nəzərə alınmır və fərz edilir ki, $T_k = T_2$. Kondensatın həddindən çox soyumasında qızdırıcı səth şərti olaraq iki zonaya ayrılır: kondensasiya və soyuma zonasına. Əksaxın halı üçün işçi mühitlərin temperaturlarının dəyişməsi şəkil 10.4,a-da göstərilmişdir.

Hər bir zonada istilikötürmə əmsalları və temperatur dəyişmələri müxtəlifdir. İstilik yükləri Q (Vt) hər bir zona üçün ayrı tapılır:

$$Q_{kond} = Dr = Wc(t_2 - t_a); \quad (10.1)$$

$$Q_{soy} = Dc_1 = Wc(t_a - t_1), \quad (10.2)$$

burada D - kondensasiya edən buxarların miqdarı, kq/san;
 c_1 - kondensatın xüsusi istilik tutumu, Coul/(kq·K);
 W - soyuducu suyun miqdarı, kq/san;
 C - soyuducu suyun xüsusi istiliktutumu, Coul/(kq·K);
 T_k - kondensasiya temperaturu, °C;
 T_2 - kondensatın çox soyuma temperaturu, °C;
 t_1, t_2 - soyuducu suyun ilkin və son temperaturları, °C;
 t_a - kondensasiya və soyuma zonalarının şərti sərhədin
də suyun temperaturudur, °C.

(10.1) və (10.2) tənliklərindən alınır:

$$(t_2 - t_a) - (t_a - t_1) = \frac{Q_{kond}}{Q_{soy}}. \quad (10.3)$$

Bu tənlikdən t_a təyin olunur və temperatur dəyişməsinin, istilikötürmə əmsallarının və qızma səthlərinin zonalar üzrə tapılmasına imkan verir:

$$F_{kond} = \frac{Q_{kond}}{k_{kond} \Delta t_{kond}}; \quad F_{soy} = \frac{Q_{soy}}{b_{soy} \Delta t_{soy}}. \quad (10.4)$$

Bütün kondensatorlar üçün $F = F_{kond} + F_{soy}$. Çoxdoymuş buxarda kondensator şərti olaraq üç zonaya bölünür (şək.10.4,b). Əgər əksaxında qızdırıcı səthin temperaturu t_{st} kondensasiya temperaturundan böyükdürsə T_k , onda birinci zonada yalnız çoxdoymuş buxarların soyuması baş verir və onun üçün buxardan divara istilik vermə əmsalı α_p qazlar üçün olduğu kimi hesablanır. Kondensasiya $M-M$ kəsiyində divarın kondensasiyası t_{st} kondensasiya temperaturuna T_k çatdıqda başlayır (şək.10.4,c).

T_m və t_m aşağıdakı tənliklərdən təyin olunur:

$$t_{st1} = T_k = T_m \frac{b}{\alpha_p} (T_m - t_m); \quad (10.5)$$

$$Dc_n (T_1 - T_m) = Wc (t_2 - t_m), \quad (10.6)$$

burada c_n - çoxdoymuş buxarın orta xüsusi istilik tutumudur, Coul/(kq·K).

Birinci zonanın istilik yükü

$$Q_p = Dc_n (T_1 - T_m), \quad (10.7)$$

burada T_1 - çoxdoymuş buxarın temperaturudur.

Δt_p və k_p təyin edilərək birinci zonanın qızdırıcı səthi tapılır:

$$F_p = \frac{Q_p}{k_p \Delta t_p}. \quad (10.8)$$

İkinci zonada buxar T_m -dən T_k -ya kimi soyudulduqda kondensasiya edir və buna görə kondensasiya zonasının istilik yükü aşağıdakı kimi olur:

$$Q_{kond} + Q'_p = Dr + Dc_p (T_m - T_k), \quad (10.9)$$

burada Q'_p - buxarın soyuma istiliyidir, Vt.

Kondensasiya zonasının qızdırıcı səthinin sahəsi (m²)

$$F_{kond} = \frac{(Q_{kond} + Q'_p)}{k_{kond} \Delta t_{kond}}. \quad (10.10)$$

Bu sahədə Δt_{kond} -nin hesablanması kondensatın fiziki parametrləri üçün təyinedici temperatur kondensasiya temperaturudur T_k . Xüsusi termiki müqavimətləri təyin etməklə və α_1 və α_2 üçün uyğun oxşarlıq tənliklərinin köməyi ilə istilikötürmə əmsalları hesablanır.

Defleqmatörün və soyuducuların hesablanması üçün sabit təzyiqdə tərkib – temperatur diaqramlarından istifadə olunur (şəkl. 10.4,d). Üfüqi oxla maye qarışığında x və buxar fazasında y asan

qaynayan komponentin molyar payları şaquli oxla qaynama temperaturu göstərilir. Maye və buxar fazaların tərkibləri fərqləndiyindən ($y \neq x$), eyni qaynama temperaturuna x və y əyrilərində eyni zamanda iki nöqtə uyğun gəlir.

Burada qarışan mayələrin diaqramı göstərilmişdir. y tərkibli buxarın kondensasiyası t_1 temperaturunda başlayır və t_2 temperaturunda qurtarır. Aralıq temperaturuna x_a tərkibli kondensat və y_a tərkibli buxar uyğun gəlir, kondensasiya dərəcəsi bc/ac parçalarının nisbətinə bərabərdir.

Kondensatın temperaturunun və tərkibinin fasiləsiz dəyişməsi ilə qızdırıcı səth sonlu fərqlər metodu ilə hesablanır. Bunun üçün t_1-t_2 intervalını 2-3 dərəcəli sahələrə bölürlər və hər sahə üçün qızdırıcı səthi təyin edirlər.

Nəticələri toplayırlar:

$$F = \sum_1^n \Delta F_i = \sum_1^n \frac{\Delta Q_i}{k_i \Delta t_{ori}}. \quad (10.11)$$

10.3. Qarışdırıcı kondensatorlar

Qarışdırıcı kondensatorlar vakuum altında işləyən qurğularda boşluq yaratmaq üçün istifadə olunur. Bəzi hallarda belə kondensatorlar istehsalatı isti su ilə təmin edirlər.

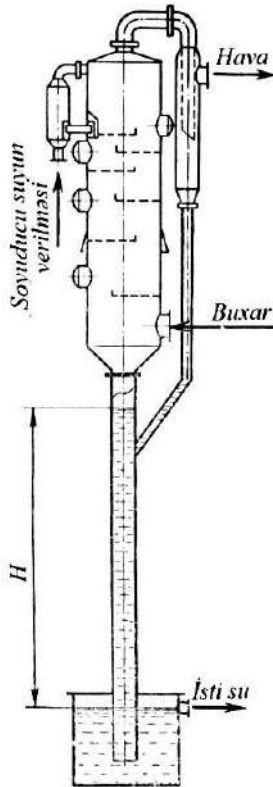
Zavod şəraitində yüksək vakuum almaq vacibdir. Boşalmanın artması əsasən soyuducu suyun temperaturunun azalması və kondensatordan qazların çıxarılması ilə əldə olunur.

Kondenstorlarda ümumi təzyiq su buxarının və havanın parsial təzyiqlərinin cəminə bərabərdir. Havanın fasiləsiz çıxarılması (sovrulması) parsial təzyiqi aşağı salır, vakuumu saxlayır və qazların tıqlanması boşalmanı azaldır. Hava adətən temperatur minimal olan yerdən porşenli və ya su həlqəli nasoslarla sovrulur. Bu halda nasosun kütlə məhsuldarlığı maksimum olur.

Şəkil 10.5-də suyun və buxarın əksaxınlı hərəkətə malik rəfli (kaskadlı) barometrik kondensatoru göstərilmişdir. Soyuq su pulsasiyaları hamarlayan qidalandırıcıdan üst rəfə verilir və kaskadla

rəfdən rəfə aşağı axır. Rəflərdə suyun səviyyəsi səviyyəyə görə quraşdırılan dayaq plankaları ilə nizamlanır. Buxar altıdakı rəfin altına verilir və rəflər arasında olan suda kondensasiya edərək yuxarı hərəkət edir. Rəflərarası məsafə altdan yuxarı buxar miqdarının azalmasına görə azalır. Hava üstədən sıçrayan suayıran tutucudan sovrulur.

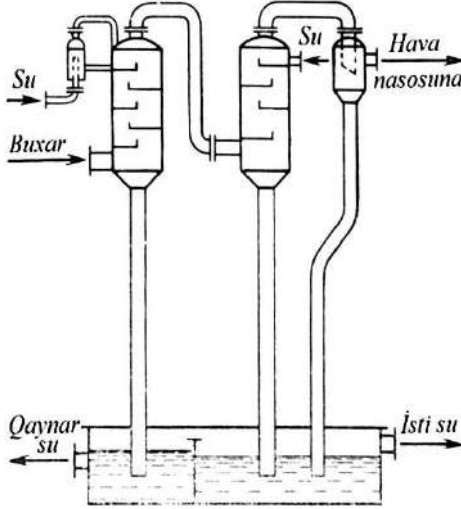
Axıdan (barometrik) boru hidravliki bağlayıcı vəzifəsini yerinə yetirir. O, soyuducu suyun kondensatla qarışıqda bilavasitə nasos quraşdırılmadan axmasını təmin edir. Barometrik boru çənə salınıb, buradan su qurğusunun hündürlüyündən asılı olaraq öz axını ilə və ya nasosla sovrularaq çıxarılır. Sıçrayan sututucusunun borusu çənə salınır və ya əsas barometrik boru ilə birləşir.



Şək.10.5. Qarışdırıcı barometrik kondensator

Şəkil 10.5-də göstərilən kondensator seqment rəfli kondensatordur. Başqa kaskadlı kondensatorlar həlqəli və ya dairəvi (deşikli və deşiksiz) nimçəli olur.

Suyun miqdarı kifayət qədər olduqda kondensasiya bir kondensatorda tam başa çatır. İsti su almaq üçün iki pilləli kondensasiyadan istifadə olunur (şək.10.6).

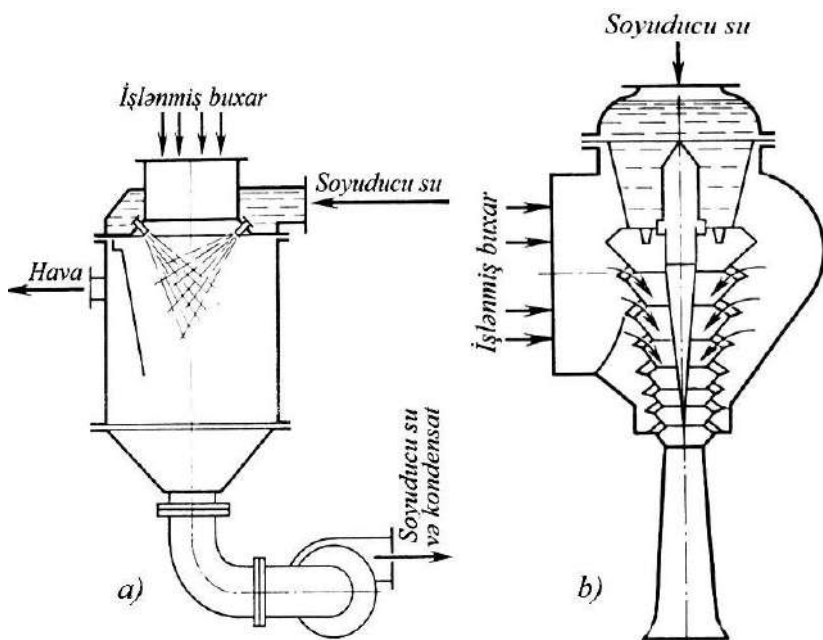


Şək.10.6. İki pilləli barometrik kondensator

Birinci kondensatora su az miqdarda verilir, nəticədə buxar qismən kondensasiya edir və yığıcının birinci bölməsində isti su alınır. Qalan buxar tam kondensasiya üçün əsas kondensatora keçir. İsti suyun temperaturu soyuducu suyun verilməsi ilə nizamlanır.

Başqa tip qarışdırıcılı kondensatorlar da vardır (şək.10.7).

Su və buxar paralel axan qarışdırıcılı kondensatorda su ucluqlarla buxar axınına püskürdülür. Şırnaqlı kondensatorlarda soyuducu su ucluqlarda qarışma kamerasına yüksək sürətlə verilir. Buxarın kondensasiyası onun soyuq su şırnağı ilə təmasda olması zamanı baş verir. Hava su ilə diffuzora yönəlir, burada axının kinetik enerjisi potensial enerjiyə çevrilir, su-hava axınının sürəti düşür, təzyiqi isə artır.



Şək.10.7. Qarışdırıcı kondensatorlar:

- a* - su və buxar paralel axan qarışdırıcı kondensator;
b - şırnaqlı

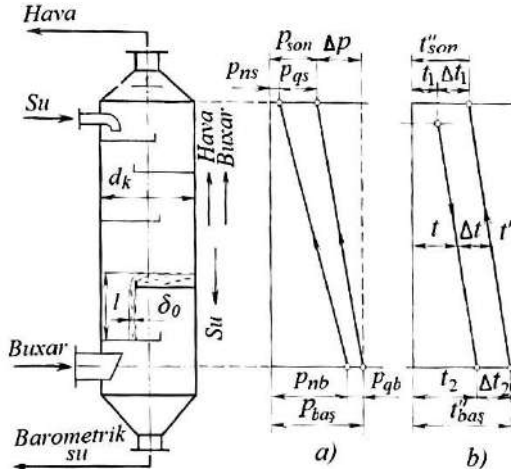
Hava diffuzorda daha yüksək təzyiqlə kimi sıxılır və su ilə xaricə tullanır.

10.4. Kaskadlı kondensatorlarda iş prosesi

Qarışdırıcı kondensatorlarda istilik və kütlə dəyişmə şərtləri müxtəlif hidrodinamik şərtlər hesabına əsaslı şəkildə fərqlənir. Sadə quruluşa malik qarışdırıcı kondensatorlarda mürəkkəb istilik və kütlə dəyişmə prosesi baş verir. Bunun da son nəticəsi olaraq buxarın kondensata çevrilməsinin faza dəyişiklikləri, soyuducu su və kondensat qarışığından kondensasiya etməyən qazların ayrılması baş verir. Qarışdırıcı kondensatorlarda istilik və hidrodinamik proseslərin mürəkkəbliyi onların hesabını çətinləşdirir. Qəbul edilən fərziyyələrin anlaşılması üçün səthli şırnaqlı kaskadlı

qarışdırıcılı kondensatorlarda işçi prosesinin sxemini nəzərdən keçirək (şək.10.8).

Buxar və suyun qarşı-qarşıya hərəkətində buxar örtüyə (su pərdəsi) tərəf gedir və axını kəsərək onları qismən ayırır. Bu halda örtüyün laminar axını parçalanaraq turbulizasiya edir və buxarın bir hissəsi su örtüyü xarici səthində, digər hissəsi isə parçaların səthində kondensasiya edir. Buna görə kondensasiya edən buxarın istiliyi qismən istilikötürmə və qismən konveksiya ilə axan suya ötürülür. Bundan başqa şırnaqların rəflərə düşməsində və örtüyün parçalanmasında damcılar əmələ gəlir, nəticədə buxar axınında dumanın yaranması və həcmi kondensasiya müşahidə olunur.



Şək.10.8. Kaskadlı qarışdırıcılı kondensatorlarda iş prosesinin sxemi:

a - təzyiqlin dəyişməsi; *b* - temperaturların dəyişməsi.

Su ilə təmasda buxarın kondensasiyası çox intensiv baş verir. Fazaların ayrılma sərhəddində baş verən temperatur sıçrayışları 0,01K olur. Buxardan suya istilikvermə əmsalı $2 \cdot 10^5 Vt$ ($m^2 \cdot K$)-yə və kondensasiya səthinin xüsusi kütlə yükləri 1600 kq/($m^2 \cdot$ saat)-a çatır.

Qarışdırıcılı kaskadlı kondensatorların qəbul edilən sadələşdirilmiş hesabat metodikalrında nəzərdə tutulur ki, buxarın konden-

sasiya prosesi kondensatın hündürlüyü boyu qazla qarışmadan və təzyiqlik düşmədən baş verir. Həqiqətdə buxar-qaz qarışığının ilkin həcmi $p_i = p_{nH} + p_{qH}$ olduqda, buxardan qaz qarışıqlarının əsas miqdarı kondensatordan çıxdığı zaman ayrılır.

Hündür kondensatorlarda su örtüklərinin olması buxarın bir neçə dəfə 180° dönməsində yüksək sürəti (40 m/saat) hidravliki müqavimətlər nəticəsində kondensator boyu təzyiqlik düşməsinə (Δp) gətirib çıxarır. Buna görə kondensator boyunca ümumi təzyiqlik p_{nb} -dən p_{ns} -ə kimi düşür və buna uyğun buxarın parsial təzyiqlik p_n -dən p_{ns} -ə kimi azalır. Qazların parsial təzyiqlərinin p_n azalması, həmçinin buxar qaz qarışığında havanın və digər qazların nisbi tərkibi kondensasiya etdikcə artır. p_n -in azalmasına uyğun buxar temperaturu kondensator boyunca altdan yuxarı " t_n "-dən " t_k "-ya kimi azalır. Axan soyuducu su və kondensat qarışığının temperaturu üst rəfdən alt rəfə tərəf t_1 və t_2 temperaturlar diapozonunda artır, $\Delta t = t'' - t$ kondensat boyunca sabit olmur. Deməli, qarışdırıcı kondensatorda işçi prosesi xarakterizə edən bütün parametrlər kondensator boyunca dəyişir və buxardan suya istilikötürmə şərtlərini və kondensasiya sürətini dəyişdirir.

Kaskadlı kondensatorlarda istilik prosesinin kinetikasını təyin edən əsas parametrlər düşmə hündürlüyü l və şırnağın qalınlığı δ_0 , temperatur basqıları Δt_1 və Δt_2 suyun sürətinin düşməsi w_0 , buxar axınının sürəti w_n və onun sıxlığı ρ -dir. Kondensatorun dəqiq hesabında hər kaskad üçün bu parametrlərin lokal qiymətini təyin etmək gərəkdir. Təxmini hesabatda kondensasiya prosesi izobarik və izotermik qəbul edilir.

10.5. Barometrik kondensatorun hesabı

Kondensatorun istilik balansını aşağıdakı şəkildə olur:

$$D(i - ct_2) = Wc_B(t_2 - t_1), \quad (10.12)$$

burada D - buxarın kütlə sərfi, kq/san;

W - suyun kütlə sərfi, kq/san;

i - buxarın xüsusi entalpiyası, Coul/kq;

c - kondensatın xüsusi istilik tutumu, Coul/(kq·K);
 t_1 - soyuducu suyun temperaturu, °C;
 t_2 - barometrik suyun temperaturu;
 c_B - soyuducu suyun xüsusi istilik tutumu, Coul/(kq·K).

Soyuducu suyun xüsusi sərfi

$$m = \frac{W}{D} = (i - ct_2) [c_B (t_2 - t_1)]. \quad (10.13)$$

m kəmiyyətinin qiyməti adətən 1 kq buxara 15-60 kq su təşkil edir. Məlum xüsusi sərfdə m soyuducu suyun kütlə sərfini təyin edirlər.

$$W = mD.$$

İkipilləli kondensasiyanın hesabında adətən barometrik isti suyun lazımı miqdarı W_b verilməlidir ki, bu qiymətlə kondensasiyanın əvvəlində soyuq suyun kütlə sərfi W_1 və buxarın kütləsi D təyin edilir.

Kondensasiyanın əvvəlində istilik balansını aşağıdakı kimi yazılır:

$$(W_b - W_1)(i - ct_2) = W_1 c_B (t_2 - t_1), \quad (10.14)$$

burada $D_1 = W_b - W_1$.

Buradan $c \approx c_B$ olduqda

$$W_1 = W_b = [(i - ct_2)/(i - c_B t_1)]. \quad (10.15)$$

Əsas kondensatorda kondensasiya edən buxarın miqdarı

$$D_2 = D - (W_b - W_1). \quad (10.16)$$

Bütün hallarda kondensatordan çıxan suyun temperaturu t_2 kondensasiya temperaturundan aşağı olmalıdır, əksaxınlı kondensatorda fərq 1-3°C, düzaxınlılarda 5-6°C təşkil edir. Deməli, xüsusi su sərfi əksaxınlı aparatlarda azdır.

Vakuüm nasosun seçilməsi üçün kondensatorun boşluqlarından və vakuüm kommunikasiyalarından keçən buxar və su ilə daxil olan havanın miqdarını bilmək lazımdır. Bu havanın həcmi V_1 (m³/san) temperatur və təzyiqdən asılı olaraq dəyişir və sovrulan

havanın həcmi kondensasiya edən buxarın sərfindən D asılı olur.

$$V_1 = \beta D(273+t)/p_1, \quad (10.17)$$

burada t - nasosa daxil olan havanın miqdarı (adətən $t=25^\circ\text{C}$);

p_1 - sovruilan havanın təzyiqi, Pa;

β - buxarda qaz tərkibini xarakterizə edən təcrübi əmsaldır (sorğu kitablarından qəbul edilir).

Hava nasosunun (izotermiki prosedə) tələb etdiyi güc (nasosun su ilə soyudulmasını nəzərə almaqla), Vt

$$N = 1/\eta_{iz} [2,3 p_1 V_1 \lg(p_2/p_1)], \quad (10.18)$$

burada p_1 - nasosdan əvvəl havanın ilkin təzyiqi, Pa;

p_2 - nasosda havanın son təzyiqi, Pa;

V_1 - sovruilan havaya görə nasosun məhsuldarlığı, m^3/san ;

η_{iz} - nasosun f.i.ə.

Barometrik kondensatorda aşağıdakılar hesablanmalıdır:

1) Kondensatorun məhsuldarlığı – suyun qızma dərəcəsiindən və buna lazım olan su və buxar arasındakı kontakt müddətindən asılıdır;

2) Kondensatorun en kəsiyi (diametri) - kondensatorun məhsuldarlığına və sərbəst kəsikdə buxarın buraxılabilən sürətinə görə təyin edilir;

3) Barometrik borunun hündürlüyü və diametri - suyun sərfinə, onun kondensatordan çıxma sürətinə və orada olan boşalmaya görə hesablanır.

Qeyri-stasionar istilikdəyişmə nəzəriyyəsiindən görünür ki, suyun qızma dərəcəsiindən $E = (t_2 - t_1)/(t_n - t_1)$, ölçüsüz qızma müddəti $F_0 = \alpha\tau/l^2$ və $Bi = \alpha l/\lambda$ kriteriləri ilə xarakterizə edilən suyun buxarla istilikdəyişmə şərtləri arasındakı əlaqə aşağıdakı şəkilə ifadə olunur:

$$E = f(F_0, Bi, \Gamma), \quad (10.19)$$

burada Γ - həndəsi oxşarlıq kriterisi;

t_n - buxarın temperaturudur, $^\circ\text{C}$.

Verilən həndəsi sistem üçün (məsələn, suyun damcıları və ya şırnaqları üçün)

$$E = f(Fo, Bi). \quad (10.20)$$

Verilən ölçülü kondensator üçün E kəmiyyətini və ya E -dən asılı olaraq kondensatorun hündürlüyünü H suyun sərbəstdüşmə müddətindən τ təyin edirlər (san):

$$\tau = \sqrt{\frac{2H}{g}}. \quad (10.21)$$

Təcrübədə kondensatorun əsas ölçüləri buxarın $W=35-55$ m/san sürətində təyin edilən diametrindən (d_k) asılı olaraq tapılır. Buxarın keçməsi üçün sərbəst səth kondensatorun en kəsiyinin sahəsinin 30-37%-nə bərabər qəbul olunur. Kaskadların miqdarı adətən 5-7, üst rəflərin ara məsafəsi $h_{min}=0,3d_k$, alt rəflərin ara məsafəsi $h_{max}=0,6d_k$, orta hesabla $h_{or}=0,4d_k$ qəbul olunur. Qısa borular sürətdən asılı olaraq hesablanır: buxar üçün 40-50 m/san; hava üçün 15 m/san; soyuq su üçün 1 m/san-yə yaxın. Barometrik boruda suyun sürəti 0,3 m/san-yə yaxındır. Barometrik borunun nəzəri hündürlüyü H_t (m) kondensatorun təzyiqinə p_1 uyğun olmalıdır.

$$H_t = 10,33 \left[(p_a - p_1) / p_a \right], \quad (10.22)$$

burada p_a - atmosfer təzyiqidir, Pa.

Nəticədə adi izafi təzyiq üçün barometrik borunun tam uzunluğu 11 m-ə yaxın olur.

Yoxlama sualları

1. Kondensasiya nəyə deyilir? 2. Hansı halda səthli kondensatorlardan istifadə edilir? 3. Səthli kondensatorlara hansılar aiddir? 4. Qarışdırıcılı kondensatorlardan nə zaman istifadə olunur? 5. Defleqmatör və soyuducuların hesabatu üçün hansı diaqramlardan istifadə olunur? 6. Qarışdırıcılı kondensatorlarda ümumi təzyiq hansı təzyiqlərin cəminə bərabərdir? 7. Kaskadlı kondensatorlarda işçi proses necə gedir?

IV HİSSƏ. KÜTLƏDƏYİŞMƏ PROSESLƏRİ



Kütlədəyişmənin əsasları

Kütlədəyişmənin əsas vəzifəsi texnoloji prosesdə yaranan məhsulların təmizlənməsidir. Texnoloji proses nəticəsində konsentrasiya olunmuş və ya təmiz halda alınan maddələr məhsulda adətən az miqdarda olur.

Hazır məhsulda maddənin konsentrasiyası ilkin məhsuldakı konsentrasiyasına nisbətən nə qədər çox olarsa, bir o qədər mürəkkəb kütlədəyişmə prosesi aparılmalıdır.

Kütlədəyişmə proseslərinin təsnifatı aşağıdakı xüsusiyyətlərə: aqreqat halına, fazaların təsir xarakterinə və kontakt üsuluna görə aparılır.

Qida texnologiyasında istifadə olunan maddələr üç aqreqat halında, yəni qaz, maye və bərk halında ola bilər.

FƏSİL 11

KÜTLƏDƏYİŞMƏNİN ƏSASLARI

11.1. Kütlədəyişmə proseslərinin təsnifatı

Kütlədəyişmə proseslərinin fazalara görə təsnifatı aşağıdakı kimidir:

Qaz-maye. Bu halda eyni komponentlər bu fazaların hər birində olur, amma tarazlıq şəraitində bu komponentlərin nisbəti hər fazada müxtəlifdir. Komponentlərin ayrılması qovma (distillə) və ya rektifikasiya ilə əldə olunur. Məsələn, əgər etil spirtinin məhlulu qismən suda buxarlandırılırsa, onda yaranan buxarda etil spirtinin nisbi tutumu çox, qalan mayedə isə ilkin məhlula nisbətən az olur. Əgər əmələ gələn buxarı mayedən ayıraraq kondensasiya etsək, nəticədə iki maye alınır ki, birində etil spirtinin konsentrasiyası həm ikinci mayedən, həm də ilkin məhluldan çox olacaqdır. Bu

əməliyyatların ardıcıl aparılması yüksək dərəcədə ayrılmanı təmin edir.

Əgər komponent bir-birində həll olmayan və ya az həll olan iki maddədən ibarətdirsə, onda komponentin tarazlıq halı baş vermədən qaz şəkilli fazadan maye fazaya keçməsi adsorbsiya prosesini, əks keçid, yəni mayedən qaz şəkilli fazaya keçmə isə desorbsiya prosesini təşkil edir. Məsələn, ammonyak hava buxarını təmiz su ilə birləşdirdikdə, ammonyakın çox hissəsi suya keçir və hava ammonyakdan nisbətən təmizlənər. Əgər su-ammonyak məhlulu hava ilə qarışdırılırsa, onda ammonyakın bir hissəsi havaya keçəcək, su və ammonyakın ikinci dəfə ayrılması baş verəcəkdir. Əgər komponentin fazadan fazaya keçməsi zamanı mayenin miqdarı dəyişirsə, bu halda qurutma və ya nəmləndirmə prosesi baş verir. Məsələn, süd damcılarının qaynar hava ilə təması südün qurudulmasına gətirir.

Qaz-bərk cisim. Bərk haldan qaz halına keçmə prosesi sublimasiya adlanır. Beləliklə, qida məhsullarından, suyun bu üsulla ayrılması qurutmanın inkişaf etmiş növündəndir. Cismin səthində və ya boşluqlarında maye faza yerləşən sistemə istilik verdikdə bu mayenin buxara keçməsi qurutma adlanır. Məsələn, meyvə, tərəvəzlərin qurudulması zamanı bərk cismin daxilindən maye və ya buxar halında nəmliyin çıxarılması, sonra bərk cismin səthindən buxarın çıxarılması kütlədəyişmə prosesidir.

Bir və ya bir neçə komponentin qaz şəkilli fazadan bərk fazaya keçməsi adsorbsiya və ya ion dəyişməsi (mübadiləsi) prosesidir. Əgər havada su buxarı silikagellə təmasda olarsa, onda su buxarı silikagellə nüfuz edəcək, orada tutularaq saxlanacaq və hava nəmədən təmizlənəcəkdir (quruyacaq).

Maye-maye. Belə ayırma iki bir-birində həll olmayan mayelər sistemində baş verir. Bu mayelər tarazlıq şəraitində ayrılacaq mayeyə daxildir. Məsələn, etil spirtində izobutanol məhlulu həll edilərsə, onda bu komponentlərin müəyyən nisbətində biri-birində həll olmayan iki maye, yəni iki faza əmələ gəlir. Bunların birində izobutanolun miqdarı etil spirtinə nisbətən ilkin məhluldakından çox, ikincidə isə ilkin məhluldakından az olur. Bu iki fazanı biri-

birindən ayırdıqda və az butanol tərkibli məhlulu su ilə təmasa gətirdikdə, izobutanol suya diffuziya edəcək və etil spirtinin və izobutanolun daha dərin ayrılması baş verəcəkdir. Komponentlərin belə ayrılma üsulu maye ekstraksiya adlanır.

Maye-bərk cisim. Tərkibində komponentlərin miqdarı az olan kristal əridikdə bu ərintidən yenidən kristal əmələ gəlir ki, bunun tərkibində komponentlərin miqdarı daha da az olur, belə ayırma fraksiyası kristallaşma adlanır. Bu üsul xüsusi təmiz maddələr almağa imkan verir.

Əgər hər iki faza paylayıcı və ya neytral maddələdirsə, məqsədli komponent bərk fazadan mayeyə keçir - belə proses bərk cisim-maye sistemində ekstraksiya adlanır.

Maye fazadan bərk fazaya maddənin keçməsi, adətən adsorbsiya və ya ion dəyişməsi prosesində baş verir. Məsələn, müxtəlif qida məhsulları hazırlamaq üçün məhsulda xoşagəlməyən iy ola bilər. Belə maddələr məhsulun aktivləşdirilmiş kömür ilə təması nəticəsində təmizlənir. Bu zaman məhsulun keyfiyyətini pisləşdirən komponentlər bərk cismin səthi ilə tutulur.

Qaz-qaz və bərk cisim-bərk-cisim. Komponentlərin ayrılması üçün qaz-qaz sistemi fazaların xüsusi təmas üsullarında istifadə olunur, çünki qazlar biri-birində tam həll olur və bir ümumi faza əmələ gətirir. Bərk-bərk sistemi sənaye kütlədəyişmə proseslərində istifadə oluna bilməz, çünki bu cisimlərin xarici səthlərini tam kontakta gətirmək mümkün deyildir.

Fazalararası kontakt üsuluna görə proseslər kontaktların bilavasitə təması ilə ayrılana və membranlardan keçərək ayrılanlara bölünür. Birinci tip proseslərə yuxarıda göstərilən bütün proseslər aiddir.

11.2. Qazın tərkibini ifadə etmə üsulları

Kütlədəyişmə prosesində iştirak edən hər bir faza bir neçə komponentdən ibarətdir. Fazaların fiziki xassələri, hərəkətedici qüvvə, prosesin istiqaməti və sürəti onun tərkibindən asılıdır, faza tərkibi isə kütlə, mol və həcm konsentrasiyaları ilə ifadə olunur.

Kütlə konsentrasiyası komponentin kütləsinin məhlulun kütləsinə olan nisbətində bərabərdir. Məsələn, kütlələri uyğun olaraq M_1, M_2, \dots, M_n (kq) n komponentlərindən ibarət olan binar məhlul üçün i komponentinin kütlə konsentrasiyası

$$c_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}. \quad (11.1)$$

Bu halda

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1. \quad (11.2)$$

Bərk fazası olmayan sistem üçün kütlə konsentrasiyası maye-də a və ya x ilə, qaz fazasında y ilə işarə olunur.

Komponentlərin mol sayının fazanın ümumi mol sayına nisbəti mol konsentrasiyası adlanır. Beləliklə, N_1, N_2, \dots, N_n (kmol) miqdarında olan n komponentlərindən ibarət fazada N_i miqdarında olan i komponentinin mol konsentrasiyası

$$x_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n N_i}; \quad (11.3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1. \quad (11.4)$$

Həcmi kütlə konsentrasiyası 1 m^3 fazada kiloqram sayı ilə ifadə olunur.

$$c_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (11.5)$$

burada V_1, V_2, \dots, V_n - hər bir komponentin tutduğu həcməldir.

Həcmi mol konsentrasiyası komponentin mol sayının N_i həcmə nisbətidir.

$$c_i^* = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^n V}. \quad (11.6)$$

Nisbi kütlə konsentrasiyası komponentin kütləsinin M_i proses ərzində dəyişməyən komponentin M_0 kütləsinə nisbətidir.

$$x_i = \frac{M_i}{M_0}. \quad (11.7)$$

Uyğun olaraq nisbi mol konsentrasiyası da həmin komponentlərin mol sayına nisbəti olacaqdır.

$$x_i^* = \frac{N_i}{N_0}. \quad (11.8)$$

11.3. Fazaların tarazlığı

Kütlədəyişmə prosesinin gedişinin əsas şərti fazalar arasındakı tarazlığın pozulmasıdır ki, bu da temperatur, təzyiq və ya faza tərkibi dəyişdikdə baş verə bilər. Bu halda proses tarazlıq bərpa olunana kimi davam edəcəkdir.

Prosesin getməsi üçün fazalar təmasa gətirildikdə, bu təmas səthi nə qədər çox olarsa və konsentrasiya tarazlıq konsentrasiyasından nə qədər çox fərqlənərsə kütlədəyişmə prosesinin sürəti bir o qədər çox olar. Sistem tarazlığa yaxınlaşdıqda onun hərəkətedici qüvvəsi və sürəti azalır.

Tarazlıq halında olan hər hansı bir komponentin (daşıyıcıdan başqa) bir fazadakı hər konsentrasiyasına digər fazada müəyyən konsentrasiya uyğun gəlir.

$$c_1^* = f(c_2), \quad (11.9)$$

burada c_2 - komponentin bir fazada konsentrasiyası;

c_1^* - həmin komponentin digər fazada tarazlıq konsentrasiyasıdır.

Komponentlərin həqiqi konsentrasiyalarını və tarazlıq səthlərini bilərək prosesin istiqamətini təyin etmək olur. Tarazlıq halı Qibsin faza qanununa tabe olur. Yalnız temperatur və təzyiqlik təsir edən tarazlıq termodinamik sistemə sərbəstlik dərəcəsi S komponentlərin sayından K faz ədədini Φ çıxaraq iki əlavə etməklə alınır:

$$S = K - \Phi + 2. \quad (11.10)$$

Bir komponentli taraz sistem tarazlıqda olan bir, iki və ya üç fazadan ibarət ola bilər. Faza qanununa uyğun olaraq birinci halda $S=1-1+2=2$. Deməli, əgər həcmdə yalnız su buxarı varsa, onda temperatur və təzyiqlik böyük sərhəddə dəyişə bilər o vaxta qədər ki, yeni faza yaransın (maye və ya buz). İki faza üçün $S=1-2+2=1$. Bu o deməkdir ki, əgər qapalı sistemdə su və ya su buxarı tarazlıqdadırlarsa, onda təzyiqlik və temperatur bir-biri ilə sərbəstliklə bağlıdır, yəni hər bir temperatura müəyyən təzyiqlik uyğun gəlir. Əgər həmin temperaturda təzyiqlik artırmağa çalışsaq, onda bu suyun buxarlanmasına gətirib çıxaracaq, suyun hamısı buxarlanmasa təzyiqlik qaldırmaq mümkün olmayacaqdır. Təzyiqlik aşağı salmaq istəsək, buxar kondensasiya edəcək və yalnız buxar fazası yox olduqdan sonra yeni təzyiqlik tarazlı sistem əldə ediləcəkdir. Beləliklə, ikifazlı bir komponentli sistem üçün bir parametri, yəni təzyiqlik və ya temperaturu seçmək olur. Üç faza- buz, su və su buxarı olduqda yalnız temperatur və təzyiqlik bir qiymətində mövcud ola bilər ($S=1-3+2=0$), yəni sistemin sərbəstlik dərəcəsi yoxdur.

Tarazlıq şərtləri məsələsi çox komponentli sistemlərdə analogi olaraq həll olunur. Həqiqətən də burada təzyiqlik və temperaturdan başqa komponentlərin konsentrasiyası da dəyişə bilər. İki fazadan ibarət olan binar sistem üçün $S=2-2+2=2$ olur, yəni iki və ya dörd komponentin dəyişdirilməsi ilə tarazlıq şərtləri əldə oluna bilər.

Belə ki, maye və buxar fazasından ibarət etil spirti–su sistemində aşağıdakı cüt parametrlər, yəni bir fazanın temperatur və konsentrasiyası ($t-c_1$), digər fazanın təzyiqlik və konsentrasiyası ($p-c_2$) və ya fazaların konsentrasiyası (c_2-c_1) dəyişə bilər.

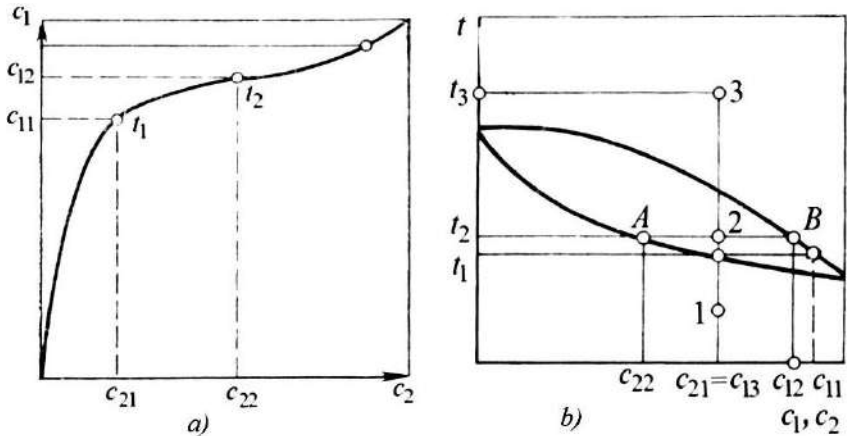
Qeyd olunan ikifazlı iki komponentli sistemin bir fazasının

hər bir təzyiq p və konsentrasiyasına c_2 müəyyən konsentrasiya c_1 və temperatur t uyğun gəlir (şək.11.1,a).

Əgər hərfin yanındakı indeks iki rəqəmdən ibarətdirsə onun biri faza sayını, ikincisi isə bu kəmiyyətin sıra sayını göstərir. Məsələn, c_{21} - birinci nöqtədə ikinci fazanın konsentrasiyasını göstərir. Tarazlıq səthində fazaların konsentrasiyalarının nisbəti paylama əmsalı adlanır.

$$m = \frac{c_1^*}{c_2} \quad (11.11)$$

İki komponentli sistemlərin tarazlı parametrlərini göstərmək üçün izobar diaqramından t - c_1 - c_2 (şək.11.1,b) istifadə etmək olar. Bu diaqramda alt əyri qaynama əyrisi, üst əyri isə kondensasiya əyrisi adlanır.



Şək.11.1. İkifazlı iki komponentli sistemin tarazlıq diaqramı:

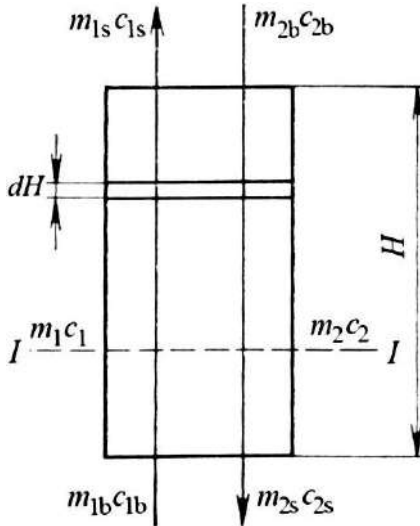
a - c_2 - c_1 diaqramı; *b* - t - c_1 - c_2 diaqramı

t_1 izotermasına mayenin qaynama c_{21} və buxarlanma c_{11} konsentrasiyaları uyğun gəlir. Diaqramda 1 nöqtəsinə qaynama temperaturuna çatmamış c_{21} tərkibli maye uyğun gəlir, 2 nöqtəsinə t_2 temperaturunda qaynayan ikifazlı sistem uyğun gəlir ki, onun

maye fazasının tərkibi c_{22} , buxar fazasının tərkibi c_{12} -dir. Buxar və maye fazalarının tərkibi $A2$ və $2B$ kəsiklərinin nisbəti ilə tərs mütənəsbdir, sistemin orta konsentrasiyası - c_{21} -dir. 3 nöqtəsinə di-aqramda c_{21} tərkibli və t_3 temperaturu çoxdoymuş buxar uyğun gəlir.

11.4. Kütlədaşıma prosesinin material balansı

Fasiləsiz kütlədaşıma prosesinin aparılma üsullarından ən səmərəlisi əks istiqamətli olmasıdır ki, burada G və L fazası qarşı-qarşıya hərəkət edir (şək.11.2). Qəbul edək ki, yuxarıdan aparata komponentlərin birinin konsentrasiyası c_{2b} olan m_{2b} (kq/san) maye daxil olur, aşağıdan isə c_{2s} konsentrasiyalı m_{2s} (kq/san) maye ayrılır. Burada "b" və "s" indeksləri kütlənin başlanğıc və son sərfini göstərir. Aşağıdan aparata həmin komponentin konsentrasiyasında m_{1b} qaz şəkilli faza daxil olur, üstündən isə c_{1s} konsentrasiyalı m_{1s} (kq/san) qaz çıxarılır.



Şək.11.2. Əksaxınlı kütlədaşıma aparatında ikifazlı axınların hərəkət sxemi

Beləliklə, aparata ($m_{2b}+m_{1b}$) maddə daxil olur və ($m_{2s}+m_{1s}$) maddə çıxarılır. Əgər cüzi itkiləri nəzərə almasaq və fasiləsiz prosesin dayanıqlı olmasını nəzərə alsaq, onda

$$m_{2b} + m_{1b} = m_{2s} + m_{1s}, \text{ kq/san.}$$

Baxılan komponent üçün bütün aparat üzrə balans aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$m_{2b}c_{2b} + m_{1b}c_{1b} = m_{2s}c_{2s} + m_{1s}c_{1s}. \quad (11.12)$$

Aparatın alt hissəsində olan 1-1 kəşiyi sahəsini nəzərdən keçirək. Bu sahə üçün material balansı aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$m_2c_2 + m_{1b}c_{1b} = m_{2s}c_{2s} + m_1c_1.$$

Kütlədəyişmə proseslərinin çoxunda hər fazanın kütlə sərfi dəyişməz hesab edilə bilər, yəni $m_{2b}=m_{2s}=m_2$ və $m_{1b}=m_{1s}=m_1$. Bunları nəzərə alsaq tənlik aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$c_1 = \frac{m_1}{m_1c_2} + \frac{m_1c_{1b} + m_2c_{2s}}{m_1}. \quad (11.13)$$

(11.13) tənliyi prosesin işçi xətti adlanır. O, aparatın hər hansı kəşiyində hesabat aparılan konsentrasiyaları arasındakı əlaqəni təyin edir.

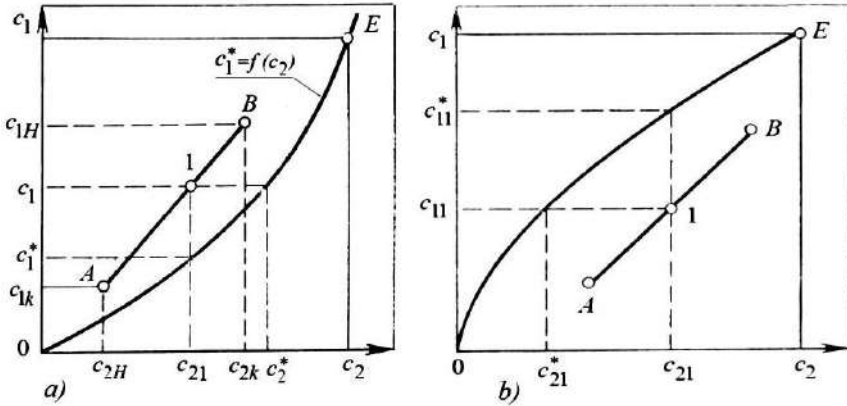
Aydın görmək olar ki, əgər m_2/m_1 nisbəti faza sərfinin nisbətini q göstərsə, (11.13) tənliyi düzxətt tənliyi olaraq prosesin işçi xətti adlanır (burada tənliyin bütün kəmiyyətləri sabitdir). Bu xəttin maillik bucağının tangesi ədədi olaraq fazalar sərfinin nisbətinə bərabərdir.

Kütlədəyişmə prosesinin işçi xətti (AB xətti, şəkl.11.3,*a*) verilmişdir. A nöqtəsinə aparatın üst kəşiyində c_{2b} , c_{1s} konsentrasiyaları uyğun gəlir (şəkl.11.2), B nöqtəsinə aparatın alt kəşiyində c_{2s} və c_{1b} konsentrasiyaları uyğun gəlir.

İşçi xəttin və tarazlıq xəttinin yerləşməsinə görə bu prosədə baxılan komponentin hansı istiqamətdə getdiyini görmək olar.

Əgər işçi xətt tarazlıq xəttinin üstündə yerləşirsə (şəkl.11.3,*a*),

onda işçi xəttin hər bir nöqtəsi üçün, məsələn, 1-nöqtəsi baxılan komponentin qaz fazasında konsentrasiyası tarazlıq konsentrasiyasından çox $c_1 > c_1^*$, maye fazada isə $c_2 < c_2^*$ az olacaqdır. Deməli, bu komponent qaz fazasından maye fazasına keçir. Əgər işçi xətt tarazlıq xəttinin altında yerləşirsə, onda şəkil 11.3, b-dən görüldüyü kimi, hər hansı 1 nöqtəsi üçün $c_1 < c_1^*$ və $c_2 < c_2^*$ olacaqdır və baxılan komponent maye fazasından qaz fazasına keçəcəkdir.



Şək.11.3. Bir fazadan digər fazaya keçiddə komponentin əsas axını üçün işçi (AB) və tarazlıq (OE) xəttləri:
a - qaz fazadan maye fazasına keçiddə;
b - maye fazadan qaz fazasına keçiddə

Şekillərdə verilən (şək.11.3) diaqramlar həm komponentin hansı istiqamətdə hərəkət etdiyini və həm də aparatın əsas parametrlərini təyin etməyə imkan verir.

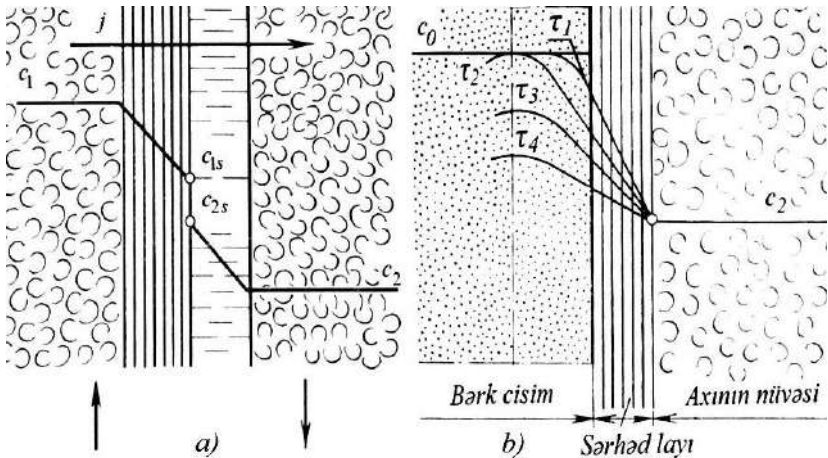
11.5. Kütləötürmə prosesinin mexanizmi

Baxılan kütlədəyişmə proseslərinin çoxu bir-biri ilə biləvasitə təmasda (kontaktda) olan iki faza arasında baş verir. Bu səbəbdən maddənin bir fazadan digərinə keçməsi bir neçə mərhələdə baş verir, yəni bir fazanın dərinliyindən fazalar ayrılan səthə, fazalar ayrılan səthdən ikinci fazanın dərinliyinə keçir. Bu zaman biri qaz-

maye və maye-maye sistemləri üçün xarakterik olan, yəni bərk fazası olmayan sistemlər üçün və ikincisi bərk fazalı sistemlər üçün (bərk cisim-qaz, bərk cisim-maye) iki hal müşahidə olunur.

Bərk fazası olmayan kütlədaşıymə sadələşmiş şəkildə aşağıdakı kimi göstərilə bilər. Hər fazanın əsas həcmində axının nüvəsi adlanan bütün kütlənin qarışması baş verir, fazaların ayrılma səthində nazik lay olan sərhəd layı laminar hərəkət edir. Kütlədaşıymə istiqamətində j maddəsinin axını əsasən konvektiv diffuziya hesabına baş verir və bu səbəbdən hesab etmək olar ki, bu zonada konsentrasiya dəyişməsi o qədər də olmur. Fazada orta konsentrasiya (c_j) və fazalar ayrılan səthdə $c_{1səth}$ tarazlıq konsentrasiyası arasındakı fərq əsasən sərhəd layına düşür ki, burada kütlədaşıymə istiqamətində maddənin aparılması molekulyar diffuziya yolu ilə həyata keçirilir (şək.11.4,a). Bu kütlədaşıymə modeli üzrə bütün diffuziya müqaviməti sərhəd layında cəmlənir.

Əgər fazaların biri bərk cisimdirsə, onda sistemdə kütlədaşıymə şəkildəki kimi baş verəcəkdir (şək.11.4,b).



Şək.11.4. Sistemdə kütlədaşıymə:

a - bərk fazasız sistemdə; *b* - bərk fazalı sistemdə

Bərk cisimdə maddənin ötürülməsi praktiki olaraq molekulyar diffuziya yolu ilə baş verir və cismin daxilində maddə axını istiqə-

məndə konsentrasiyanın dəyişməsi əyri xətt ilə təyin olur. Prosesin gedişi ilə xəttin forması dəyişir.

11.6. Kütləvermə

Maye (qaz) fazada maddənin ötürülmə mexanizminin öyrənilməsi ilə təyin edilmişdir ki, mühitin molyar hissələrinin çox miqdarda molekullarının fazaların ayrılma sərhədinə hərəkəti hesabına, yəni konvektiv diffuziya hesabına axın baş verir. Sərhəd layda isə molekulyar diffuziya hesabına baş verir. Fazaların ayrılma sərhədinə toplam (cəmi) kütlə ötürməsi kütləvermə adlanır.

Konvektiv diffuziyanın sürəti mühitin konsentrasiyasından, onun fiziki xassələrindən və sürətindən (xarakterindən) asılıdır. Konveksiya sərbəst və məcburi olur.

Sərbəst konveksiyada maddənin hərəkəti mayenin müxtəlif hissələrində yaranan konsentrasiyalar və ya temperaturlar fərqinin yaratdığı sıxlıqlar fərqinin hesabına baş verir. Məcburi konveksiyada hərəkət xarici faktorlar hesabına (nasos, qarışdırıcı və s.) yaranır.

Praktiki hesablar üçün kütləvermə prosesi aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$dM = \beta(c_{2n} - c_2)dFd\tau. \quad (11.14)$$

Bu tənlikdəki mətənasiblik əmsalı olan β kütləvermə əmsalı adlanır. Fazaların ayrılma sərhəddində konsentrasiya c_{2n} , axının nüvəsində (mərkəzində) isə c_2 təşkil edir.

Kütləvermə əmsalının ölçü vahidi

$$[\beta] = \frac{kq}{m^2 \cdot san \cdot \frac{kq}{m^3}} = \frac{m}{san}.$$

Kütləvermə əmsalının ədədi qiyməti 1 saniyə ərzində 1 m^2 səthdən ötürülən konsentrasiyalarının fərqi 1 kq/m^3 olan maddənin miqdarına bərabərdir.

Kütləvermə əmsalı istilikvermə əmsalı kimi mühitin fiziki xassələrindən, mayenin (qazın) hidrodinamiki hərəkət şərtlərindən, həndəsi faktorlardan (aparatin və onların elementlərinin forma və ölçülərindən) asılı kinetiki əmsaldır.

Nəzərə almaq lazımdır ki, (11.14) tənliyi kütləvermə prosesinin həqiqi fiziki mahiyyətini əks etdirmir. Buna baxmayaraq öz sadəliyinə görə bu tənlik texnikada geniş istifadə olunur.

Müxtəlif şərtlərlə prosesin gedişi üçün kütləvermə əmsalı eksperimental yolla təyin edilir. Eksperimentin nəticələri adətən ümumiləşmiş şəkildə verilir.

Kütləvermə əmsalı bir çox parametrlərin funksiyasıdır. Həmin parametrlərin ən əsasları diffuziya əmsalı D , axının sürəti w , sıxlığı ρ , özlülüyü η , həndəsi ölçüləri l və s.-dir.

$$\beta = f(D, w, \rho, \eta, l_1, l_2, \dots). \quad (11.15)$$

Kütləvermə əmsalının hesabı üçün kriteriyaların asılılıqları adətən aşağıdakı formada verilir:

$$Nu_d = A Re^m Pr_d^n. \quad (11.16)$$

Nusseltin diffuziya ədədi $Nu_d = \frac{\beta l}{D}$ - kütləvermə əmsalının

ölçüsüz formasıdır. Prandtlın diffuziya kriteriyası $Pr_d = \frac{\nu}{D}$ fiziki

konstantalardan ibarətdir və molekulyar özlülük əmsalının molekulyar diffuziya əmsalına nisbətidir. Bu əmsalın dərin fiziki mənası ondadır ki, kinematik özlülük əmsalı sürət sahəsinin formalaşmasına təsir etdiyi kimi, konsentrasiyalar sahəsinin formalaşmasına da molekulyar diffuziya əmsalı təsir edir. Deməli, əgər Prandtl kriteriyası qazlarda olan kimi vahidə yaxındırsa, onda birfazlı axında sürət və konsentrasiyaların profilləri oxşar olacaqlar.

Mayələr üçün Prandtl kriteriyası vahiddən çox böyükdür, deməli, axında sürətlərin profili də konsentrasiyaların profilindən çox fərqlənəcəkdir.

11.7. Bərk fazası olmayan sistemdə kütləötürmə

Yuxarıda göstərilən bərk fazası olmayan sistemdə kütləötürmə mexanizmi bu prosesin rekuperativ aparatlardakı istilikdəyişmə prosesi ilə eynidir. Bu imkan verir ki, prosesin hesabı üçün hər bir proseslərin ümumi kinetik asılılığını tam ifadə edən kütləötürmənin əsas tənliyindən istifadə edilsin. Prosesin sürəti hərəkətedici qüvvə ilə düz, müqavimətlə tərs mütənasibdir.

Prosesin sürəti tənliyindən alınır:

$$M = k\Delta cF, \quad (11.17)$$

burada M - bir fazadan digərinə vahid zamanda ötürülən maddənin kütləsidir, kq/san;

k - sürət və ya kütləötürmə əmsalı, kq/(m²san);

Δc - prosesin hərəkətedici qüvvəsi, kq/kq;

F - fazaların kontakt sahəsidir, m².

(11.17) tənliyi kütləötürmənin əsas tənliyi adlanır. Kütləötürmə əmsalı hər bir fazada kütlədəyişmə prosesinin sürətini xarakterizə edən xüsusi kütləvermə əmsalları ilə ifadə olunur. Bərk fazası olmayan sistemdə kütləötürmə sxeminə (şək.11.4,a) uyğun olaraq yazıla bilər:

$$dM = \beta_1(c_1 - c_{1,svt})dF_1; \quad (11.18)$$

$$dM = \beta_2(c_{2,svt} - c_2)dF_2, \quad (11.19)$$

burada β_1, β_2 - müvafiq fazalarda kütləvermə əmsallarıdır.

(11.13) tənliyinin sadə həllini nəzərdən keçirdikdə, burada tarazlıq xətti düz xətt olur:

$$c_1^* = mc_2, \quad (11.20)$$

burada m - tarazlıq xəttinin maillik bucağının tangensidir;

c_1^* - digər fazanın axınının nüvəsindəki konsentrasiya ilə tarazlıqda olan verilən fazanın konsentrasiyasıdır.

Fazalar ayrılan səthdə müvafiq olaraq

$$c_{1syt} = mc_2. \quad (11.21)$$

(11.20) və (11.21) tənliklərindən alınır:

$$c_2 = \frac{c_1^*}{m} \quad \text{və} \quad c_{2syt} = \frac{c_{1syt}}{m}.$$

Bu qiymətlər (11.19) tənliyində yazıldıqda

$$dM = \beta_2 \frac{dF}{m} (c_{1syt} - c_1^*). \quad (11.22)$$

alınır.

(11.18) və (11.22) tənliklərindən hərəkətedici qüvvəni ayırıb

$$(c_1 - c_{1syt}) = \frac{dM}{\beta_1 dF}; \quad (c_{1syt} - c_1^*) = \frac{mdM}{\beta_2 dF}$$

və bu bərabərliklərin sağ və sol tərəflərini toplayaraq alırıq:

$$(c_1 - c_1^*) = \frac{dM}{dF} \left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{m}{\beta_2} \right). \quad (11.23)$$

Prosesin hərəkətedici qüvvəsinin hansı fazanın konsentrasiyası ilə ifadə olunmasından asılı olaraq kütləötürmənin əsas tənliyi iki variantda verilə bilər:

$$dM = k_1 (c_1 - c_1^*) dF; \quad (11.24)$$

$$dM = k_2 (c_2^* - c_2) dF. \quad (11.25)$$

(11.23) və (11.24) tənliklərinin müqayisəsindən görünür ki,

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2}. \quad (11.26)$$

Hərəkətedici qüvvəni ikinci fazanın konsentrasiyası ilə ifadə etdikdə, yəni (11.18) tənliyində konsentrasiya (11.20) və (11.21) tənliklərinin köməyi ilə əvəz edilərsə, onda

$$\frac{1}{k_2} = \frac{1}{\beta_1 m} + \frac{1}{\beta_2}, \quad (11.27)$$

m - sabit kəmiyyət şərti ilə (11.27) tənliyinin hər iki tərəfini m -ə vursaq və (11.26) tənliyi ilə müqayisə etsək, $mk_1 = k_2$ alarıq.

(11.27) tənliyinin sağ hissəsindəki kəmiyyətlərin hər biri fazalardan birinin diffuzion müqavimətini ifadə edir. Əgər birinci diffuzion müqavimət ikinciyyə nisbətən çox azdırsa $\frac{1}{\beta_1 m} \ll \frac{1}{\beta_2}$ və ya

$\beta_1 \rightarrow \infty$, demək olar ki, $k_2 \approx \beta_2$, yəni birinci fazanın diffuzion müqavimətini nəzərə almamaq olar. Əgər ikinci fazanın diffuzion müqavimətini nəzərə almamaq olarsa, onda $k_2 \approx \beta_1 m$ olar.

O halda, əgər m kəmiyyəti sabit deyilsə, yəni tarazlıq xətti düzxətli olmadıqda, prosesi elə intervallara bölürlər ki, hər bir intervalda tarazlıq xəttini uyğun maillik əmsalı m_i olan düzxətli kimi hesab etmək lazım gəlsin. Uyğun olaraq aparat boyunca kütləötürmə əmsalı da dəyişəcəkdir, bu halda hər intervalda $k_2 \approx m_i k_1$ ödə-nəcəkdir.

Beləliklə, əgər təcrübələrdən və ya müvafiq oxşarlıq tənliklərindən β_1 və β_2 hesablanarsa, onda (11.26) və (11.27) tənliklərindən kütləötürmənin əsas kəmiyyəti olan kütləötürmə əmsalı k təyin edilə bilər. Ancaq bu tənlikdən istifadə etmək üçün prosesin uyğun hərəkətedici qüvvələrinin qiymətlərini Δc_1 və Δc_2 təyin edilməlidir.

Prosesin hərəkətedici qüvvəsi ümumilikdə aparat boyunca dəyişir və bu səbəbdən onun orta qiyməti hesablanır (şək.11.3).

Aparatın dH elementini (şək.11.2) nəzərdən keçirək. Bu elementdə G fazasından keçən maddənin miqdarı aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$dM = -Gdc_1, \quad (11.28)$$

burada “-” işarəsi G fazasında müvafiq maddənin azalmasını göstərir.

(11.24) və (11.28) tənliklərinin sağ hissələrini bərabərləşdirdikdə alınır:

$$\frac{k_1}{G} dF = -\frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}.$$

Bu ifadəni faza kontaktları səthi ilə sıfırdan F -ə və konsentrasiyalara görə c_{1b} -dən c_{1s} -ə kimi inteqralladıqda

$$\int_0^F \frac{k_1}{G} dF = -\int_{c_{1b}}^{c_{1s}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}$$

alınır.

$$\frac{k_1}{G} F = \int_{c_{1s}}^{c_{1b}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}. \quad (11.29)$$

Aparatın material balansı tənliyindən alınır:

$$M = G(c_{1b} - c_{1s}). \quad (11.30)$$

Bu tənlikdə G -ni tapıb (11.29) tənliyində yazdıqda alınır:

$$\frac{k_1 F (c_{1b} - c_{1s})}{M} dF = \int_{c_{1s}}^{c_{1b}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}$$

və ya

$$M = k_1 F \frac{c_{1b} - c_{1s}}{\int_{c_{1s}}^{c_{1b}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}}.$$

Sonuncu tənliyin (11.17) tənliyi ilə müqayisəsindən görmək olar ki, prosesin hərəkətedici qüvvəsi

$$\Delta c_1 = \frac{c_{1b} - c_{1s}}{\int_{c_{1s}}^{c_{1b}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}}. \quad (11.31)$$

Əgər hesabat ikinci fazanın konsentrasiyası üzrə aparılırsa, onda analogi olaraq almaq olar:

$$\Delta c_2 = \frac{c_{2s} - c_{2b}}{\int_{c_{2b}}^{c_{2s}} \frac{dc_2}{c_2^* - c_2}}. \quad (11.32)$$

(11.31) və (11.32) tənliklərinin məxrəcində olan inteqral ötürmə ədədi adlanır.

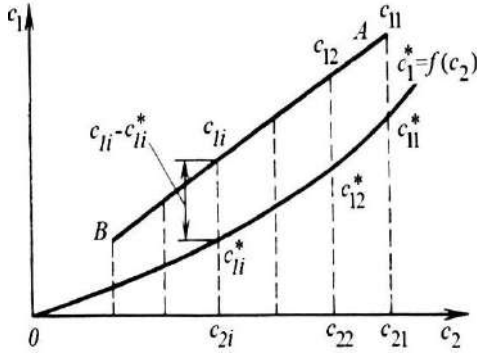
$$m_{01} = \int_{c_{1s}}^{c_{1b}} \frac{dc_1}{c_1 - c_1^*}; \quad m_{02} = \int_{c_{2b}}^{c_{2s}} \frac{dc_2}{c_2^* - c_2}. \quad (11.33)$$

Ötürmə ədədi kütləötürmə prosesinin orta hərəkətedici qüvvəsinə tərs mütənəsb olub maddənin kütlə vahidinin neçə ədədinin dc_1 və ya dc_2 hərəkətedici qüvvəsinin $(c_1 - c_1^*)$ və ya $(c_2^* - c_2)$ qiymətində bir fazadan digərinə keçməsinə göstərir.

(11.33) ifadəsində inteqral analitik həll oluna bilər, buna görə ötürmə ədədi adətən qrafiki metodla təyin olunur. Burada qrafiki inteqrallama metodundan daha geniş istifadə olunur.

Bu halda c_{2n} -dən c_{2k} -ya kimi sərhədlərində c_{2i} -nin bir sıra qiyməti üçün uyğun c_{1i} və c_{1i}^* qiymətləri prosesin işçi xətti və tarazlıq xətti ilə təyin edilir (şək.11.5), $1/(c_{1i} - c_{1i}^*)$ kəmiyyətləri hesablanır və müəyyən miqyasda $1/(c_{1i} - c_{1i}^*) - c_1$ koordinatlarında qrafiki asılılıq qurulur (şək.11.6). Əyrinin altındakı c_{1H} və c_{1k} ilə məhdudlaşan sahənin həcmi diaqramın miqyasına vurulduqda ötürmə ədədini təyin edir.

Yuxarıda verilən kütləötürmənin hesabat metodu yalnız fiksasiya olunan kütlədəyişmə səthi halında qəbul edilir. Əgər fazalara ayrılma səthi təyin edilməsi çətinlik yaradırsa, hesabatın aşağıda verilən metodla aparılması daha məqsədəuyğundur.



Şək.11.5. Ötürmə ədədinin qrafiki təyin edilməsi

Bu halda prosesin kinetikasi həcmi kütləötürmə əmsalı k_v ilə ifadə olunur ki, bu əmsal aparatın hündürlüyü boyunca sabit qəbul olunur.

Aparatın en kəsik sahəsini S (m^2), hündürlüyünü H (m) ilə işarələsək (11.17) tənliyi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$M = k_{1v}SH\Delta c. \quad (11.34)$$

Bu tənliyin və (11.30) tənliyinin sağ tərəflərini bərabərləşirdikdə alınır:

$$M_1(c_{1H} - c_{1k}) = k_{1v}SH\Delta c_1,$$

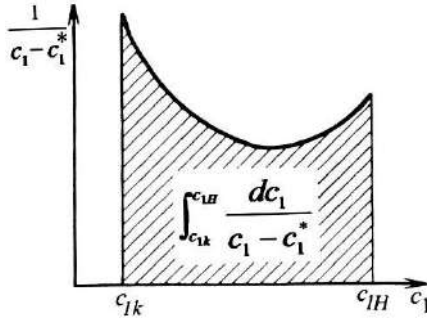
buradan

$$H = \frac{M_1}{k_{1v}S} \cdot \frac{c_{1H} - c_{1k}}{\Delta c_1}. \quad (11.35)$$

(11.31) tənliyinə uyğun (11.35) tənliyinin vuruğu ötürmə ədədini m_{01} verir. Tənliyin birinci vuruğu hündürlük ötürmə ədədi adlanır (HÖƏ) və h_{01} ilə ifadə olunur:

$$h_{01} = \frac{M_1}{k_{1v}S}. \quad (11.36)$$

HÖƏ kəmiyyətinin fiziki mənası aparatın bir ötürmə vahidinə uyğun hündürlüyünü göstərir. h_0 -ın ölçü vahidi metrdir.



Şək.11.6. Qrafiki integrallama metodu ilə ötürmə ədədinin qrafiki təyin edilməsi

Əgər HÖƏ kəmiyyəti eksperiment yolu ilə tapılırsa, onda aparatın işçi hündürlüyü sadə düsturla təyin edilir:

$$H = h_{01}m_{01}; \quad (11.37)$$

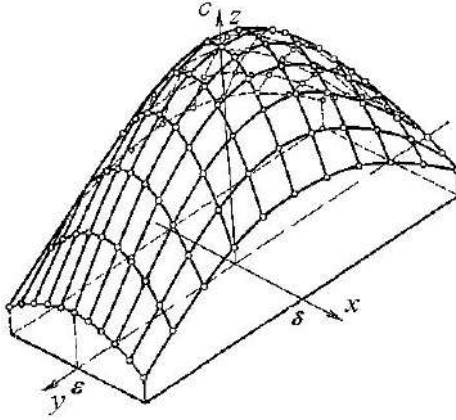
$$H = h_{02}m_{02}. \quad (11.38)$$

Prosesin hesabı konsentrasiyaların ikinci fazası üzrə aparılır.

Üçüncü hesabat metodu da mövcuddur, bu metod sadəliyi ilə fərqlənir və təxmini hesabatlarda istifadə olunur. Bu metodla qrafik qurmaqla nəzəri pillələr ədədi (nəzəri nimçələr-boşqablar) tapılır, sonra pillələrin təcrübə yolu ilə tapılan f.i.ə.-nin qiymətindən onların həqiqi ədədi təyin edilir.

Nəzəri pillələr ədədinin qrafiklərinin qurulması şəkil 11.7-də verilir. Burada ötürmə prosesi I fazadan II fazaya keçir. Aparatın girişində (A nöqtəsi) maddənin konsentrasiyası fazada $1-c_{1H}$ -dir.

Əgər fərz etsək ki, aparata daxil olan faza birinci pillədə ayrılan faza 2 ilə tarazlaşır, onda birinci fazanın konsentrasiyası c_{12} -yə bərabər olmalıdır, yəni I fazanın tərkibi E nöqtəsinə uyğun olmaqla proses AE xəttinə uyğun ifadə olunacaqdır.



Şək.11.8. Hündürlüyü qeyri-müəyyən olan paralelipeddə konsentrasiyaların paylanması

Bərk cismin həcmində maddə ötürülməsinin əsas qanunauyğunluqları xüsusi törəmələrdə diferensial tənlik olub kütləötürmənin diferensial tənliyi adlanır.

Kütlənin saxlanma qanunu və Fik qanunu əsasında, sabit diffuziya əmsalında və maddə mənbəyi olduğu halda diffuziyanın diferensial tənliyini almaq olar:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} + \dot{I}_v = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right), \quad (11.40)$$

burada \dot{I}_v - vahid həcmdə ayrılan (udulan) maddənin miqdarı və ya maddə mənbəyinin sıxlığıdır.

Kimyəvi proseslər və ya başqa mənbələr olmadıqda (11.40) tənliyi aşağıdakı şəkildə olur:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (11.41)$$

(11.41) tənliyinin sol hissəsi substasional törəmə adlanır.

O qeyri-stasionar hissədən $\frac{\partial c}{\partial \tau}$ və stasionar hissədən $\omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z}$ ibarətdir. Burada $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – uyğun koordinatlar istiqamətində xətti sürətlərdir.

Qeyri-stasionar proses zamanı substasional törəmənin stasionar hissəsi sıfıra bərabərləşdirilir və tənlik aşağıdakı halı alır:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right). \quad (11.42)$$

Stasionar proseslər üçün ($dc/d\tau = 0$) diffuziyanın əsas tənliyi aşağıdakı kimi olur:

$$\omega_x \frac{\partial c}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial c}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial c}{\partial z} = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) \quad (11.43)$$

Bu tənlik konveksiya tənliyi adlanır.

(11.42), (11.43) tənliklərində diffuziya əmsalı D Fik qanunundan fərqli fiziki məna alır. Bu tənliklərdə D konstantası maddənin verilən nöqtədə konsentrasiyalarının, həmin nöqtə ətrafında paylanmasıdan asılı olaraq konsentrasiyanın dəyişmə qabiliyyətini göstərir. Göstərilən iki tənlikdə D konstantasını konsentrasiya ötürmə əmsalı adlandırmaq daha düzgün olardı.

Bərk fazalı sistemdə kütləötürmə prosesinin hesabat tənliklərini almaq üçün (11.42) və (11.43) tənliklərinin kənar şərtlərdə diferensial tənliklərini həll etmək lazımdır. Kütləötürmədə əsas belə şərt fazalar sərhədində kütlədəyişməni ifadə edən tənlikdir.

$$D \frac{\partial c}{\partial n} = \beta(c_{1n} - c_2), \quad (11.44)$$

burada c_{1n} – fazaların ayrılma səthində konsentrasiya;

c_2 – ikinci fazanın axınının nüvəsində konsentrasiyasıdır.

İlkin şərtlər kimi prosesin başlanğıc momentində bərk cisimdə

konsentrasiyaların paylanması verilir. Məsələn, əgər başlanğıc anda bərk cismin bütün nöqtələrində onun konsentrasiyası eynidirsə, onda

$$c_{1H} = \text{const.} \quad (11.45)$$

Əgər əvvəlki proses nəticəsində müəyyən riyazi asılılıqla ifadə olunan konsentrasiyalar sahəsi təyin olunubsa

$$c_{1H} = f(x, y, z). \quad (11.46)$$

Cismin forması və ölçüləri məlum olmalıdır. (11.42) tənliyinin ən vacib həllərini nəzərdən keçirməzdən əvvəl bu tənliyi və kənar şərtlərinin (11.44) metodlarını əldə etmək üçün əsas kriteriyaları nəzərdən keçirilir.

(11.42) tənliyinin köməyi ilə Furiyenin kriteriya tənliyi alınır:

$$Fo_D = \frac{D\tau}{l^2},$$

burada l - bərk cismin təyinedici ölçüsüdür.

Bu kriteriya baxılan sahəyə xaricdən nüfuz edərək hərəkət müddətində dəyişmələr intensivliyini ifadə edir və cisimdə konsentrasiyalar sahəsinin formalaşmasına təsir edir, yəni bərk cismin daxilində maddənin ötürülməsi sürətinin oxşarlığını xarakterizə edir.

(11.44) tənliyindən $Bi_D = \frac{\beta l}{D}$ Bionun diffuziya kriteriyası ad-

lanan kriteriya alırıq. Bu kriteriya bərk cisim və ətraf mühitdə konsentrasiyaların paylanması arasındakı uyğunluğu təyin edir və ya başqa sözlə, bərk cisimdə konsentrasiyaların düşməsinin mühit və bərk cismin səthi arasındakı konsentrasiyalar fərqi ilə nisbəti ilə təyin edilir. Bio kriteriyasına daxil olan əsas kəmiyyətlər – kütləvermə əmsalı β , molekulyar diffuziya əmsalı D hər bir fazada ötürmə sürətini, yəni onların əks kəmiyyətlərini - diffuziya müqavimətlərini, hansılar ki, öz növbəsində konsentrasiyaların düşmə mütənasibliyini xarakterizə edir.

Bio kriterisi çox böyük ($Bi_D \gg 1$) və çox kiçik ($Bi_D \ll 1$) ol-

duqda iki kənar hal böyük təcrübi əhəmiyyət kəsb edir. Birinci halda ətraf mühitdə konsentrasiyaların düşməsi bərk cismin konsentrasiyalarının düşməsinə nisbətən həddindən çox azdır, bununla da xarici diffuziya müqavimətini nəzərə almamaq olar, yəni cismin səthində konsentrasiya ətraf mühitin konsentrasiyası ilə bərabərləşir. Bu məsələnin həllini yüngülləşdirir, çünki bu zaman Bio kriteriyası çıxarılarq baxılmır.

İkinci halda daxili diffuziya müqavimətini nəzərə almamaq olar və fərz etmək olar ki, hər bir zaman momentində bütün nöqtələrdə konsentrasiya eynidir.

Kütləötürmənin ümumiləşdirilmiş tənliyi təyinedici ölçüsüz kəmiyyətlə əlaqəli təsir edən fazaların kütlə sərfinin uyğunluğudur. Əsas təyinedici kəmiyyət isə konsentrasiyalar simpleksinin müxtəlif olmasıdır. Məsələn, cismin həcmi boyu orta izafi konsentrasiyalarının nisbəti ölçüsüz parametrlərinin Bi_D , Fo_D və q funksiyasıdır.

$$Z = \frac{\bar{c}_{1H} - c_{2k}}{\bar{c}_{1K} - c_{2H}} = f(Fo_D, Bi_D, q), \quad (11.47)$$

burada \bar{c}_{1H} - aparata daxil olan bərk hissəciklərin orta konsentrasiyası (bərk cisimlərin başlanğıc konsentrasiyası);

c_{2k} - aparatın həmin kəsiyində ikinci fazanın axınının nüvəsində konsentrasiya;

c_{1k} - aparatı tərk edən bərk hissəciklərin orta konsentrasiyası (bərk hissəciklərin son konsentrasiyası);

c_{2H} - aparata daxil olan maye axınının nüvəsində konsentrasiya (mayenin başlanğıc konsentrasiyası);

q - maye və bərk cismin kütlələr sərfinin nisbətidir.

Prosesin verilən momentində bərk hissəciklər və onları əhatə edən mayenin orta konsentrasiyalarının fərqi orta izafi konsentrasiya adlanır:

$$\xi_H = \bar{c}_{1H} - c_{2k}; \quad \xi_k = \bar{c}_{1k} - c_{2H}. \quad (11.48)$$

Sərhədsiz silindr formasında olan bərk hissəciklər üçün

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4Bi^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi^2)} l^{-\left(\frac{q+s}{q} \mu_n^2 Fo\right)}, \quad (11.49)$$

burada s - düz axında +1, əks axında -1-ə bərabərdir;

μ_n - xarakterik tənliyin kökləridir.

Prosesin böyük həcmdə gedişində $(q+s)/q \rightarrow 1$ olarsa, küre formalı hissəciklər üçün

$$Z = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{6Bi^2}{\mu_n^2 (\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)} l^{-\left(\frac{q+s}{q} \mu_n^2 Fo\right)}. \quad (11.50)$$

Praktiki hesabatlarda (11.49 –11.51) tənliklərində \sum , yəni cəm işarəsi altında olan ayrı-ayrı hədlər nadir hallarda beşdən artıq və çox vaxt üçə yaxın olur.

Yoxlama sualları

1. Kütlədəyişmə proseslərini hansı xüsusiyyətlər birləşdirir?
2. Kütlədəyişmə prosesləri hansı istiqamətdə gedir?
3. Kütləötürmə və kütləvermə əmsallarının fiziki mahiyyəti nədədir?
4. Kütlədəyişmə prosesin istiqaməti nədən asılıdır?
5. Hansı tənlik prosesin işçi xətti adlanır?
6. Molekulyar diffuziyayı hansı qanun ifadə edir?
7. Konveksiya tənliyi necə ifadə olunur?
8. Furiyenin kriteriya tənliyi necə alınır?
9. Bionun diffuziya kriteriyası necə ifadə olunur?
10. Kütləötürmənin ümumiləşdirilmiş tənliyi necədir?

FƏSİL 12

SORBSİYA PROSESLƏRİ

12.1. Sorbsiya proseslərinin təsnifatı

Hər hansı bir cisimlə qazların, buxarların və ya qarışan maddələrin ətraf mühitdən udulması sorbsiya prosesləri adlanır. Qida istehsalında aşağıdakı sorbsiya proseslərindən istifadə olunur.

1. Absorbsiya – maddədən uducu mayenin bütün həcmi ilə qaz və buxarın udulmasıdır. Məsələn kimi kükürd qazının su ilə udulmasını göstərmək olar. Bu prosesdən qarğıdalı nişastanın istehsalında istifadə olunur.

Spirt istehsalında və şərəbçilikdə qıvcırma zamanı ayrılan qazların tərkibində olan etil spirtinin buxarlarını su ilə yumaqla tutmaq üçün istifadə olunur.

2. Adsorbsiya – bərk cismin və ya digər komponentin səthi ilə qaz və ya mayedən uducu maddələrin udulmasıdır. Uducu maddə olan adsorbent böyük sahəyə malikdir. Adsorbent kimi xüsusi hazırlanmış kömürdən, silisium turşusunun gelindən, gildən və başqa maddələrdən istifadə olunur. Cismin səthi ilə udulan qaz kondensasiya ilə müşahidə olunur, ancaq sorbentın kapilyarlarında udulan qazın kondensasiyası baş verə bilər. Bu proses kapilyar kondensasiyası adlanır. Yeyinti sənayesində su-spirt qarışıqlarının təmizlənməsi, patokaların və şəkər qarışıqlarının rəngsizləşdirilməsi üçün geniş istifadə olunur.

3. Xemosorbsiya – uducu və qaz arasında qarşılıqlı kimyəvi təsir zamanı qazların udulmasıdır.

4. Desorbsiya – maye və ya bərk cisimlə udulan maddənin ayrılması prosesidir. Bu proses udanların regenerasiyası üçün istifadə edilir.

Sorbsiya prosesi üçün udanın seçici (selektiv) xassəsi xarakterikdir. Bu xassə mürəkkəb qaz qarışıqlarını elə, uducu vasitəsilə ayırmağa imkan verir ki, o yalnız bir komponenti udur. Sorbsiya prosesləri istilik halları ilə müşahidə olunur (əksər hallarda istilik ayrılır). Əgər sorbsiya prosesi zamanı qazın udulması qapalı sis-

temdə baş verirsə, onda qaz qarışığının bir hissəsinin udulması nəticəsində o, təzyiqin düşməsi ilə müşahidə olunur. Qeyd olunanlarla əlaqəli Le-Şatelye qaydasından görünür ki, temperaturun azalması və təzyiqin artması sorbsiya üçün əlverişlidir və əksinə, temperaturun artması və təzyiqin azalması desorbsiya üçün əlverişlidir.

Yoxlama sualları

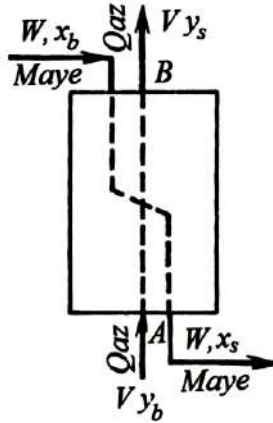
1. Sorbsiya prosesləri nədir? 2. Sorbsiya proseslərindən harada istifadə olunur? 3. Sorbsiya proseslərinin təsnifatı hansılardır? 4. Absorbsiya nədir? 5. Xemosorbsiya nədir? 6. Desorbsiya nədir? 7. Sorbsiya prosesi üçün hansı xassə xarakterikdir? 8. Hansı hal desorbsiya üçün əlverişli sayılır?

FƏSİL 13 ABSORBSİYA

13.1. Absorbsiyanın material balansı

İstehsalatda absorbsiya əksaxınlı fasiləsiz təsirli aparatlarda aparılır ki, burada qaz və maye (sorbent) sıx təmasa gətirilir. Belə aparatın (absorberin) sxemi şəkil 13.1-də verilir. Udulmayan təsirsiz qazın (V , kmol/san) tərkibində aparatın girişində udulan komponentin müəyyən hissəsi olur. Onun konsentrasiyası y_b ilə işarə edilir.

Qaz qarışığının absorberdən keçməsi zamanı təsirsiz qazın miqdarı dəyişmir, udulan komponentin konsentrasiyası isə y_s -yə kimi azalır (kmol/kmol).



Şək.13.1. Absorberin sxemi

Maye uducu (sorbent) W , kmol/saat miqdarında absorberə daxil olur. Mayedə udulan komponentin tərkibi absorberin girişində 1 kq təmiz sorbentə x_b kmol; aparatın çıxışında - x_s kmol olur.

Maddənin saxlanma qanununa əsasən udulan komponent üçün absorbsiya prosesinin material balansı tənliyi qurula bilər:

$$V_{y_b} + W_{x_b} = V_{y_s} + W_{x_s} . \quad (13.1)$$

Balansın qurulmasında prosesin aparılması zamanı mümkün itkiləri nəzərə almırıq. (13.1) tənliyindən

$$V(y_b - y_s) = W(x_s - x_b) = M , \quad (13.2)$$

burada M - bir fazadan digərinə ötürülən komponentin miqdarı, kmol/san.

(13.2) tənliyindən görünür ki, sorbentin xüsusi sərfi (kmol/kmol)

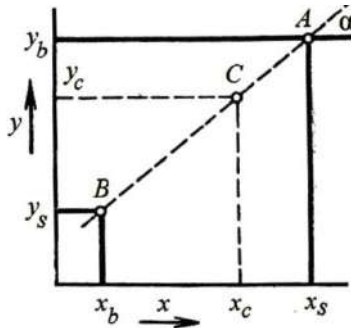
$$m = W/V = (y_b - y_s)/(x_s - x_b) , \quad (13.3)$$

burada m - sorbentin xüsusi sərfidir.

(13.2) tənliyi $x - y$ koordinatlarında qurulan düz xətt tənliyidir. Şəkil 13-2-də bu xətt AB ilə işarələnmişdir. Bu xəttin bucaq əmsalı m olub $\operatorname{tg} \alpha = m$ -dir.

13.2. Absorbsiya prosesinin işçi xətti

AB xətti işçi xətt adlanır. Bu xəttin köməyi ilə mayenin və qazın tərkibləri arasındakı əlaqə təyin edilir. Çünki əgər aparatın hər hansı kəsiyində udulan komponentin qazda olan tərkibi y_c -dirsə, onda bu komponentin mayədə tərkibi x_c olacaqdır (şək.13.2).



Şək.13.2. Absorberin işçi xətti

13.3. Absorbsiya prosesinin hərəkətedici qüvvəsi

Şəkil 13.2-də verilən işçi xətt absorbsiya proseslərinin mümkün olması şərtlərini təyin etməyə imkan verir. Qaz və sorbent tarazlıq şərtlərini nəzərdən keçirək. Bunun üçün faza qanunundan istifadə edilir. Baxılan halda iki faza (qaz və maye) və üç komponenti (udulan komponent, təsirsiz qaz və maye) nəzərdə tutulur. Təyinedici parametrlər təzyiq, temperatur və konsentrasiya ola bilər.

$$S = K - f + 2,$$

burada S - sərbəstlik dərəcəsi ədədi;
 K - sistemin komponentlərinin sayı;
 f - sistemin faza sayıdır.

Verilən halda, qaz qarışığının bir komponenti udulduqda $S = 3 - 2 + 2 = 3$ olacaqdır.

Bu üç sərbəstlik dərəcəsi bir fazanın tərkibi, təzyiqi və temperaturudur. Digər fazada udulan komponentin miqdarı istənilən kimi qəbul edilə bilməz. O, üç seçilən parametrlərlə təyin edilir. Sistemin komponentlərinin molekulları arasındakı əlaqəli təsir qüvvələri eyni olan ideal qarışıqlar üçün tarazlıq şərtləri Henri və Raul qanunları ilə təyin edilir. Henri qanununu aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$x = p\psi, \quad (13.4)$$

burada x - udan mayeyə aid olan qarışan qazın miqdarı, mol payı;
 ψ - təcrübə ilə təyin edilən mütənasiblik əmsalı.

(13.4) tənliyi Henri qanunu adlanır və aşağıdakı kimi ifadə edilir. Qazın qarışması onun maye üzərindəki parsial təzyiqi ilə düz mütənasibdir. Məlumdur ki, qaz qarışığında komponentin parsial təzyiqi həmçinin aşağıdakı tənliklə də işarə oluna bilər:

$$p = yP, \quad (13.5)$$

burada y - baxılan komponentin qaz qarışığında mol payı;

P - qarışıqın ümumi təzyiqidir.

(13.4) və (13.5) tənliklərindən p -ni bərabərləşdirərək alırıq:

$$\frac{x}{\psi} = yP; \quad y = x / (P\psi)$$

və ya

$$y = Hx,$$

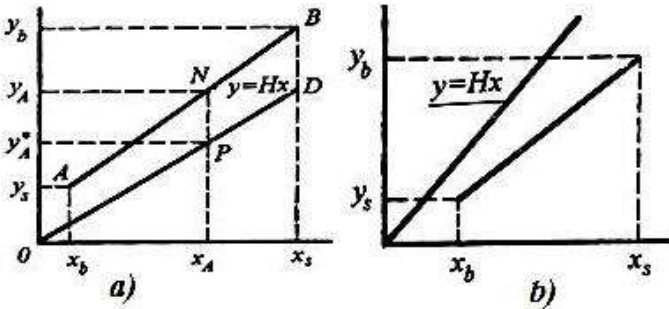
burada

$$H = I / (P\psi). \quad (13.6)$$

(13.6) tənliyi faza tarazlığı tənliyidir. İdeal qarışıqlarda Henri qanunu dəqiq olduğundan H kəmiyyəti sabitdir və tarazlıq xətti düz xəttidir. Çox durulaşdırmada bütün qarışıqlar ideal qarışıqlara yaxınlaşdığından, aşağı konsentrasiyalar sahəsində tarazlıq xətti düz xətt olacaqdır. H kəmiyyəti faza tarazlığının konstantası adlanır.

Ümumi halda y və x arasındakı asılılıq tarazlıq əyrisi adlanan əyri ilə göstərilir. Tarazlıq əyrisi, adətən eksperimental qiymətlər əsasında qurulur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu əyri absorbsiya prosesinin işçi xəttinin koordinatlarında qurulur.

Göründüyü kimi, absorbsiya prosesinin getməsi üçün tarazlıq xətti işçi xəttinin aşağısından keçməlidir (şək.13.3,a). Şəkildə OD xətti $y = Hx$ tənliyinə uyğun tarazlıq xətti ilə verilir.



Şək.13.3. İşçi xətt və fazaların tarazlıq xətti (a), desorbsiya şərtləri (b)

Maye fazada udulan komponentinin tərkibi X_A (%) olan aparatın istənilən kəsiyini nəzərdən keçirək. Bu komponentin tarazlıq tərkibi y_A^* (%), işçi xəttə uyğun olaraq baxılan kəsikdə qaz fazasında həmin komponentin miqdarı y_A (%) olarsa, aydındır ki, bu nöqtədə prosesin təsir edici qüvvəsi NP parçası ilə göstərilən $(y_A - y_A^*)$ kəmiyyəti olacaqdır. Şəkil 13.3,a-dan görüldüyü kimi hərəkətedici qüvvə aparat boyu dəyişəcəkdir.

Udulan komponentin parsial təzyiqi p_A , həmin komponentin tarazlıq parsial təzyiqi p_A^* ilə işarə edilirsə, onda absorbsiyanın hərəkətedici qüvvəsi $(p_A - p_A^*)$ fərqi ilə ifadə oluna bilər. Aydındır ki, $y_A = y_A^*$ və ya $p_A = p_A^*$ olduqda sorbsiya prosesi qurtaracaq, $(y_A - y_A^*)$ kəmiyyəti mənfi olduqda isə desorbsiya baş verəcəkdir. Bu halda udulan komponent maye fazadan ayrılaraq qaz fazasına keçəcəkdir (şəkil 13.3,b).

13.4. Absorbsiyanın əsas tənliyi

Absorbsiya üçün istehsalat proseslərini nəzərdən keçirdikdə bizi ilk növbədə zaman vahidində bir fazadan digər fazaya ötürülən maddənin miqdarı maraqlandırır. İstilikdəyişmə və diffuziya proseslərinin anolojiyi absorbsiya üçün kütləötürmənin əsas tənliyini aşağıdakı şəkildə göstərməyə imkan verir:

$$M = KF\Delta C\tau, \quad (13.7)$$

burada M - qaz fazasından maye fazasına ötürülən maddənin miqdarı, kq;

K - istilikdəyişmə prosesindəki istilikötürmə əmsalına anoloji olan absorbsiya əmsalı;

F - fazaların kontakt səthlərinin sahəsi, m²;

ΔC - konsentrasiyalar fərqi və ya parsial təzyiqlərin fərqi kimi ifadə edilən hərəkət qüvvəsi, (kq/m^3) və ya (Pa) ifadə olunur;

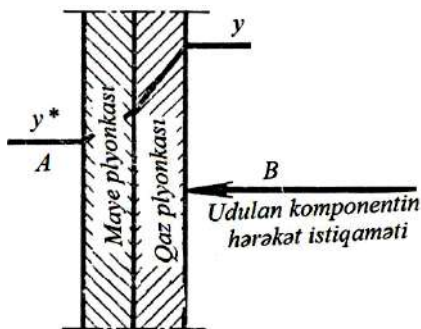
τ - prosesin gediş müddətidir, saat.

$$[K] = \frac{\text{kq}}{(\text{m}^2 \cdot \text{saat} \cdot \text{kq})/\text{m}^3} = \frac{\text{m}}{\text{saat}};$$

$$[K] = \frac{\text{kq}}{\text{m}^2 \cdot \text{saat} \cdot \text{Pa}}.$$

Hesabatda bu halı nəzərə almaq lazımdır. Absorbsiya əmsalı K kütləötürmə müqavimətinə əks kəmiyyətdir, yəni $1/R$. Yuxarıda qeyd edilənlər sərhəd plyonkaları nəzəriyyəsinə aiddir. Absorbsiyanı bu nəzəriyyə baxımından nəzərdən keçirsək, prosesin mexanizmi aşağıdakı kimi göstərilə bilər.

Maye faza A (şək.13.4) maye axınının əsas kütləsindən və sərhəd plyonkasından ibarətdir (ştrixlənmiş hissə). Uyğun olaraq qaz fazasının da B maye plyonkasına toxunan sərhəd plyonkası vardır.



Şək.13.4. Absorbsiya prosesinin mexanizmi (iki plyonkalı nəzəriyyə baxımından)

Fərz edilir ki, bu sərhəd plyonkalarında udulan komponent yalnız molekulyar diffuziya hesabına hərəkət edir. Beləliklə, kütləötürmə prosesinə olan müqavimət sərhəd plyonkalarında cəm-

lənir. Maye plyonkada kütləötürməyə müqaviməti $1/\beta_m$ və qaz plyonkada isə ψ/β_q ilə işarə edək.

$$1/K = 1/\beta_m + \psi/\beta_q \quad (13.8)$$

Bu tənlik istilikötürmə əmsalını istilik vermə əmsalı ilə əlaqələndirən tənlikdir.

Yaxşı qarışan qazlarda $1/\beta_m$ kəmiyyəti ümumi müqavimətlə müqayisədə çox azdır və onu nəzərə almamaq olar. Onda

$$1/K = \psi/\beta_q \quad \text{və} \quad K = \beta_q/\psi.$$

Əgər fazalar pis qarışırsa, onda ψ/β_q kəmiyyətini nəzərə almamaq olar və $K = \beta_m$ olar. Kütləötürmənin cəmi əmsalı K həmişə eksperiment yolu ilə təyin edilir. K -nın qiymətindən β_q və β_m əmsalları hesablanır. Sərbəst turbulentiçdə plyonkanın olması sübut edilmədiyindən β_q və β_m hesablanmır və yalnız K -nı təyin etməklə kifayətlənmək olar və bu da absorbsiya proseslərinin he-sabatının əsasını təşkil edir.

13.5. Absorbsiya əmsallarının təyin edilməsi

Absorbsiya əmsalı qaz və maye arasında kontaktın yaranma üsulundan, qaz və mayenin fiziki xassələrindən və onların hərəkət sürətindən asılıdır. Absorbsiya əmsalları iki növ tənliklərdən təyin edilə bilər:

1) birinci növ tənlik eksperimental qiymətlərin işlənməsi yolu ilə oxşarlıq nəzəriyyəsi metodundan alınır;

2) ikinci növ tənlik konkret sistem üçün bilavasitə təcrübədən alınır.

Bu tənliklərin bir neçəsi nəzərdən keçirilir. Əgər maye divarlarla nazik layla axırsa, qaz isə mayeyə bu plyonkanın səthi ilə toxunursa, onda qaz plyonkası üçün xüsusi əmsal β_q aşağıdakı tənlikdən tapıla bilər:

$$Nu'_q = ARe_q^m Pr'_n,$$

burada Nu'_q və Pr'_q - Nusselt və Prandtlın diffuziya kriteriyaları;

Re_q - Reynolds kriteriyasıdır.

$Re_q = 100 \div 10000$ və $Pr'_q = 0,5 \div 2$ qəbul etmək olar.

$$Nu'_q = 0,027Re_q^{0,8} Pr_q'^{0,33}. \quad (13.9)$$

Maye plyonka üçün β_m aşağıdakı tənlikdən hesablanıla bilər:

$$Nu_m = 0,00595Re_m^{0,67} Pr_m'^{0,33} Ga_m^{0,33}, \quad (13.10)$$

burada Nu'_m - maye üçün Nusseltin diffuziya kriteriyası;

Re_m - maye üçün Reynolds ədədi;

Pr'_m - maye üçün Prandtlın diffuziya kriteriyası;

Ga_m - maye üçün Qaliley kriteriyasıdır.

Xordalı taxmalı absorberlərdə ammoniyakın su ilə udulmasında absorbsiya əmsalı ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{saat}$)

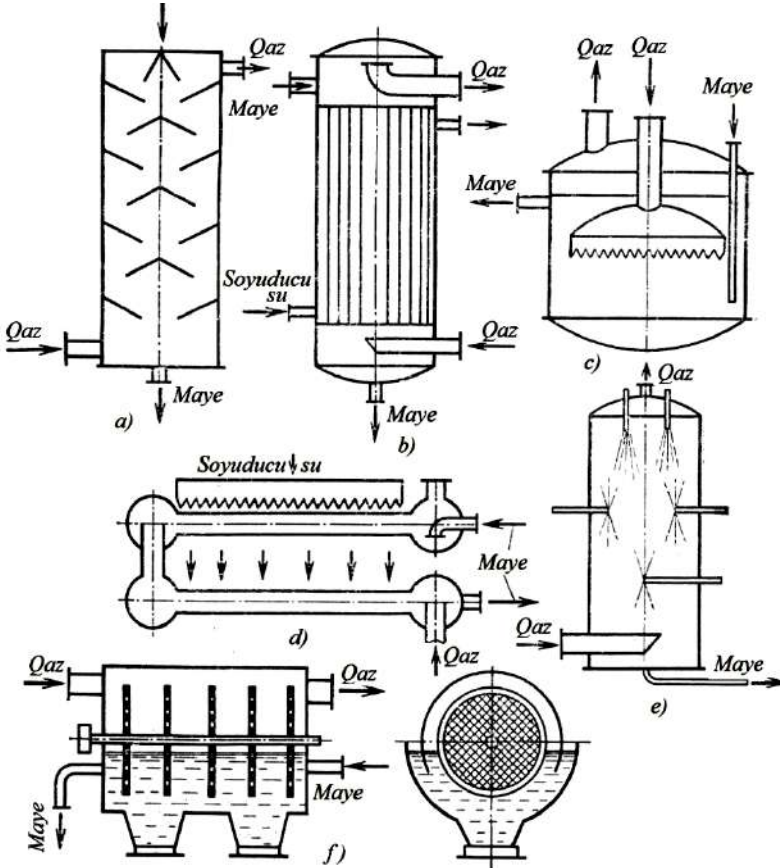
$$K = 0,0109\omega^{0,7} l^{0,5}. \quad (13.11)$$

13.6. Absorberlər

İstehsalatda istifadə edilən absorberlərin klassifikasiyası şəkil 13.5-də verilmişdir. Qida sənayesində ən çox yayılmış absorberlər taxmalı və boşqablı absorberlərdir. Şəkil 13.6 və şəkil 13.7- də taxmaların və absorberlərin əsas tipləri verilir.

Taxmalı absorberlər. Bu absorberlər qurğunun sadəliyi və yüksək effektivliyi ilə fərqlənir ki, bu səbəbdən onlar geniş yayılmışdır. Taxmalı absorber silindrik taxmalarla doldurulmuş qüllədən ibarətdir. Absorberin yaxşı işini təmin edən əsas şərt taxmanın maksimal xüsusi səthidir. Bundan başqa taxma minimal kütləyə

Kəsiklərdə axan mayenin qazla böyük təmas sahəsinin təmin edilməsi üçün 200-250 mm-dən bir üçbucaq kəsiklər kəsilir. Löv-
hələr dairəvi şəkildə yığılır. Taxmanın ardıcıl dairələri elə yerləş-
dirilir ki, qonşu sıraların lövhələri 45° və ya 90° bucaq əmələ gə-
tirsin. Qazın aşağı temperaturlarında ağac xordalı taxmalardan ist-
tifadə edilə bilər. Taxmanın çatışmamazlıqları korroziyaya zəif
müqavimətin, kiçik xüsusi səthin və kiçik sərbəst həcmi olması-
dır.



Şək.13.7. Absorberlərin əsas tipləri:

- a* - kaskadlı; *b* - borulu; *c* - zınqırovlu; *d* - səthi;
e - püskürücülü; *f* - mexaniki

Həlqəli taxma metal və ya saxsı nazik divarlı həlqələrdən hazırlanır (şək.13.6). Həlqələrin diametri 15-150 mm arasında dəyişir. Həlqənin hündürlüyü adətən onun diametrinə bərabər olur. Kiçik həlqələr (diametri 50 mm-ə qədər) dağınıq halda tökülür, iri həlqələr isə düz sıralarla yığılır. Həlqələrdən başqa taxma kimi fasonlu saxsı elementlərdən koksdan, xırdalanmış kvarsdan, metal setkadan və spiraldan istifadə olunur.

13.7. Taxmalı absorberlərin əsas ölçülərinin təyini

Absorberlərin hesabı üçün əsas verilənlərə vahid zamanda təsirsiz qazın miqdarı, təsirsiz qazın tərkibində udulan komponentin miqdarı, bu komponentin çıxan qazlarda, aparata daxil olan və oradan çıxan mayedə miqdarı aiddir. Bu verilənlərin əsasında şəkil 13.1-ə, (13.1) və (13.2) tənliklərinə əsasən vahid zamanda absorberə daxil olan uducunun miqdarını təyin edirik.

Taxmalı absorberin əsas ölçüsü taxmalar olan hündürlüyü və diametridir. Absorberin diametrini təyin etmək üçün sərfiyyat tənliyindən istifadə edilir:

$$V = (\pi D^2 / 4) \omega, \quad (13.12)$$

burada V - saniyədə axan qazın həcmi, m^3 ;

ω - absorberin sərbəst kəsiyinə düşən qazın axmasının qondarma sürətidir, m/san .

Taxma layının hündürlüyü, təmas səthi F məlum olduqda təyin edilə bilər. Təmas səthi F şərti olaraq taxmaların səthinə bərabər qəbul olunur. Həqiqətdə fazalararası səthin qiyməti taxmaların səthinin qiymətindən fərqlənir, çünki taxmanın bütün səthi su ilə islanmır. Bu halda taxmanın həcmi

$$V_H = F / \sigma,$$

burada σ - taxmanın xüsusi səthidir, m^2/m^3 .

V_H bilməklə absorberdə taxmaların örtülən hündürlüyünü H tapmaq olar:

$$\left(\pi D^2 / 4\right) H = V_H \quad (13.13)$$

Təmas səthi zaman vahidi üçün (13.7) tənliyindən tapılır,

$$M = KF\Delta C.$$

Bu tənlikdə ΔC - orta hərəkət qüvvəsi olub bütün sütun üçün orta loqarifmik kimi tapılar və K -nın məlum qiymətində F təyin edilə bilər. Kontakt – təmas səthini daha dəqiq metodla da təyin etmək olar. (13.7) tənliyi sütunun istənilən hündürlüyündə səthin elementi üçün aşağıdakı kimi yazılır (şək.13.8):

$$dM = K(y - y^*)dF.$$

Bundan başqa həmin sahə üçün aşağıdakı bərabərlik yazıla bilər

$$dM = Vdy,$$

burada V - vahid zamanda daxil olan qazın həcmidir.

Beləliklə,

$$K(y - y^*)dF = Vdy$$

$$dF / V = dy / [K(y - y^*)].$$

Alınan tənliyi 0-dan F -ə və y_H -dan y_k -ya kimi inteqrallasaq y_H alırıq

$$\int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{K(y - y^*)} = \frac{F}{V}.$$

Qəbul etsək ki, K əmsalı sabit qalır, onda

$$\frac{KF}{V} = \int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{y - y^*} \quad \text{və} \quad V = \frac{KF}{\int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{y - y^*}}$$

Həmçinin yazı bilərik:

$$V(y_H - y_k) = M \quad \text{və} \quad V = \frac{M}{y_H - y_k}.$$

Beləliklə, qaz fazasından maye fazasına ötürülən maddənin kütləsini təyin etmək üçün düstur aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$M = \frac{KFV(y_k - y_H)}{\int_{y_k}^{y_H} \frac{du}{y - y^*}} \quad (13.14)$$

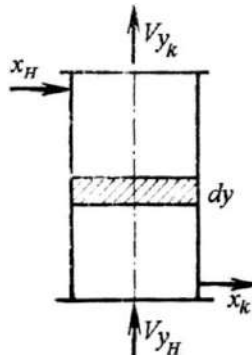
Bu düsturdan K və m_0 məlum olduqda kontakt səthi F təyin edilir:

$$m_0 = \int_{y_k}^{y_H} \frac{dy}{y - y^*} \quad (13.15)$$

m_0 kəmiyyəti ötürmə ədədi adlanır. Sonsuz kiçik kəmiyyətlərdən sonlu kəmiyyətlərə keçsək, onda m aşağıdakı düsturla hesablanıla bilər:

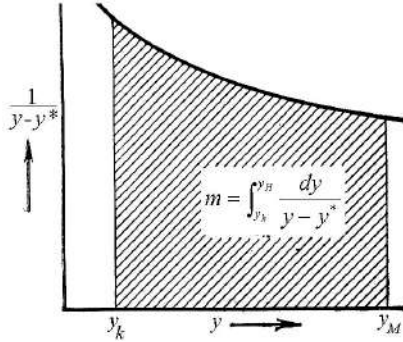
$$m_0 = \Delta y / (y - y^*)_{pc}. \quad (13.16)$$

Ötürmə ədədi vahid hərəkət qüvvəsinə uyğun udulan komponentin konsentrasiyasının dəyişməsinə bərabərdir. Beləliklə, ötürmə ədədi kütləötürmə aparatlarının səmərəlilik ölçüsüdür.



Şək. 13.8. Absorberlərin hesabət sxemi

m_0 təyin etmək üçün qrafiki inteqrallama metodundan istifadə edilir. Bu metodu nəzərdən keçirək. Qrafik qurub (şək.13.9), onun şaquli oxunda inteqralaltı funksiyanın qiymətlərini $1/(y-y^*)$, üfüqi oxunda y -in qiymətlərini yazırıq.



Şək. 13.9. Ötürmə ədədini təyin etmək üçün qrafik

$(y-y^*)$ kəmiyyətini təyin etmək üçün işçi xəttin qurulmasından istifadə edilir. y -ə istənilən qiymət verməklə $(y-y^*)$ qiymətini tapırıq. Beləliklə, $1/(y-y^*)$ bir sıra qiymətini tapıb onları qrafikdə qeyd edərək inteqralaltı funksiyanın əyrisini alırıq. Şəkildə ştrixlənmiş hissə axtarılan inteqralı verir. Onun sahəsini tapıb koordinatların miqyasına vuraraq inteqralın qiymətini, yəni m_0 -ın qiymətini tapırıq.

Bundan sonra kontakt səthinin sahəsini F təyin edirik:

$$F = Mm_0 / [K(y_H + y_k)]. \quad (13.17)$$

Yoxlama sualları

1. Absorbsiyanın mahiyyəti nəyi özündə əks etdirir? 2. Absorbsiya hansı kütlədəyişmə qanunlarına tabedir? 3. Absorbsiyanın hərəkətedici qüvvəsi nədir? 4. Sənayedə hansı adsorberlərdən istifadə olunur? 5. Taxmalı absorberlər hansı rejimlərdə işləyə bilər? 6. Adsorberlərdə hansı taxmalardan istifadə olunur? 7. Taxmalı və boşqablı absorberlərin hesabı nədən ibarətdir?

FƏSİL 14 ADSORBSİYA

14.1. Əsas anlayışlar

Qaz, buxar qaz və ya maye qarışıqlarından bir və ya bir neçə komponentlərin seçilərək udulması və bərk məsaməli səthdə onların konsentrasiyası prosesi adsorbsiya adlanır.

Üzərində udulan maddə kondensasiya edilən bərk cisim adsorbent, udulan maddə – adsorbentiv, adsorbentin üzərində konsentrasiya olunmuş halda isə adsorbat adlanır.

Faza ayrılığı sərhəddində maddənin halı onun fazanın daxilindəki halından fərqlənir.

Bərk cismin daxilindəki hissəciklər (atomlar, molekullar, ionlar) eyni tipli hissəciklərlə tam əhatə olunur və beləliklə onların əlaqəli təsiri tarazlaşır. Fazalar sərhəddində yerləşən bərk cismin halı fərqlidir. Belə ki, onlara bərk cismin molekulları tərəfindən həmin qüvvələr təsir edir və digər faza tərəfindən analogi əlaqələr olmur, yəni bərk cismin üzərində molekullar tarazlaşmadığından, onlar özlərinə digər fazanın molekullarını çəkmə qabiliyyətini əldə edirlər.

Maddələrin təbiətindən asılı olaraq adsorbent və adsorbatın molekulları arasındakı əlaqəli təsir qüvvələri müxtəlif xarakter daşıya bilər. Əgər bu qüvvələr elektrostatik effektlərlə əlaqəlidirsə, onda fiziki adsorbsiya yaranır.

Fiziki adsorbsiya dönəndir, şərtlər (temperatur, təzyiq) dəyişdikdə proses əks istiqamətdə gedə bilər, adsorbentdən əvvəlcədən adsorbsiya edən maddənin ayrılması, yəni desorbsiya baş verir.

Adsorbsiya nəticəsində adsorbent və adsorbentiv molekulları arasında heterogen kimyəvi reaksiyaya uyğun olan möhkəm əlaqələr yarana bilər, yəni qida sənayesində az rast gəlinən xemosorbsiya prosesi baş verir. Adsorbsiya ən çox qida sənayesində çuğundur istehsalında şirələrin və siropların diffuzion təmizlənməsində, nişasta istehsalında siropların təmizlənməsində, şərablərin təmizlənməsi, saflaşdırılması və stabilləşdirilməsində, konserv

sənayesində şirələrin saflaşdırılmasında, bitki yağlarının rafinasiya edilməsində, pivənin stabilləşməsində, likor-araq istehsalında spirtin və su-spirt qarışıqlarının təmizlənməsində istifadə edilir. Adsorbsiyadan suların təmizlənməsində və istehsalatın digər tullantılarının təmizlənməsində də istifadə edilir.

14.2. Adsorbentlər

Sənaye şəraitində istifadə olunan adsorbentlər aşağıdakı əsas tələbatlara cavab verməlidir: seçicilik (selektivlik) – qarışıqdan yalnız ayrılacaq komponenti (komponentləri) udma qabiliyyəti; maksimal adsorbsion tutumu (aktivliyi) – adsorbentin vahid kütlə və ya həcmə udulan adsorbentlərin miqdarı; adsorbentin regenerasiyası üçün lazım olan hüdudda desorbsiya etmə qabiliyyətinə malik olması; adsorbentin qranullarının kifayət qədər möhkəm olması, əks halda onların parçalanması prosesin hidrodinamikasını pisləşdirir; udulan maddələrə qarşı kimyəvi təsirsiz olmalıdır; aşağı maye dəyərinə malik olmalıdır.

Adsorbentin seçiciliyi və onun adsorbsiya tutumu adsorbentin və adsorbentlərin molekullarının quruluşundan və təbiətindən asılıdır. Bu halda əsas rol xüsusi səthin qiyməti (adsorbentin vahid kütləsinin və ya vahid həcmnin səthi) və adsorbentin bir-biri ilə əlaqəli məsamələrinin ölçüləri, yəni məsamələrin ölçüləri nə qədər kiçikdirsə, adsorbentin xüsusi həcmi bir o qədər böyük və uyğun olaraq onun aktivliyi də yüksək olar.

Adsorbentin aktivliyi adsorbsiya prosesinin şəraitindən, yəni temperaturdan, təzyiqdən (qazlar və buxarlar üçün) və məqsəd komponentləri (komponenti) udulan mühitdə adsorbentlərin konsentrasiyasından asılıdır. Qarışıqın temperaturu nə qədər az, məqsəd komponentlərinin konsentrasiyası və təzyiqi nə qədər çox olarsa, adsorbentin aktivliyi də bir o qədər çox olar.

Adsorbentlərin məsamələrinin ölçülərinə görə üç qrupa bölünür: mikroməsaməli, keçid məsaməli və makroməsaməli.

Mikroməsamələrin radiusu $5-15 \text{ \AA}$, yəni adsorbsiya edən molekulların ölçülərinə uyğun olub onların cəmi həcmi $0,5 \text{ sm}^3/\text{qr}$

təşkil edir. Keçid məsamələrin radiusu 2000 \AA -ya qədər, makroməsamələrin isə 2000 \AA -dan çoxdur. Keçid və iri məsamələr mikroməsamələrə maddənin ötürülməsi üçün nəqletdirici arteriya rolunu oynayır. Makroməsamələrin xüsusi səthi böyük olmur, buna görə də xüsusi səthlərinin cəmi müxtəlif komponentlər üçün 200 -dən $1700 \text{ m}^2/\text{qr}$ intervalında olan mikroməsamələr və keçid məsamələri adsorbentin tutumunu (aktivliyi) təyin edir.

Adsorbsiya prosesinin analizi və adsorbentlərin hesabı üçün adsorbentin bir sıra həndəsi və fiziki xassələri məlum olmalıdır:

- qranulların ekvivalent diametri - d_e (m); məsələn, kürəşəkilli cisimlərdə

$$d_e = 6 / S, \quad (14.1)$$

burada S - qranulların səthinin S_q onun həcminə V_q nisbətidir;

- qranulun (dənəvərin) həqiqi sıxlığı, ρ (kg/m^3);

- qranulun təsəvvür edilən sıxlığı və ya vahid həcmə düşən qranulun kütləsi, ρ_l (kg/m^3);

- adsorbent layının tökülmə sıxlığı və ya kütlə layının tam həcmə nisbəti, ρ_l (kg/m^3);

- adsorbentin qranulları ilə dolmayan layın məsaməliliyi və ya həcm payı, ε_l

$$\varepsilon_l = 1 - (\rho_H / \rho_l); \quad (14.2)$$

- adsorbent maddəsi ilə dolmayan qranulların məsaməliliyi və ya qranulların həcm payı ε_q

$$\varepsilon_q = 1 - (\rho_l / \rho_i). \quad (14.3)$$

Qida sənayesində adsorbent kimi aktivləşmiş kömür, silika-gellər, alümogellər və seolitlərdən geniş istifadə olunur.

Aktivləşdirilmiş kömür müxtəlif növ üzvi xammalın (daş kömürün, ağacın, yonqarların, dəri, kağız, ət istehsalatlarının tullanı

tılarından) quru qovma ilə, sonradan buxar və ya kimyəvi reagentlərlə aktivləşdirilməklə əldə olunur. Müxtəlif markalı aktivləşdirilmiş kömürlərin xüsusi səthi $600-1700 \text{ m}^2/\text{qr}$, mikroməsələrin həcmi $0,3-0,6 \text{ sm}^3/\text{qr}$, tökülmə sıxlığı $320-600 \text{ kq/m}^3$ təşkil edir. Onları $1-7 \text{ mm}$ ölçülü qranul və ya hissəciklərinin ölçüsü $0,15 \text{ mm}$ -dən kiçik tozlar şəklində istifadə edirlər. Aktiv kömürlər yaxşı regenerasiya qabiliyyətinə və bərabər struktura malik olması ilə xarakterizə edilir. Bu da onlardan bir neçə dəfə istifadə etməyə imkan verir və eyni zamanda onları bahalı növ adsorbentlərə aid edir. Onların çatışmayan cəhətləri hava mühitində yanmalarıdır, belə ki, 300°C temperaturda alışırlar.

Qida texnologiyasında aktivləşdirilmiş kömürdən şəkər istehsalında şəkər siroplarının rəngsizləşdirilməsi, spirt və likor-araq istehsalında spirtin və arağın təmizlənməsi, nişasta istehsalında siropların alınması üçün istifadə olunur.

Qida istehsalında təbii mineral xammaldan alınan bir neçə növ adsorbentdən: silikagellərdən, seolitlərdən, gildən və alümoqeldən geniş istifadə olunur. Silisiumdioksidinin termiki və kimyəvi emalı texnologiyasından asılı olaraq silikagel adlanan adsorbentlər qrupu alınmışdır. Onlar inkişaf etmiş məsələlərə malikdir, belə ki, xüsusi səthləri 300 -dən $750 \text{ m}^2/\text{qr}$, məsələlərin həcmi $0,28-0,9 \text{ sm}^3/\text{qr}$, tökülmə sıxlığı $500-800 \text{ kq/m}^3$. Silikagellərin böyük üstünlüyü, alınma prosesində strukturlarının nizamlanma mümkünlüyünün, həmçinin aşağı regenerasiya temperaturunun ($100-200^\circ\text{C}$), yanmamasının, möhkəmliyi və aşağı maya dəyərinin olmasıdır.

Digər geniş yayılmış adsorbent qrupuna mineral xammal kimi alüminium hidrosidinin termiki emalı əsasında alınmış alümoqel daxildir. Bu qrup adsorbentlərin silikagellərə nisbətən məsələlərinin xüsusi səthi kiçikdir ($180-200 \text{ m}^2/\text{q}$), ancaq digər xassələri ilə silikagelə yaxındır.

Seolitlər və ya molekulyar ələklər tərkibində qələvi oksidləri olan alümosilikatlardır. Onlar daimi struktura malik olduğundan yüksək seçicilik aktivliyinə malikdirlər. Seolitlərin ayırıcı qabiliyyəti digər adsorbentlərinkilərdən fərqlənir. Burada adsorbentiv

molekulları seolitin strukturundan elə bil “ələnir”, bununla bağlı seolitlər məsamələrin xüsusi səthi ilə deyil, məsamələrin adsorbatla həcmi dolması ilə xarakterizə edilir, bu da $0,2-0,25 \text{ sm}^3/\text{qr}$ təşkil edir.

Seolitin tökülmə sıxlığı $600-800 \text{ kq/m}^3$ -dur. Son zamanlar sintetik seolitlər yayılmışdır, ancaq onların qiyməti təbii seolitlərdən çox yüksəkdir. Gillər sənaye adsorbentlər içərisində xüsusi yer tutur. Onlar təbiətdə geniş yayılıb və qiymətləri aşağıdır. Gillər başqa sənaye adsorbentlərə nisbətən daha kiçik xüsusi səthə malikdirlər ($35-150 \text{ m}^2/\text{qr}$), tökülmə sıxlığı $400-450 \text{ kq/m}^3$ -dur.

Mineral mənşəli adsorbentlər qida sənayesində şərabların, şirələrin saflaşdırılması, bitki yağlarının və suyun təmizlənməsi üçün istifadə olunur.

14.3. Adsorbsiyada tarazlıq

Qeyd edildiyi kimi adsorbentin aktivliyi tək adsorbentin və udulan maddələrin təbiətindən deyil, həmçinin prosesin şəraitindən də asılıdır. Beləliklə, aktivlik kəmiyyəti a^* ətraf mühətdə udulan komponentin konsentrasiyası (c və ya P) və temperatur funksiyasıdır:

$$a^* = f(P, T); \quad a^* = \varphi(c, T). \quad (14.4)$$

Adətən, bu asılılıqlar eksperimental yolla tapılır. Tarazlıq şəraitində adsorbentin aktivliyinin sabit temperaturda ətraf mühətdə udulan komponentin konsentrasiyasından asılılıq funksiyası qurulur:

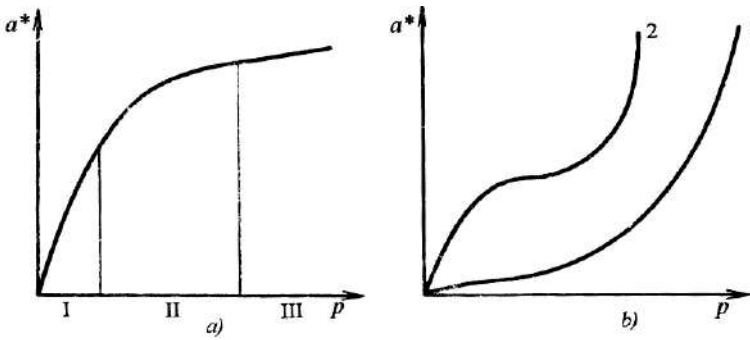
$$a^* = f(P) \text{ və ya } a^* = \varphi(c). \quad (14.5)$$

(14.5) asılılığı adsorbsiya izotermi adlanır, düstur, qrafik və ya cədvəl şəklində verilə bilər.

Belə asılılıq qrafiki şəkildə verilmişdir (şəkl.14.1).

Adsorbsiya əyrisində xarakterik sahələri aşağıdakı kimi ayırmaq olar. Təzyiqin kiçik qiymətlərində (p) aktivlik təzyiqə düz

mütənasibdir (I sahə); orta təzyiqlərdə izoterma parabola şəklində olur (II sahə), sonra böyük təzyiq sahələrində izoterma asimptotik olaraq maksimal qiymətə yaxınlaşır və doyma baş verir (III sahə).



Şək.14.1. Adsorbsiya izotermnlərinin tipləri:

a- prosesin əsas mərhələləri;

b- adsorbsiya izotermnlərinin digər tipləri

Yuxarıda verilən adsorbsiyanın izotermnləri tipik mikroməsəməli və praktiki olaraq keçid məsəmələri olmayan adsorbentlərə uyğundur. İzotermanın batıq (çökək) xarakteri (əyri 1, şək.14.1.b) sübut edir ki, adsorbentiv və adsorbent molekulları arasındakı əlaqəli təsir adsorbat molekulları arasındakından daha zəifdir. Əgər bu zaman izotermanın başlanğıc sahəsində qabarıq əmələ gəlsə (əyri 2), bu adsorbentin makroməsəmələrlə birgə mikroməsəmələrin olmasını göstərir.

Adsorbsiya prosesi zamanı kondensasiyada olduğu kimi istiliyin ayrılması baş verir. Ayrılan istilik sistemdə temperaturun artmasına gətirir ki, bu da adsorbentin aktivliyini aşağı salır. Buna görə istehsalat şəraitində adsorbsiya prosesini apardıqda effektiv rejimdə istiliyi çıxarmaq üçün qurğular nəzərə alınmalıdır.

14.4. Desorbsiya

Yüksək aktivliyi olan adsorbentlər çox bahalı materiallara aid olduğundan, onların təkrar istifadəsi məqsədəuyğun hesab edilir.

Bu səbəbdən adsorbsiya prosesini apardıqdan sonra adsorbenti regenerasiya etmək lazımdır, yəni ondan udulan maddəni ayırmaq lazımdır. Bu proses adsorbsiya prosesinin əksi olub desorbsiya adlanır.

Adsorbentin əsas regenerasiya üsullarına aşağıdakılar aiddir:

1) Adsorbentin temperaturunun artırılması və ya onun üzərində olan təzyiqin aşağı salınması.

2) Qızdırılmış qaz və ya çoxdoymuş buxarla üfürülmə.

3) Daha yüksək adsorbsiyalılığa malik və sadə desorbsiya metodları ilə asan təmizlənən maddələrlə komponentlərin çıxarılması.

Sonuncu üsul kombinə edilmiş üsula aiddir. Prosesin temperaturu yüksək olduqca desorbsiya daha tez və tam baş verir.

Desorbsiya temperaturunun seçilməsində udulan komponentlərin maksimal ayrılmasını təmin etmək lazımdır. Adsorbentin tam regenerasiyasını təmin etmək üçün desorbsiyadan sonra adsorbentin quruma prosesini və sonra da soyudulmasını nəzərə almaq lazımdır.

Adsorbsiyaya nisbətən daha yüksək temperaturlarda baş verdiyindən desorbsiya prosesi daha qısa müddəlidir.

Desorbsiya zamanı adsorbentin ilkin aktivliyini tamamilə bərpa etmək olmur. Bu halda birinci regenerasiya tsiklindən sonra aktivlik daha çox aşağı düşür və hər sonrakı tsikldə aktivliyin düşməsi əvvəlkinə nisbətən daha az olur.

14.5. Adsorbsiya prosesinin hesabat metodları

Adsorbsiya bərk cisim – qaz (maye) sistemində kütlədəyişmə prosesidir.

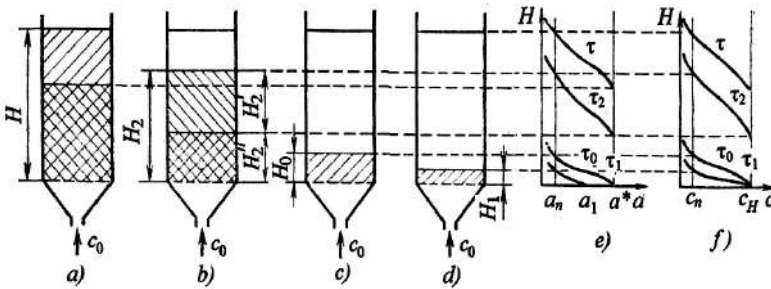
Qeyri-stasionar kütlədəyişmənin adsorbsiya prosesində mövcud hesabat metodlarından istifadə etmək üçün bu prosesin əsas kinetik əmsalları olan molekulyar diffuziya əmsalı və kütləvermə əmsalını bilmək lazımdır. Molekulyar diffuziya əmsalı yalnız müxtəlif adsorbent – adsorbentiv cütləri üçün deyil, həmçinin adsorbsiya şərti və müddətindən asılı olaraq dəyişir.

Kütləvermə əmsalı adsorbsiya aparatlarından və onların ayrı-ayrı elementlərinin konstruktiv xüsusiyyətlərindən asılıdır.

Adsorbentin hərəkətsiz layında prosesin hesabı N.A.Şilov tənliliyinə əsaslanır və prosesin müddəti mühitin axın layının sürəti, mühitdə udulan komponentin konsentrasiyası və adsorbentin tarazlıq aktivliyi arasında olan asılılığı təyin edir.

Adsorbentin ilkin konsentrasiyası c_H olan mühit (şək.14.2, e) ilkin aktivliyi $a_a = 0$ olan hərəkətsiz adsorbent layına daxil olur.

Prosesin ilkin mərhələsində müəyyən zaman müddətində $\tau_1 < \tau_0$, $H_1 < H_0$ layında adsorbentin aktivliyi H_1 hündürlüyündə $a_0 = 0$ qiymətindən $H = 0$ hündürlüyündə a_1 qiymətinə çatır (şək.14.2).



Şək.14.2. Periodik adsorbsiya mexanizmi

Adsorbentin konsentrasiyası uyğun olaraq mühitdə $H = 0$ kəsiyində c_H qiymətindən kiçik c_n -ə qədər aşağı düşür və burada hansı ki, H_1 hündürlüyündə eksperimental yolla tapıla bilər ($c_n \approx 0$) (şək.14.2, d, f). c_n konsentrasiyasına adsorbentin $a_n \approx 0$ aktivliyi uyğundur.

Bu səviyyələr arasındakı məsafədə aparatın şaquli oxuna perpendikulyar kəsiklərdə əmələ gələn bərabər konsentrasiyalar frontu azalan sürətlə hərəkət edir (şək.14.2, e).

Xarakterik kimi zaman kəsiyini $\tau = 0$ qeyd etmək olar (şək. 14.2, *f, e, c*). Bu zaman kəsiyinin sonunda c_n konsentrasiya frontu H_0 hündürlüyünə çatacaq, $H \approx 0$ kəsiyində isə adsorbentin aktivliyi $a = a^*$ bərabərləşəcək, yəni sonsuz kiçik qalınlığında tam işlənmiş adsorbent yaranacaq.

Bu andan başlayaraq maye (qaz) laya daxil olduqda, hər iki konsentrasiya frontu bərabər sürətli hərəkət etməyə başlayır.

Hər hansı sonrakı τ_2 zamanında iki xarakterik sahəyə bölünən H_2 layı əmələ gəlir. $H'_2 = H_0$ hündürlüyündə olan layda (şək. 14.2, *c*), adsorbentin işlənməsi baş verir. Adsorbent və adsorbentin konsentrasiyası H_0 layının τ_0 zamanındakı kimi dəyişir və H''_2 hündürlüyündə olan ikinci layda adsorbent tam işlənmiş olur. Bərabər sürətlə hərəkət etdikdə c_n konsentrasiyalı maye frontu τ_n momentində H hündürlüyünə çatır (şək. 14.2, *a*). Konsentrasiyası c_n olan maye (qaz) frontu adsorbent hissəciklərinin sonuncu layına çatdığı zaman momenti sıçrayış momenti adlanır. Bunun ardınca aparatdan adsorbentin konsentrasiyasının artması ilə maye (qaz) çıxmağa başlayacaq.

Mayenin laya daxil olma momentindən sıçrayış momentinə kimi olan müddət layın qoruyucu təsir müddəti adlanır. N.A.Şilovun nəzəriyyəsinə uyğun layın qoruyucu təsir müddəti aşağıdakı tənliklə hesablanır:

$$\tau = kH - \tau_0, \quad (14.6)$$

burada $k = a^* / w \cdot c_0$, k - Şilovun konstantası;

H - layın ümumi hündürlüyü;

τ_0 - bərabər konsentrasiyalı frontun hərəkətinin azalan sürətinin periodu;

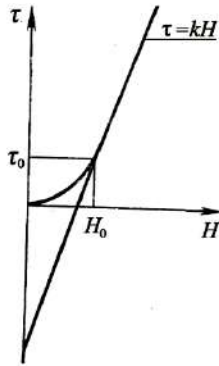
a^* - adsorbentin statiki aktivliyi;

w - mayenin (qazın) laydan keçən hərəkət sürətidir.

(14.6) asılılığı qrafiki olaraq şəkil 14.3-də verilir.

Fasiləsiz adsorbsiyanın hesabı maye-qaz sistemində kütlə dəyişmənin hesabı ilə anoloji aparılır.

Adsorbsiya prosesinin fasiləsiz getməsi üçün adsorbent qaz axınına qarşı hərəkət etməlidir. Bu o zaman mümkündür ki, adsorbentın hissəcikləri tam doyduqdan sonra fasiləsiz regenerasiya etsin və yenidən adsorbsiya prosesi gedən işçi laya daxil olsun. Beləliklə, adsorbentın hissəcikləri (adətən toz şəkilli), üç zonadan keçməlidir (şək.14.4): adsorbsiya H_0 , desorbsiya H_p , qurutma və soyutma $H_{c,p}$ zonaları.



Şək.14.3. Layın qoruyucu təsir müddətinin onun hündürlüyündən asılılığı qrafiki

Son iki zona regenerasiya zonası adlanır. Adsorbsiya zonasının hündürlüyü aşağıdakı tənliklə təyin edilir:

$$H_0 = \frac{V}{S\beta} \int_{c_1}^{c_0} \frac{dc}{c - c_p} = hm, \quad (14.7)$$

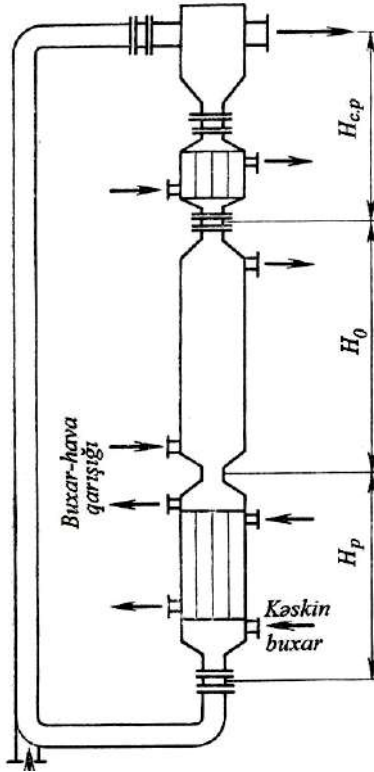
burada V - qaz (maye) fazasının sərfi, m^3/san ;
 S - layın en kəsiyinin sahəsi, m^2 ;
 β - kütləvermə əmsalı, m/san ;
 $h = V / S\beta$;

$$m = \int_{c_1}^{c_0} \frac{dc}{c - c_p} - \text{ötürmə vahidi ədədi};$$

c_0 - adsorbərə daxil olan qaz şəkilli (maye) fazada udulan maddənin konsentrasiyası, kq/m^3 ;

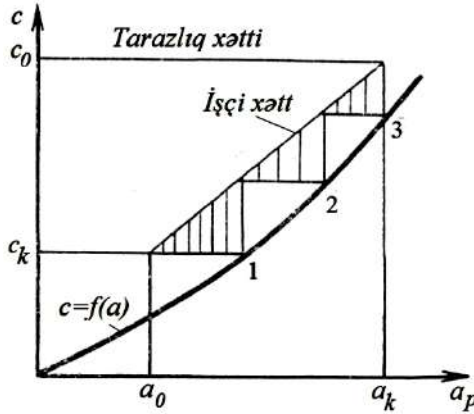
c_1 - adsorbentin çıxışında qaz şəkilli (maye) fazada udulan maddənin konsentrasiyası, kq/m^3 ;

c_p - qaz şəkilli fazada tarazlı konsentrasiyadır, kq/m^3 .



Şək.14.4. Fasiləsiz adsorbsiya aparatında əsas zonalar

Konsentrasiyanın dəyişmə pillələrinin ədədi qrafiki olaraq tarazlı konsentrasiyalar və işçi xəttlər köməyi ilə tapılır (şək.14.5).



Şək.14.5. Dəyişmə pilləsi ədədinin tapılması

Ümumilikdə (tarazlıq xətti əyri olduqda) konsentrasiyaların dəyişmə pillələri müxtəlif qiymətdə olur, buna görə

$$m = \sum_{i=1}^n m_i \quad (14.8)$$

burada

$$m_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{\left[(c_i - c_{i-1}^*) + (c_{i-1} - c_{i-2}^*) \right] / 2} = \frac{2(c_i - c_{i-1})}{c_i - c_{i-2}^*}, \quad (14.9)$$

$$c_{i-1} = c_{i-1}^*.$$

14.6. Adsorberlər

Təsirinə görə adsorberlər periodik və fasiləsiz olurlar.

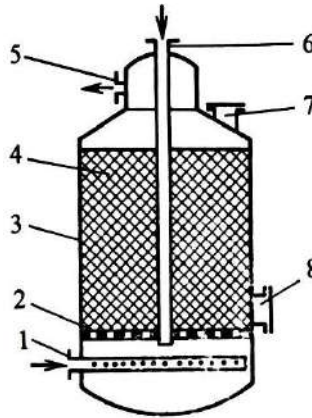
Periodik adsorberlər layın xarakterindən asılı olaraq kip laylı və qaynayan laylı adsorberlərə ayrılır.

Periodik təsirli adsorberlərin əsas elementlərinə (şək.14.6) korpus 3, adsorbent layı 4 yerləşən qaz paylayıcı şadara 2, qaz və maye mühitini daxil etmək üçün ştuser 6, mühit çıxaran 5, adsor-

benti yükləmə 7 və boşaltma 8 lyukları, desorbsiya zamanı kəskin su buxarı vermək üçün paylayıcı qurğu 1.

Üfüqi adsorber də həmin konstruktiv elementlərdən ibarətdir, yalnız silindrik korpus üfüqi vəziyyətdə yerləşir (şək.14.7).

Periodik adsorberin işçi tsikli dörd mərhələdən adsorbsiyadan, desorbsiyadan, adsorbentin qurumasından və adsorbentin soyumasından ibarətdir. Son üç mərhələ köməkçidir, onların cəmi müddəti işçi prosesinin müddətindən az və ya ona bərabər olmalıdır. Bu halda iki periodik aparatın olması prosesin fasiləsiz aparılmasına imkan verir. Burada bir aparatda işçi proses, digərində isə köməkçi regenerasiya prosesi gedir və tsikl başa çatdıqda aparatlar rolunu dəyişir.

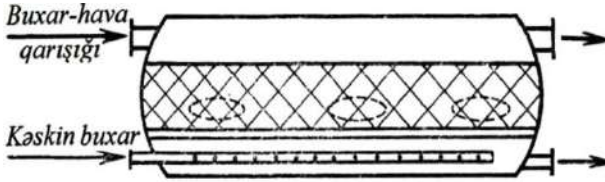


Şək.14.6. Periodik təsirli şaquli adsorberin sxemi

Qaynayan laylı periodik aparatda göstərilən bütün konstruktiv elementlərdən başqa hissəciklərin aparılmasına mane olan separator da quraşdırılmalıdır (şək.14.8).

Hərəkət edən adsorbent laylı aparatda proses fasiləsiz (arası kəsilmədən) gedir. Bərk cisim – qaz sistemli adsorbsiyada belə aparatlar sütun şəklində hazırlanır (şək.14.9) və hündürlüyü boyu seksiyalara ayrılır. Hər bir seksiyanın konstruktiv işlənməsi prosesin müəyyən mərhələsinin keçməsinə təmin edir. Regenerasiyadan sonra adsorbentin soyuması baş verən birinci seksiya köynəkli bo-

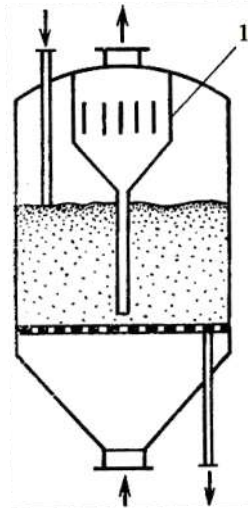
ru lu istilikdəyişən şəklində hazırlanır. Soyuducu maye borulararası məsafədən keçir.



Şək.14.7. Periodik təsirli üfüqi adsorberin sxemi

İkinci seksiyaya adsorberin özüdür. Birinci seksiyadan adsorber qısa borulu paylayıcı boşqabdan 3 ikinci seksiyaya axır. Paylayıcı boşqab sütunun kəsiyi boyunca adsorbentin bərabər paylanması təmin edir və qazın birinci seksiyaya sızmasının qarşısını alır.

Tərkibində udulan maddə olan bütöv mühit paylayıcı qurğuya 2 daxil olur, təmizlənən qaz isə boşqabın altında yerləşən qısa borudan çıxarılır.

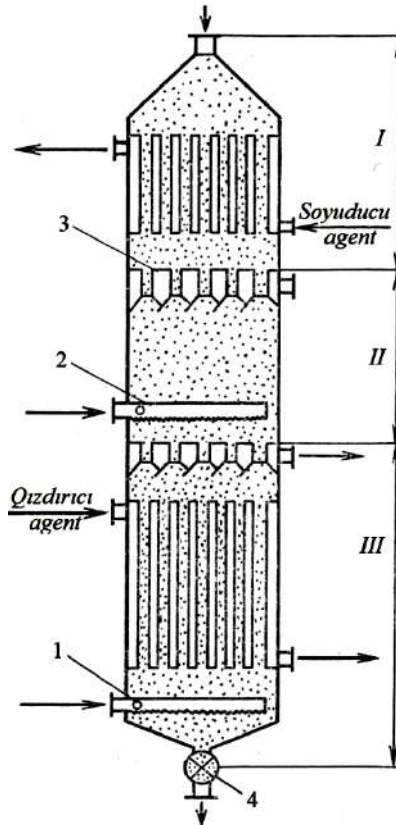


Şək.14.8. “Qaynayan” laylı adsorbentli fasiləsiz təsirli adsorberin sxemi:

1- separator

Aparatın regenerator rolünü oynayan üçüncü seksiyasının əsas hissəsini köynəkli borulu istilik dəyişən tutur ki, burada borulararası məsafədə qızdırıcı agent sirkulyasiya edir. Paylayıcı qurğudan 1 adsorbentin regenerasiyası üçün kəskin buxar daxil olur. II və III seksiyaların kəsişməsində də paylayıcı boşqab yerləşir.

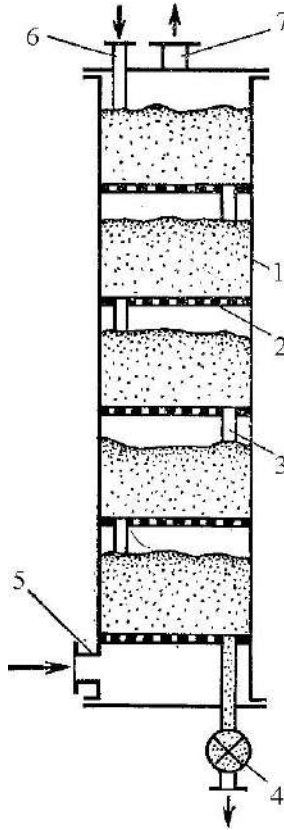
Regenerasiya olmuş adsorbent aparatdan buxarın uçmasına mane olan xüsusi bağlayıcı 4 vasitəsilə çıxarılır. Sonra adsorbentin qurumasını təmin edən pnevmotransportyor vasitəsilə adsorbent fasiləsiz olaraq aparatın üst seksiyasına verilir.



Şək.14.9. Hərəkət edən adsorbent laylı fasiləsiz təsirli adsorbentin sxemi:

1, 2- paylayıcı qurğular; 3- paylayıcı boşqab; 4- bağlayıcı qurğu

“Qaynayan” laylı çoxpilləli adsorber (şək.14.10) kütlədəyişmənin intensiv rejim şəraitində prosesin əksaxınlı prosesə maksimal yaxınlaşmasını təmin edir.



Şək.14.10. Saxta mayələşmiş adsorbentli fasiləsiz təsirli adsorbsiya zonalarının sxemi:

1 - sütun; 2 - qazpaylayıcı qəfəs; 3 - axıdan qısa boru; 4 - bağlama qurğusu; 5 - qaz (maye) axını vermək üçün qısa boru; 6 - yükləyici qısa boru; 7 -qaz (maye) axınını çıxarmaq üçün qısa boru

Adsorbenti mexaniki hərəkətli olan adsorberlər həm bərk cisim – maye, həm də bərk cisim olan qaz sistemində istifadə olu-

na bilər. Konstruktiv olaraq onların sütunlu və lentli ekstraktorlarla bir çox oxşarlıqları vardır.

14.7. İon mübadiləsi

İon mübadiləsi adsorbsiyanın bir növü olub təbiətdə geniş yayılmış proseslərdəndir. İon mübadiləsinin mexanizmi bərk maddə və mayenin sərhədlərinin ayrıcında ikiqat elektrik qatının yaranmasına əsaslanır. Bərk cismin səthi elektrik yüklü olur (müsbət və ya mənfi), ikinci fazanın ionları isə sərhədlərin ayrıcından kiçik məsafədə yerləşərək hissəciklərin xarici səthini, yəni elektrik layını yaradır. Xarici layın ionları fazalar sərhəddinin ayrıcında elektrik qüvvələr ilə saxlanılır. Bu ionlar müəyyən hərəkətliyə malikdir, bunun hesabına mühitdə olan eyni işarəli ionlarla mübadilə edir (maye, qaz), yəni bərk cisimlər mühitdən ionları uda bilirlər.

Bu proses ion adsorbsiyası və ya ion mübadiləsi adlanır, uyğun bərk cisimlər isə ionitlər adlanır.

İonitlər kimi praktiki olaraq suda və üzvi qarışdırıcılarda qarışmayan ion mübadiləsi qabiliyyəti olan təbii və sintetik bərk materiallardan istifadə olunur.

Maddənin ion mübadiləsi (ion dəyişmə) xassələri 1 q ionitin dəyişmə həcmi ilə xarakterizə edilir və ionların milliqram – ekvivalenti ilə ifadə olunur.

Təbii ionitlər (seolitlər, gilli materiallar, appatitlər, sellüloza, nişasta, pambıq və s.) kiçik dəyişmə həcminə malik olmaqla asan əldə olunur və ucuzdurlar.

Sintetik ionitlərin (qatran) yaranması ilə ion texnologiyası geniş yayılmışdır. Bu ionitlər böyük dəyişmə həcminə, mexaniki möhkəmliyə, su və aqressiv mühitlərdə qarışmamaq və regenerasiya qabiliyyətinə malikdirlər.

Müxtəlif kimyəvi tərkibi və strukturu ilə fərqlənən ionitlər bir prinsiplə qurulub izafi yük daşıyan və əks ionları olan karkasdan ibarətdir. İon dəyişmə qatranlarının karkası həmçinin matrisa adlanır, hidrofob karbohidrat zəncirə malik yüksək polimerli fəzal setkadan ibarətdir. Setka zəncirləri arasındakı yuvaların olmasının

və onun elastikliyi hesabına ion qatranlarının danələri şişə bilər. Karkasın bəzi yerlərində (matrisalarda) qatranlara ion dəyişmə xassələri verən funksional aktiv qruplar bərkidilir. İonitin matrisasının yüklərinin və hərəkətli əks ionların işarələri aktiv qrupların xarakterindən asılıdır.

Matrisada bərkidilən yük daşıyanlar fiksasiya edilmiş ionlar adlanır. Dəyişən əks ionların yükünün işarəsinə görə ionitlər kationitlərə, anionitlərə və amfolitlərə ayrılır.

Kationitlər turşu xarakteri daşıyır və müsbət yüklənmiş əks ionları dəyişmə qabiliyyətinə malikdir. Fiksasiya olunmuş qrup kimi kationitlər əsasən mənfi yüklənmiş sulfoqruplardan - SO_3^{2-} , karboksil qruplarından - HCOO^- , fosfor qruplarından - PO_3H^{2-} təşkil olunur.

Uyğun əks ionları dəyişmə qabiliyyətinə görə aşağıdakı sıraya düzmək olar:



Anionitlər ion dəyişmə materiallarının əsas xassələrinin daşıyıcısıdır. Fiksasiya olunmuş ion kimi onlar müsbət yüklənmiş NH_3^+ və NH_2^+ amin qruplarından təşkil olunur.

Dəyişmə qabiliyyətinə görə əks ionları aşağıdakı sıraya düzmək olar^



Eyni işarəli fiksasiya olunmuş ionlardan ibarət ionitlər amfolit adlanır və eyni zamanda uyğun olaraq kationlarla və anionlarla dəyişir. İonitlərin (14.10) və (14.11) sıralarında aşağı səviyyəni tutan doymuş ionla toxunmasında (məsələn, H^+ ionu ilə başqa ionlu qarışıq olan Ca^{2+} ilə) qarışıq və ionitlərarası ion dəyişməsi baş verəcəkdir. Ca^{2+} ionun miqdarı azalacaq və H^+ ionlarının ekvivalent miqdarı əmələ gələcəkdir.

Bu halda ion dəyişmə prosesinin kinetikasi mürəkkəb xarakterə malik olub bir sıra mərhələdən ibarətdir:

- qarışıqdan danələrin səthinə ionun itələnərək diffuziyası (kütləvermə);
- ionit danənin daxilində ionun itələnərək dəyişmə yerinə diffuziya etməsi (molekulyar diffuziya);
- ionit hissəciyində ionlararası kimyəvi dəyişmə reaksiyası;
- ionit danənin daxilində itələnən ionun danənin səthinə diffuziyası (molekulyar diffuziya);
- itələnən ionun danənin səthindən qarışıqın dərinliyinə diffuziyası.

Prosesin sürəti ümumilikdə prosesin qeyd olunan mərhələlərinin sürətlərindən kiçik və ya ona bərabər olacaqdır. Danənin daxilində gedən prosesin sürətini ionit hissəciklərinin böyük xırdalanma dərəcəsinin və prosesin temperaturunun artırılması hesabına artırmaq olar. Xalq təsərrüfatında istifadə olunan ionitlər toz, dən, qranul, liflər, plyonkalar şəklində buraxılır. İri danəli ionitlərin ölçüsü 0,3-2,0 mm, tozşəkillilərin ölçüsü – 0,04-0,07 mm olur. İri danəli ionitlərdən istifadədə sıx layın hündürlüyü 1-3 m, tozşəkilli ionitlərdən istifadədə 0,003-0,01 m ola bilər.

Yüksək keyfiyyətli və bahalı ionitlər aktivliyini itirmədən uzun müddət xidmət edə bilərlər. Kationitlərin regenerasiyası mineral turşuların və ya duzların zəif qarışığı ilə, anionitlərin regenerasiyası isə qələvilərin və ya ammoniyakın qarışığı ilə aparılır və sonradan su ilə emal olunur.

Qida sənayesində ionitlər geniş istifadə olunur. İlk növbədə bu texnoloji tələbatlar üçün istifadə olunan suyun yumşaldılmasına aid olmaqla alkoqolsuz və alkoqollu içkilərin hazırlanmasında suyun codluğu standart qiymətdən yuxarı olmamalıdır. Şəkər sənayesində ionitlərdən şirələrin və siropların təmizlənməsində, şərabçılıqda şərəbin keyfiyyətini və təmizliyi pisləşdirən dəmir və kalsium ionlarının çıxarılmasında, süd sənayesində isə südün kalsium ionlarından təmizlənməsində istifadə olunur.

İon dəyişməsi prosesinin hesabat metodu adsorbsiya prosesinin hesabatından fərqlənir. Bu prosesi aparmaq üçün adsorbsiya aparatlarından istifadə olunur.

Yoxlama sualları

1. Adsorbsiya prosesinin mahiyyəti özündə nəyi əks etdirir? 2. Adsorbsiya prosesinin analizi və adsorberlərin hesabı üçün adsorbent hansı xassələri məlum olmalıdır? 3. Qida sənayesində hansı adsorbentlərdən istifadə olunur? 4. Qida texnologiyasında aktivləşdirilmiş kömürdən nə üçün istifadə olunur? 5. Adsorbentlər hansı xassələrə malik olmalıdır? 6. Adsorbent əsas regenerasiya üsulları hansılardır? 7. Adsorbsiyanın tarazlığı hansı faktorlardan asılıdır? 8. Adsorbent layının qalınlığı nədən asılıdır? 9. Layın qoruyucu təsir müddəti hansı nəzəriyyəyə əsasən hesablanır? 10. Adsorbsiya zonasının hündürlüyü necə təyin olunur? 11. Qazların təmizlənməsi üçün hansı adsorberlərdən istifadə olunur? 12. Təsirinə görə adsorberlər nə cür olur? 13. Adsorbsiya və ion mübadiləsinin prinsipial fərqi nədədir? 14. Hərəkət edən adsorbent laylı fasiləsiz təsirli hissələri hansılardır? 15. Adsorberin hansı sekiyaları vardır? 16. İon dəyişmə prosesinin kinetikasi hansı mərhələdən ibarətdir?

FƏSİL 15 QOVMA

15.1. Qovma nəzəriyyəsinin əsasları

Bir və ya bir neçə uçucu komponentdən ibarət qarışıqın ayrılma prosesi qovma adlanır. Bu prosesin yerinə yetirilməsi üçün əsas şərt komponentlərin müxtəlif uçuculuq qabiliyyətinin olmasıdır. Bununla, eyni temperaturda ayrılan komponentlərin buxarlarının elastikliyi müxtəlif olmalıdır.

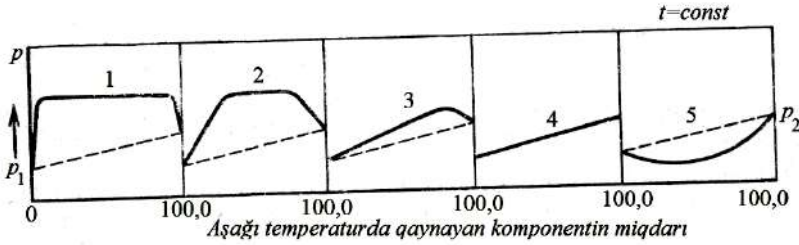
Müxtəlif uçuculuğa malik komponentlərdən ibarət qarışıqın qaynamasında uçuculuğu yüksək olan komponent uçuculuğu az olan komponentə nisbətən buxar fazasına daha tez keçir. Bu, buxar fazasının uçuculuğu yüksək olan komponentlə zənginləşməsinə təmin edir. Qovma prosesindən qida sənayesində geniş istifadə olunur. Belə ki, likor-araq sənayesində bu üsul geniş tətbiq edilir. Qovma prosesindən həmçinin neft sənayesində, sintetik kauçuk istehsalında və meşə-kimya sənayesində də geniş istifadə olunur.

15.2. Binar qarışıqların təsnifatı

Müasir qovma nəzəriyyəsi binar qarışıqlarının qovma qanunauyğunluqlarına əsaslanır. Binar qarışıqlarının qovmasını idarə edən əsas qanunlar D.P.Konovalov və M.S.Vrevski tərəfindən öyrənilmişdir. D.P.Konovalovun işləri təbiətdə təsadüf edilən uçucu komponentlərin binar qarışıqlarını klassifikasiya etməyə imkan verir.

Bu klassifikasiya binar sistemin buxarlarının ümumi təzyiqinin maye fazanın tərkibindən funksional asılılığına əsaslanır.

Əgər üfüqi oxda aşağı temperaturda qaynayan (uçuculuğu yüksək olan) komponentin miqdarını (şək.15.1), şaquli oxda isə qarışıqın ümumi təzyiqini yazsaq, onda qarışıqın xarakterindən asılı olaraq təzyiq xətlərinin müxtəlif olduğunu görürük.



Şək.15.1. Binar qarışıqlarının klassifikasiyası (təsnifatı)

1 xətti komponentin tam qarışması halına uyğundur. Bu halda buxarın ümumi elastikliyi təmiz komponentlərin buxarlar təzyiqinin cəminə o vaxta qədər bərabər olur ki, hər iki komponent nisbi miqdarından asılı olmayaraq maye mühitdə mövcud olur. Belə qarışıqlara benzol və su qarışığı, kükürd, karbon və su qarışığı aiddir.

2 xətti qismən biri-birində qarışan komponentlər qarışığına uyğundur. Belə qarışıqlara su və izoamil spirti, su və izobutil spirti aiddir. Komponentləri bir-birində tam qarışan qarışıqlar üçün 3 xətti verilir. Verilən temperaturda maye fazanın müəyyən tərkibinə cavab verən bu qarışıqların buxarlarının ümumi elastikliyi maksimuma bərabərdir. Belə qarışıqlara etil spirtinin su ilə qarışığı və etil spirtinin benzolla qarışığı aiddir.

4 xətti hədd halına uyğun olur ki, burada komponentlər bir-birində tam qarışaraq xəttin maksimum və ya minimumunu əmələ gətirmir. Bu metil spirtinin və suyun, benzol və ksilolun, ammoniyak və suyun, metil və etil spirtlərinin qarışıqlarına aiddir.

5 xətti komponentlərin bir-birində tam qarışaraq minimum təzyiqə uyğun xüsusi nöqtənin əmələ gəlməsi halına cavab verir. Bu qrupa su və qarışqa turşusunun qarışığı, aseton və xloroformun qarışığı aiddir.

4 xəttinə uyğun qarışıqlar ən sadə və ya idealdırlar. Bu qarışıqların yaranması hiss edilən istilik effekti ilə müşahidə olunmur. Qarışdırmada qarışığın həcmnin sıxılması və ya artması baş vermir. İdeal qarışıqlarında eyni və müxtəlif molekulların cazibə qüvvələri bərabər olur. Bu halda molekulları mayədə saxlayan qüvvə

mayədə bu və ya digər komponentin nisbi miqdarından asılı olur. Verilən temperaturda hər bir komponentin buxarının parsial təzyiqi onun mayədə miqdarına mütənasib olur.

İdeal qarışıqlar Raul qanununa tabe olub P_a komponentli buxarın parsial təzyiqi, bu komponentin doymuş buxarının verilən temperaturda təzyiqinin P_N , onun mayədə molekulyar payının x_a hasilinə bərabərdir, yəni:

$$P_a = P_N \cdot x_a . \quad (15.1)$$

Buxar təzyiqinin xətləri düz xətdən fərqlənir və qarışıqlar hiss olunan istilik effektiv təmiz komponentlərdən əmələ gəlir. Bu, qarışan komponentlərin molekullarının əlaqəli təsirini göstərir. Əgər qeyri-bərabər komponentlərin molekullarının cazibə qüvvəsi bərabər komponentlərinin cazibə qüvvəsindən kiçikdirsə, onda qarışığın buxarın təzyiqi ideal qarışıqların xəttindən yuxarı olacaqdır. Qeyri-bərabər komponentlərin molekullarının cazibə qüvvəsi bərabər komponentlərinin cazibə qüvvəsindən böyük olduqda, əyri ideal qarışıqlar xəttinin altından keçəcəkdir. Əgər ilkin molekulların cazibə qüvvəsi çox kiçikdirsə, onda maye faza iki laya ayrılır. Onların hər biri molekulları buxar fazasına elə ötürür ki, guya o qarışıqda təkdir. Bu halda ümumi təzyiq verilən temperaturda təmiz komponentlərin təzyiqlərinin cəminə bərabər olur.

15.3. Qovmanın əsas qanunları

Bir-birində qarışan iki mayelər üçün faza qanunu aşağıdakı kimi yazılır:

$$S = K - f + 2 = 2 - 2 + 2 = 2 ,$$

burada S - sərbəstlik dərəcəsi ədədi;

f - faza ədədi;

K - komponentlərin sayıdır.

Beləliklə, faza qanunu göstərir ki, sistemin halını təyin edən üç parametrlərdən (temperatur t , təzyiq p və konsentrasiya C)

ikisi sərbəst seçilə bilər. Əgər temperatur və təzyiq verilsə, onda sistemin tərkibi (konsentrasiyası) həm maye, həm də buxar fazası kimi təyin edilə bilər.

Tarazlıqda olan faza tərkibi məsələsi, qovma proseslərinin öyrənilməsinin əsas məsələsidir. Bu proseslərin əsas qanunauyğunluqları D.P.Konovalov tərəfindən müəyyən olunmuşdur. O spirtlərin və üzvi turşuların su qarışıqlarını tədqiq edərək iki qanun təyin etmişdir. D.P.Konovalovun birinci qanununu aşağıdakı kimi yazmaq olar: “Qarışıqla tarazlıqda olan buxarın tərkibində həmişə o komponent olur ki, onun qarışığa əlavə edilməsi qaynama temperaturunu azaldır. Başqa sözlə, buxar o komponentlə zənginləşir ki, onun mayeyə əlavə olunması onun üzərində ümumi buxar təzyiqini artırır.” Bu qanun buxar fazasının keyfiyyət tərkibini təyin edir. Məsələn, etil spirti – su sistemini nəzərdən keçirək. Maye fazaya spirtin əlavə edilməsi bu sistemdə temperaturun azalmasına gətirib çıxarır. Deməli, qaynadıqda buxar fazası spirt buxarları ilə zənginləşir. İdeal qarışıqlarda bu maye fazanın hər hansı halı üçün keçərlidir.

Təzyiq əyrisinin maksimumu və minimumu olan qarışıqlar üçün maye qarışığının tərkibi elə olur ki, ondan ayrılan buxarın tərkibi maye fazanın tərkibi ilə eynilik təşkil edir. Belə qarışıq ayrılmadan qaynayan və ya azeotrop adlanır. Bu qarışığın $p-x$ qrafikində yerləşməsi D.P.Konovalovun ikinci qanunu ilə təyin olunur. “Qarışıqların buxar təzyiqlərinin ekstremumlarında maye və buxar fazalarının tərkibləri eynidir”.

D.P.Konovalovun ikinci qanunu göstərir ki, əgər tərkib – təzyiq əyrisində əyilmə nöqtəsi olarsa (3 və 5 xətti şəkl.15.1), onda bu nöqtədə hər iki fazalarda komponentlərin konsentrasiyaları eyni olacaqdır. Bu qrup ayrılmadan qaynayan qarışıqlara etil spirti və su, etil spirti və benzol qarışıqları aiddir.

15.4. Tarazlıq əyriləri

Bu və ya digər binar qarışığının qovma prosesinin öyrənilməsi üçün maye fazanın tərkibindən asılı olaraq buxar fazasının tərkibi-

ni bilmək lazımdır. İdeal qarışıqlardan başqa bütün qarışıqlar üçün bu tərkiblərin nisbəti eksperimental yolla təyin edilir. İdeal qarışıqlar üçün buxar fazasının tarazlı tərkibi asan hesablanabilir. Eksperimental yolla təyin edilmiş tarazlı tərkib aşağıdakı cədvəli qurmağa əsas verir (cədv.15.1).

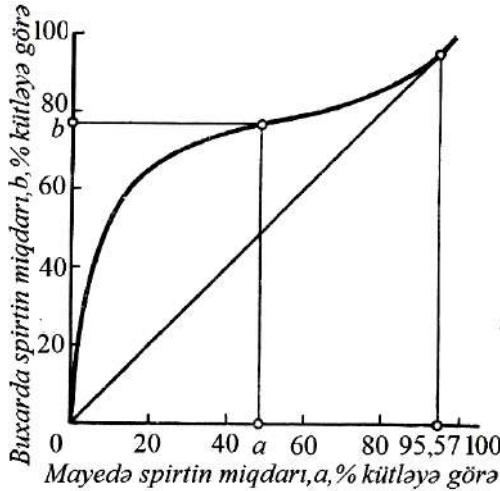
Rektifikasiya prosesini nəzərdən keçirdikdə (faza tərkibini təyin etdikdə) cədvəldə verilən işarələrdən istifadə edilir.

Cədvəl 15.1

Rektifikasiya prosesinin faza tərkibinin təyini üçün verilən işarələr

Faza	Komponentlərin tərkibi			
	% mol		% kütlə	
	aşağı temp. qaynayan komp.	yuxarı temp. qaynayan komp.	aşağı temp. qaynayan komp.	yuxarı temp. qaynayan komp.
Maye	x	$100-x$	a	$100-a$
Buxar	y	$100-y$	b	$100-b$

Təcrübə qiymətlərindən istifadə edərək buxar fazasının tərkibinin maye fazası tərkibindən asılılıq qrafikini qurmaq olar (şək. 15.2).



Şək.15.2. Tarazlıq əyrisi

Şəkildə təsvir edilən tarazlıq əyrisi $y-x$ (% mol) koordinatlarında və ya $b-a$ (% kütlə) koordinatlarında qurulur.

D.P.Konovalovun birinci qanununa əsasən etil spirti – su sistemi üçün əyri diaqonalin yuxarisından keçir. Deməli, maye faza ilə müqayisədə buxar spirtlə zənginlənmiş olur. Ancaq D.P.Konovalovun ikinci qanununa görə əyri diaqonalla bir nöqtədə kəsişir. Bu nöqtə ayrılmadan qaynayan qarışığın tərkibini göstərən azeotrop nöqtədir. Normal təzyiqdə etil spirti – su sisteminin ayrılmadan qaynayan qarışığı $78,15^{\circ}\text{C}$ qaynama temperaturunda $95,57\%$ kütləyə malik spirtdən ibarətdir və həmin təzyiqdə etil spirtinin qaynama temperaturu $78,3^{\circ}\text{C}$, suyun qaynama temperaturu 100°C olur.

15.5. M.S.Vrevskinin qanunları

İzobarik şərtlər üçün şəkil 15.2-də təsvir edilən qrafik qurulmuşdur. Sistemdə təzyiq dəyişdikdə tarazlıq əyrisinin yeri dəyişir.

Sistemdə təzyiqin dəyişməsi zamanı tarazlığın dəyişməsinə idarə edən qanunlar D.P.Konovalovun şagirdi M.S.Vrevski tərəfindən müəyyən olunmuşdur və o, iki qanunun müəllifidir.

1. İki mayenin qarışığının qaynama temperaturu (təzyiq) artdıqda buxarlanması daha çox enerji tələb edən komponentin buxarlarda nisbi tərkibi artır.

2. Maksimum elastikliyi olan buxar qarışıqlarının qaynama temperaturu (təzyiqi) artdıqda ayrılmadan qaynayan qarışıqda buxarlanması daha yüksək enerji sərfi tələb edən komponentin nisbi tərkibi artır. Buxarlarının elastikliyi minimumu olan qarışıqların qaynama temperaturu ayrılmadan qaynayan qarışıqlarda buxarlanması az enerji sərfi tələb edən komponentin nisbi tərkibi artır.

M.S.Vrevski tərəfindən təyin edilən qanunlar həm onun öz eksperimentləri ilə, həm də digər tədqiqatçıların işləri ilə sübut olunmuşdur. Onlar sistemin təzyiqinin dəyişməsində tarazlı tərpənin (dəyişən) istiqaməti göstərir.

M.S.Vrevskinin qanunları göstərir ki, mayədə spirtin az konsentrasiyasında (21% mol-a qədər) buxarlarda suyun miqdarı artır,

mayədə spirtin yüksək konsentrasiyalarında isə buxarlarda spirtin miqdarı artır.

Azeotrop nöqtəyə gəldikdə isə, sistemdə təzyiqin azalması ayrılmadan qaynayan qarışıqda spirtin miqdarının artmasına gətirib çıxarır.

Müəyyən minimumda bu qarışıq üçün azeotrop nöqtənin minimumu yoxa çıxır və qovma təmiz (susuz) spirt verir. Müxtəlif təzyiqlərdə ayrılmadan qaynayan qarışığın tərkibinin dəyişməsi cədvəl 15.2-də verilir.

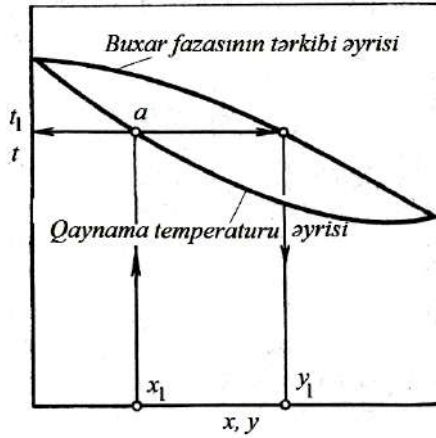
Cədvəl 15.2

Müxtəlif təzyiqlərdə ayrılmadan qaynayan qarışığın tərkibinin dəyişməsi

Qaynama temperaturu, °C	Təzyiq, MPa	Ayrılmadan qaynayan qarışıqda etil spirtinin miqdarı, % kütlə
27,92	0,009	100,00
33,35	0,013	99,56
39,20	0,016	98,70
47,60	0,026	97,30
63,04	0,054	96,25
78,15	1,101	95,57
87,12	1,143	95,35
95,35	1,193	95,25

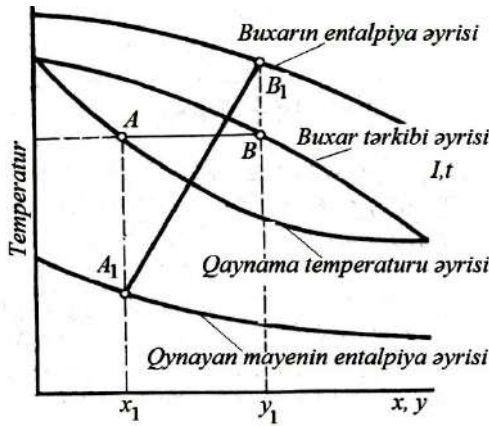
15.6. Temperaturlar və istilik diaqramı

Binar qarışıqların xassəsi temperaturlar diaqramı adlanan diaqramla verilə bilər (şəkl.15.3). Bu diaqramın şaquli ordinat oxunda qaynama temperaturu, üfüqi absis oxunda maye və buxar fazalarda aşağı temperaturda qaynayan komponentin tərkibi qeyd olunur. Əgər qaynama temperaturunu t_1 və buxar fazasının tərkibini (miqdarını) y_1 təyin etmək lazım gələrsə, onda qrafik aşağıdakı kimi qurulur. x_1 nöqtəsindən temperatur əyrisi ilə kəsişənə qədər perpendikulyar çəkilir (a nöqtəsi) və a nöqtəsindən üfüqi xətt çəkərək qaynama temperaturunu t_1 alır. y_1 buxarının tərkibini buxar tərkibi əyrisinin köməyi ilə tapırıq (şəkl.12.3).



Şəkil 15.3. Temperaturlar diaqramı ($t-x-y$)

Şəkil 13.4-də binar qarışıq üçün istilik diaqramı verilir. İstilik diaqramı $I-t-x-y$ koordinatlarında qurulur. Diaqramın şaquli oxunda istilik tutumu, üfüqi oxunda isə maye və buxar fazalarının tərkibi verilir.



Şəkil 15.4. İstilik diaqramı ($I-t-x-y$)

Koordinatlarda qaynayan qarışığın istilik tutumu əyrisi və doymuş buxarın istilik tutumu əyrisi qurulur. Əgər diaqramın şaq-

quli oxunda t miqyasını qeyd etsək, onda həmin qrafikdə qaynama temperaturunu və buxar tərkibi əyrisini qurmaq olar. $t-x-y$ koordinatlarında AB izotermini çəkməklə bu izotermi $I-x-y$ koordinatlarına keçirə bilərik. Bunun üçün A nöqtəsindən qaynayan mayenin istilik tutumu xəttinə perpendikulyar endiririk (A_1 nöqtəsi) və B nöqtəsindən buxarın istilik tutumu əyrisinə perpendikulyar çəkirik (B_1 nöqtəsi). A_1 və B_1 nöqtələrini birləşdirərək $I-x-y$ koordinatlarında A_1-B_1 izotermini alırıq. Şəkildən aydın olur ki, A_1 və B_1 nöqtələrindən absis oxuna düşən perpendikulyarlar maye və buxarın tarazlıq fazlarının tərkibini verir.

15.7. Defleqmasiya haqqında anlayış

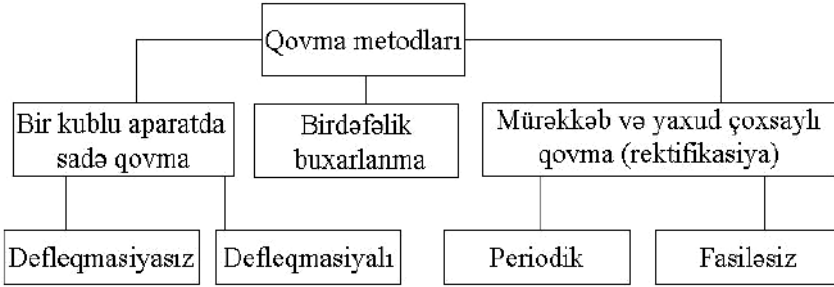
Maye binar qarışığında buxarın yaranması zamanı buxarlar aşağı temperaturda qaynayan komponentlərlə zənginləşir. İki komponentdən ibarət buxarların kondensasiyası prosesini nəzərdən keçirək (şək.15.2). Tarazlıq diaqramından görüldüyü kimi $b\%$ aşağı temperaturda qaynayan komponenti olan buxar $a\%$ aşağı temperaturda qaynayan komponenti olan maye ilə tarazlıqda olur. Buna görə bu buxarın qismən kondensasiyası zamanı qalan buxar fazası aşağı temperaturda qaynayan komponentlə zənginləşir.

Faza tərkibinin dəyişməsi ilə müşahidə olunan qismən kondensasiya defleqmasiya adlanır. Beləliklə, qalan buxar fazasının aşağı temperaturda qaynayan komponentlə zənginləşməsi ilə müşahidə olunan buxar qarışığının kondensasiyası defleqmasiya adlanır. Bu zaman əmələ gələn maye faza fleqma adlanır. Defleqmasiya prosesi həmçinin uçucu komponentlərin qarışığının ayrılması üçün də istifadə oluna bilər.

15.8. Qovma proseslərinin klassifikasiyası

Qida istehsalında istifadə olunan qovma metodları müxtəlifdir. Bu metodların klassifikasiyası sxemdə verilir (şək.15.5). Bütün bu

qovmaların başında qovucu kubda yerinə yetirilən qovma durur. Adi qovma konyak və efir yağları istehsalında istifadə olunur.

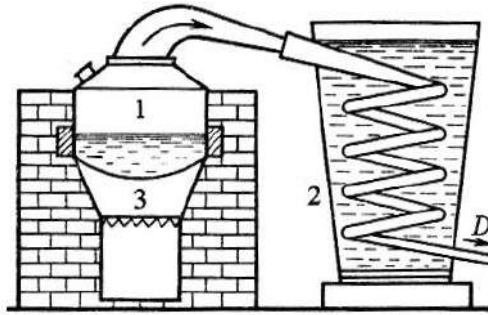


Şək.15.5. Qida sənayesində istifadə olunan qovma metodlarının klassifikasiyası

15.9. Adi qovma prosesi

Şəkil 15.6-da adi qovma üçün aparat verilmişdir. Əgər kubun səthi izolyasiya olunubsa, onda hesab etmək olar ki, onun daxili səthində buxarlar kondensasiya etmir, yəni aparat defleqmasiyasız işləyir və kubda 1 əmələ gələn buxarlar soyuducuya 2 daxil olur və burada kondensasiya edərək distilyat D əmələ gətirir. Belə tək kubun işçi tsikli aşağıdakı: dolma, kubdakı məhlulun qaynayana qədər qızdırılması, qovma, qalığın çıxarılması və yenidən kubun doldurulması əməliyyatlarından ibarətdir.

Qovma prosesində kubdakı aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı fasiləsiz olaraq dəyişir. Əmələ gələn buxarlarda aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı maye fazasına nisbətən çoxdur və buna görə də qovma müddəti boyunca kubda qalan mayədə aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyası azalır. Bu səbəbdən qovma boyunca aşağı temperaturda qaynayan komponentin əmələ gələn buxarda miqdarı azalır və buna görə də ardıcıl ayrılan distilyat paylarında aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı müxtəlif olur.



Şək.15.6. Adi kub aparatı:

1- kub; 2- soyuducu; 3- odluq

Defleqmasiyasız işləyən kubda adi qovmanın material balansını quraq. Qovmanın hər hansı bir momentində kubda olan qarışığın miqdarını W ilə (kq) işarə edək. Bu zaman həmin qarışıqda olan aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı $Wa/100$ (kq) olacaqdır. Sonsuz kiçik zaman kəsiyində kubda olan qarışıqdan $b\%$ aşağı temperaturda qaynayan komponenti olan dW (kq) buxar ayrılacaq və bu zaman kubda aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyası da – ya qədər azalacaqdır.

Beləliklə,

$$Wa = (W - dW)(a - da) + dWb.$$

Dəyişiklik edərək, alırıq:

$$\begin{aligned} Wa &= Wa - Wda - dWa + dWda + dWb \\ -Wda - dWa + dWb &= 0 \end{aligned}$$

Buradan

$$dW/W = da/(b + a) \quad (15.2)$$

Kubda qarışığın (məhlulun) ilkin qiymətini W_0 ilə, aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarını a ilə işarə edək. Uyğun olaraq qovmanın sonunda qalığın kütləsini W_1 , aşağı tempe-

raturda qaynayan komponentin miqdarını isə a_1 ilə işarə edək. Alınan tənliyin sol hissəsini W_0 -dan W_1 -ə kimi, sağ hissəsini isə a_0 -dan a_1 -ə kimi inteqrallasaq, onda

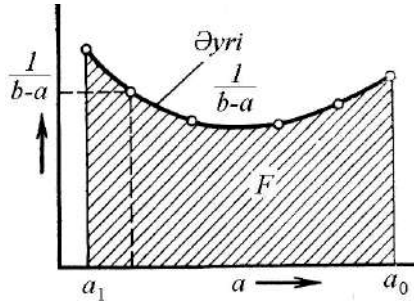
$$\int_{W_0}^{W_1} \frac{dW}{W} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b-a}$$

və ya

$$\ln \frac{W_1}{W_0} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b-a}. \quad (15.3)$$

Bu tənlikləri inteqrallamaq üçün b -nı a ilə əvəz etmək lazımdır, ancaq bu həmişə mümkün olmur. Buna görə bu tənliyin həlli qrafiki metodla təyin edilir.

Tənliyin sağ tərəfinin ədədi qiymətini təyin etmək üçün $a - 1/(b-a)$ koordinatlarında qrafik qurulur (şək.15.7).



Şək.15.7. K kəmiyyətinin qrafiki təyin edilməsi

İnteqraltı funksiyasının əyrisi tarazlıq cədvəlinin və ya tarazlıq əyrisinin köməyi ilə qurulur. Bunun üçün b -yə qiymət verərək $1/(b-a)$ qiymətini tapırlar. Şəkil 15.7-də ştrixlənən sahə

F müəyyən miqyasda $\int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{b-a}$ - nı ifadə edir. F sahəsini miqyasa

vuraraq inteqralın ədədi qiyməti tapılır və K ilə işarə edilir. Beləliklə,

$$\ln W_1 / W_0 = K .$$

Əgər W_0 , a_1 və a_0 verilərsə, buradan W_1 -in qiyməti tapıla bilər. Distilyatın miqdarı $D = W_0 - W_1$. Burada aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı $W_0 a_0 - W_1 a_1$ olacaqdır.

Qovma müddətində alınan aşağı temperaturda qaynayan komponentin orta miqdarı

$$(W_0 a_0 - W_1 a_1) / (W_0 - W_1) = b_{Dr} \quad (15.4)$$

Etil spirti və su məhlulunda adi qovmanın effektivliyi cədvəl 15.3-də verilmişdir.

Cədvəl 15.3

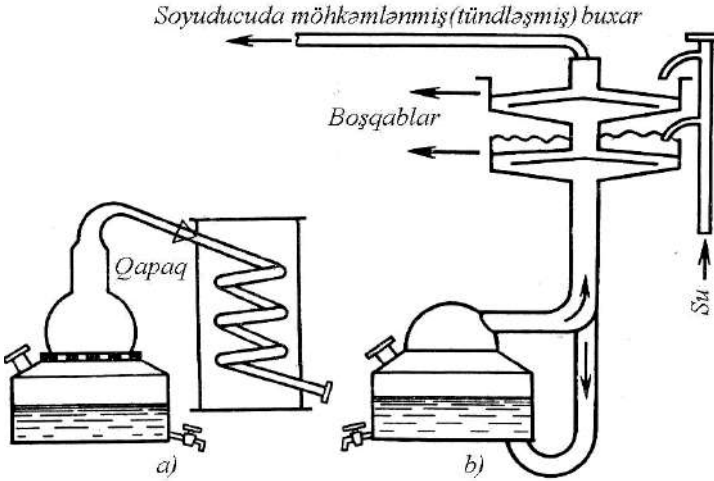
Etil spirti və su məhlulunda adi qovmanın effektivliyi

Kubda aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı, %	Distilyatın çıxması, %-lə məhlulun kütləsinə görə		
	10	25	50
30	65	58,0	39,4
30	74	69,0	58,0
40	75	73,2	68,0
50	77	76,0	74,5
60	80	78,5	78,0
70	83	82,2	81,0
75	84	83,0	81,5

Defleqmasiya aparatın tündləşdirmə effektini artırır. Bunun üçün kub aparatları tərtibatla təchiz olunur. Sadə tərtibat kimi kubun üstündə yerləşən və hava ilə soyudulan qapaqdan istifadə olunur. Şəkil 15.8 - də defleqmasiya qurğulu kub aparatları göstərilir.

Defleqmasiya prosesinin hesabına belə aparatda tündləşdirmə (möhkəmləndirmə) effekti defleqmasiyasız aparatda olan tündləşdirmə effektindən böyükdür. Belə aparatda alınan distilyatda aşağı

temperaturda qaynayan komponent defleqmasiyasız aparatda alınan distilyata nisbətən çox olur.



Şək.15.8. Defleqmasiya qurğulu sadə kub aparatları:
a- qapaqlı; b- boşqablı

Əgər defleqmasiyasız iş zamanı aşağı temperaturda qaynayan komponentin orta konsentrasiyasını C_{or} , defleqmasiyalı da isə C'_{or} ilə işarə etsək, onda defleqmasiya əmsalı

$$\sigma = C'_{or} / C_{or},$$

burada σ vahiddən böyük olacaqdır.

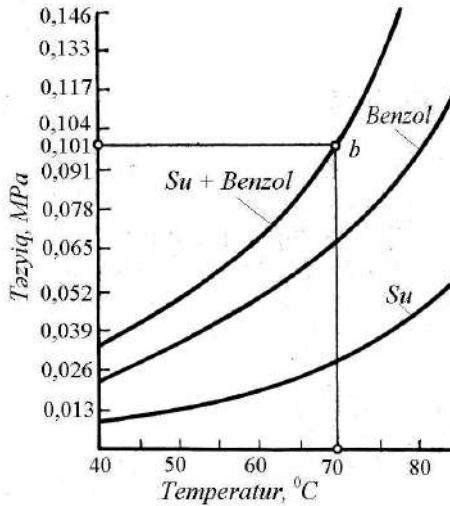
15.10. Vakuüm altında adi qovma. Su buxarı ilə qovma

Əgər qovmanı aşağı temperaturda aparmaq lazımdırsa, onda vakuümdən istifadə olunur. Kondensator kondensasiya etməyən qazları sovuran vakuüm-nasosla birləşdirilir. Bu zaman Vrevski qanununa uyğun olaraq faza tarazlığında yerdəyişmə baş verir. Təsirsiz komponent olduqda qovma temperaturunu azaltmaq olar.

Bu komponent kimi su buxarından istifadə olunur. Bu səbəbdən belə qovma su buxarı ilə qovma adlanır.

Kubda bir-birində qarışmayan iki komponenti (komponentlərdən biri su) olan qovmanı nəzərdən keçirək, məsələn, su və benzol qarışığı. Məlumdur ki, bu qarışığın qaynaması zamanı hər bir komponent buxar fazasına bir-birindən asılı olmayaraq keçəcəkdir. Qovmanın ümumi təzyiqi atmosfer təzyiqinə bərabərdir. Bu halda təmiz su $t = 100^{\circ}\text{C}$ -də qaynayacaq, benzol olduqda təzyiq hər iki komponentin buxarı ilə yarandığından, bu buxarının parsial təzyiqi normal təzyiqdən aşağı olacaq, yəni qaynama temperaturu 100°C -dən aşağı olacaqdır.

Şəkil 15.9 -da benzol və su qarışığının qaynama temperaturunu təyin etmək üçün qrafik verilir.



Şək.15.9. Su buxarı ilə qovmanın qrafiki

Atmosfer təzyiqinə uyğun xətti çəkərək b nöqtəsi tapılır. Bu nöqtə 70°C -yə uyğun nöqtədə çəkilən perpendikulyarda yerləşir. Demək, qovma temperaturu 70°C (daha dəqiq $69,4^{\circ}\text{C}$) olacaqdır. Buxarda su və benzol miqdarının uyğunluğu aşağıdakı tənlikdən tapılır:

$$\frac{p_b}{p_s} = \frac{m_b}{m_s} = \frac{G_b}{M_s}; \quad \frac{G_s}{M_s} = \frac{G_b M_s}{M_b G_s},$$

burada p_b - benzol buxarlarının parsial təzyiqi;

p_s - su buxarlarının parsial təzyiqi;

m_b - buxarda benzolun mol miqdarı;

m_s - buxarda suyun mol miqdarı;

G_b - buxarda benzolun miqdarı, kq;

G_s - suyun molekulyar kütləsi.

Yuxarıdakı tənlikdən alınır:

$$G_b / G_s = p_b M_b / (p_s M_s),$$

$G_b = 1$ kq olarsa, onda

$$G_s = p_s M_s / (p_b M_b) \quad (15.5)$$

Buxarın faktiki sərfi

$$G'_s = [p_s M_s / (p_b M_b)] (1 / \varphi), \quad (15.5a)$$

burada φ - doyma əmsəlidir, qiyməti qovmanın intensivliyindən asılı olub 1 – 0,55 arasında dəyişir.

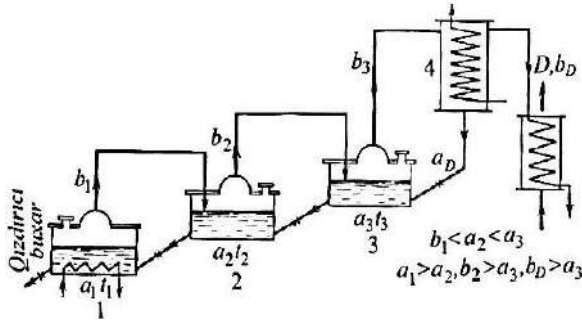
15.11. Mürəkkəb qovma (rektifikasiya)

Adi qovmanın kiçik səmərəliliyi daha səmərəli metodların axtarılmasına səvq edir. Buxarlanmadakı kimi burada da istiliyin təkrar istifadəsi çox sərfəlidir. Ancaq qovma aparatlarında bunun yerinə yetirilməsi özünəməxsus forma almışdır.

Çoxkublu aparatın sxemi şəkil 15.10-da verilmişdir. Bu sxemdə qovulan qarışıqla doldurulmuş üç kub göstərilir. Kublarda aşağı temperaturda qaynayan a komponentinin miqdarı müxtəlifdir. Aşağı temperaturda qaynayan komponentin defleqmatorda 4 konsentrasiyalar fərqi yaranır və burada daxil olan buxarlar kondensa-

siya edərək fleqmanı üst kuba qaytarır. Dayanıqlı iş zamanı buxar birinci kubdan ikinci kuba daxil olur. Burada o kubu dolduran mayenin komponentləri ilə mübadiləyə girir. Bu zaman buxarlar aşağı temperaturda, maye isə yuxarı temperaturda qaynayan komponentlə zənginləşir. İkinci kubdan aşağı temperaturda qaynayan komponentin buxarları üçüncü kuba daxil olur, bu kubda buxarlar bir daha aşağı temperaturda qaynayan komponentlərlə zənginləşir və defleqmatora yönəlir.

Defleqmatorda əmələ gələn fleqmada aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı üçüncü kubdakından çoxdur. O ardıcıl olaraq bütün kublardan keçərək axır və yuxarı temperaturda qaynayan komponentlə zənginləşir.



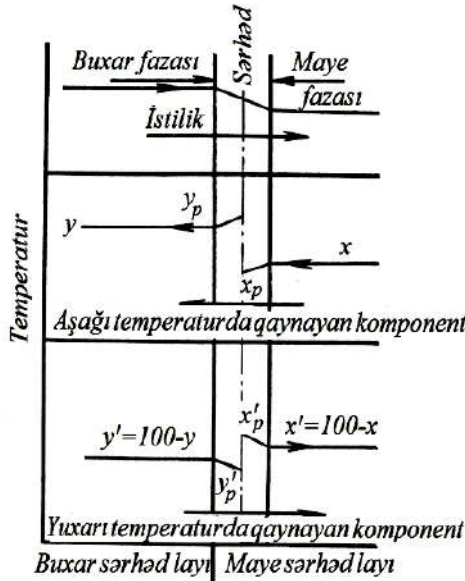
Şək.15.10. Çoxkublu aparatın sxemi

Burada kütlədəyişmə prosesinin hərəkət qüvvəsinin mahiyyətini nəzərdən keçirək. Aşağı temperaturda qaynayan komponentlərin konsentrasiyalarının fərqi səbəbindən kublarda müxtəlif qaynama temperaturu yaranır. Buna görə birinci kubdan ikinciyə və ikincidən üçüncüyə keçən buxarın temperaturu bu kubda qaynama temperaturundan yüksək olur və daxil olan buxar kondensasiya edir. Kondensasiya istiliyi hesabına kubda buxarlanma baş verir. Ayrılan buxarın miqdarı daxil olan buxarın kondensasiyası zamanı ayrılan istiliyə müvafiq olur.

Beləliklə, çoxsaylı qovmada hərəkət qüvvəsi ardıcıl kublarda aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyalar fərqi ilə yaranan temperaturlar fərqi.

Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğuda pilləli temperatur düşməsi ardıcıl korpuslarda təzyiqlərin azalması hesabına baş verir. Qovmada sabit təzyiqdə ardıcıl kublarda aşağı temperaturda qaynayan komponentlərin konsentrasiyalarının fərqi hesabına temperaturun düşməsi müşahidə edilir.

Mürəkkəb qovmada istilik və kütləötürmə prosesləri bir-biri ilə əlaqəlidir, yəni kütlədəyişmə fazalararası istilikdəyişməsiz və istilikdəyişmə isə kütləötürməsiz mümkün deyil. Fazalararası istilik və kütlədəyişmə proseslərini pilyonka nəzəriyyəsi nöqteyi-nəzərindən öyrənmək üçün şəkilə nəzər yetirək (şək.15.11).



Şək.15.11. Rektifikasiyada istilik və kütləötürmənin sxemi:

y_p - aşağı temperaturda qaynayan komponentin buxarda tarazlıq konsentrasiyası; x_p - aşağı temperaturda qaynayan komponentin mayədə tarazlıq konsentrasiyası; y'_p - yuxarı temperaturda qaynayan komponentin buxarda tarazlıq konsentrasiyası; x'_p - yuxarı temperaturda qaynayan komponentin mayədə tarazlıq konsentrasiyası.

Buxar və maye fazaların ayrıcı sərhədi şəkildə göstərilmişdir. Bu sərhədin hər iki tərəfində təmasda olan fazalar plyonka ilə örtülür və burada laminar axın baş verir. Fazaların dəyişdiyi komponentlər bu plyonkadan keçərək sərhədə diffuziya edir, buxar və maye plyonkaların sərhəddində tarazlıq yaranır.

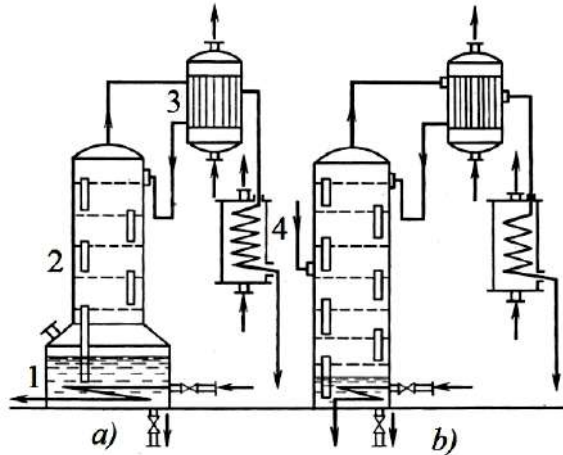
Əsas buxar axınında aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı $y\%$, əsas maye axınında isə $x\%$ nəzərdə tutulur.

İki fazanın ayrıcına $x_p < x$ və $y_p < y$. Bu səbəbdən aşağı temperaturda qaynayan komponent mayedən buxara hərəkət edir. İki fazanın sərhəddində istilik prosesləri, yəni kondensasiya və qaynama buxar və mayenin temperaturlar fərqi hesabına baş verir.

Beləliklə, bu nöqtəyi-nəzərdən rektifikasiya zamanı kütlədəyişmə prosesinin hərəkət qüvvəsi buxar və mayenin temperaturlar fərqi ilə, həmçinin konsentrasiyalar fərqi ilə ifadə oluna bilər.

15.12. Sütunlu aparatlar

Müasir aparatlarda kublar bir-birinin üstündə şaquli yerləşən boşqablarla əvəz olunur. Şəkil 15.12 -də periodik (a) və fasiləsiz (b) təsirli boşqablı aparatların sxemi verilir.



Şək.15.12. Sütunlu aparatlar

Periodik təsirli aparat əsas kubdan 1, boşqablı sütundan 2, defleqmatordan 3 və soyuducudan 4 ibarətdir. Kubdan ayrılan buxar şadaranın dəşiklərindən keçərək sütunun yuxarı hissəsinə qalxır və defleqmatora daxil olur. Əmələ gələn fleqma yenidən üst boşqaba axır. Sonra fleqma boşqablardan keçir və stəkanlara axaraq kuba tökülür. Beləliklə, hər bir boşqab çoxkublu aparatın kubunun rolunu yerinə yetirir.

Qovma zamanı aşağı temperaturda qaynayan mayedən azad olan kub maye qarışığı ilə doldurulur. Bu aparatın iş tsikli adi qovma kubunun işçi tsikli ilə eynidir, ancaq sütunun hesabına əmələ gələn distilyat daha möhkəm olur.

Fasiləsiz təsirli aparatda (şək.15.12) qovulan qarışıq sütunun ortasına verilir. Bu qarışığın daxil olan yerdən yuxarı hissəsi tündləşdirici sütun adlanır.

Sütunun aşağı hissəsi tündləşdirici hissədən axan qarışığın aşağı tükənməsi üçün nəzərdə tutulur və sütunun bu hissəsi tükəndirici hissə adlanır. Fasiləsiz təsirli aparatda qarışığın daxil olması, qalığın və distilyatın çıxarılması fasiləsiz aparılır.

Qızdırıcı buxar həm qapalı və həm də açıq ola bilər.

15.13. Boşqablarda baş verən proseslər

Konstruksiyasından asılı olaraq boşqab buxar və maye arasında sıx əlaqə yaratmağa və mümkün qədər böyük kütlədəyişmə səthini təmin etmək üçün nəzərdə tutulur. Boşqaba daxil olan buxar orada olan mayedən barbotaj edərək keçir. Bu zaman boşqabdan axan buxar şırnaqları və qabarcıqları fleqmadan keçən zona yaradır. Bu zona barbotaj zonası adlanır.

Qovulan maddədə demək olar ki, həmişə köpük əmələ gətirən maddə olduğundan barbotaj zonasının üzərində köpük zonası yaranır və onun üzərində isə sıçrantı zonası yaranır (şək.15.13). Ancaq qarışıqda səthi aktiv maddələr olmadıqda barbotaj zonasının üzərində dayanıqsız köpük zonası yaranır. Bütün bu zonalarda buxar və maye fazaların təmas səthində kütlədəyişmə baş verir. Buxarın sürəti artdıqda sıçrantılar buxarla üstdəki boşqaba aparıla-

raq boşqabdakı aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyasının azalmasına gətirib çıxarır və nəticədə qovmanın effektivliyi azalır.



Şək.15.13. Boşqablararası zonalar

Odur ki, buxar axınının sürəti və boşqablararası məsafə elə olmalıdır ki, köpük və sıçrantıların aparılması baş verməsin və yaxud heç olmasa onlar minimuma çatsın.

Hər üç zonada kontakt səthində fazalar arasında kütlədəyişmə baş verir.

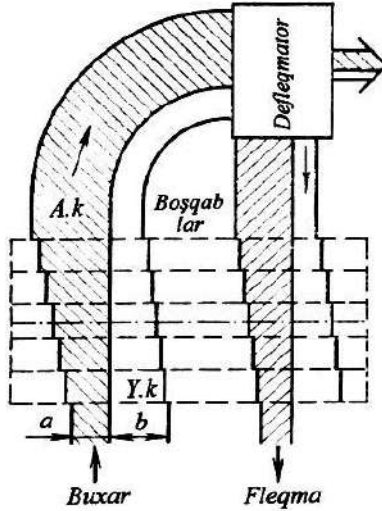
Bu kütlədəyişmə nəticəsində buxar fazasında aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı artır, maye fazasında isə azalır. Bu mübadilə müəyyən miqdarda baş verir.

Əgər fərz etsək ki, kontakt səthində buxar kondensasiya edir və burada istilik itkilərini nəzərə almasaq, onda qəbul etmək olar ki, buxarın kondensasiyası zamanı ayrılan istilik tərkibində çox miqdarda aşağı temperaturda qaynayan komponenti olan ikinci dərəcəli buxarın əmələ gəlməsinə tam sərf olunur.

Məlum olduğu kimi qarışan mayelər üçün molyar buxarlanma istiliyi ($I_m = Mr$ kCoul/mol) təxminən eyni olur, məsələn, etil spirti üçün normal təzyiqdə $I_m = 46 \cdot 878 = 4040$ kCoul/mol; su üçün $I_m = 18 \cdot 2246 = 4050$ kCoul/mol. Beləliklə, n mol buxarın kondensasiyasında n mol yeni buxar əmələ gəlir. Bununla qəbul

etmək olar ki, mol ilə ifadə olunan sütun ilə qalxan buxarın miqdarı və sütun ilə aşağı axan mayenin miqdarı sabit qalır.

Sütunun boşqablarında kütlədəyişmə prosesi qrafiklə ifadə olunur (şək.15.14).



Şək.15.14. Tünləşdirici sütunun boşqablarında kütlədəyişmənin qrafiki

Şəkil 15.14-də fasiləsiz təsirli sütunun üst tündləşdirici hissəsində buxar və fleqmanın axınları göstərilir. Sütunun boşqabları punktir xətlə, buxar və fleqma axınları isə miqyasla göstərilir. Burada a və b vahid zamanda sütun ilə qalxan mol miqdarını verir. Hər boşqabda aşağı temperaturda qaynayan komponentin buxarının miqdarı artır və o qədər də yuxarı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı azalır. Maye fazada əks hal baş verir. Qrafik qurduqda aydın olur ki, deflektor buxar tərkibini dəyişmir, yalnız iki yerə bölür. Qrafikdə göstərilən mürəkkəb kütlədəyişmə prosesi rektifikasiya, proses gedən aparat isə rektifikasiya aparatı adlanır. Rektifikasiya maye və buxarın əksaxın təsiri yolu ilə uçan komponentlərinin maye qarışığının ayrı-ayrı komponentlərə ayrılmasından ibarətdir.

15.14. Rektifikasiya sütununun boşqablarının sayının tayıni

Tündləşdirmə sütunu. Sütunun boşqablar arasındakı buxar və maye tərkibi arasında olan asılılığını yazmaq üçün şəkil 15.14-dən istifadə edək. Sütunda qalxan buxarın molyar miqdarı $G = const$ və axan fleqmanın miqdarı $f = const$ olursa, onda $G - f = const$ olur.

Şəkildən görünür ki,

$$G - f = D. \quad (15.6)$$

İki boşqablar arasındakı kəsik üçün $yG - xf = const$

$$yG - xf = Dx_D, \quad (15.7)$$

(15.6) və (15.7) tənliyindən

$$y = (xf - Dx) / G = (xf - Dx_D) / (f + D);$$

$$y = (xf + Dx_D) / (f + D) = fx / (f + D) + Dx_D / (f + D) \quad (15.8)$$

f / D mütənasibliyini ν ilə işarə edək. ν kəmiyyəti fleqma ədədi və ya poqon nisbətidir.

Fleqma ədədi defleqmatora daxil olan buxar axımının hansı nisbətdə fleqma və distilyata ayrılmasını göstərir.

(15.8) tənliyində f - i νD ilə əvəz etsək, alırıq

$$y = [\nu D / (\nu D + D)]x + Dx_D / (\nu D + D);$$

$$y = [\nu / (\nu + 1)]x + x_D / (\nu + 1) \quad (15.9)$$

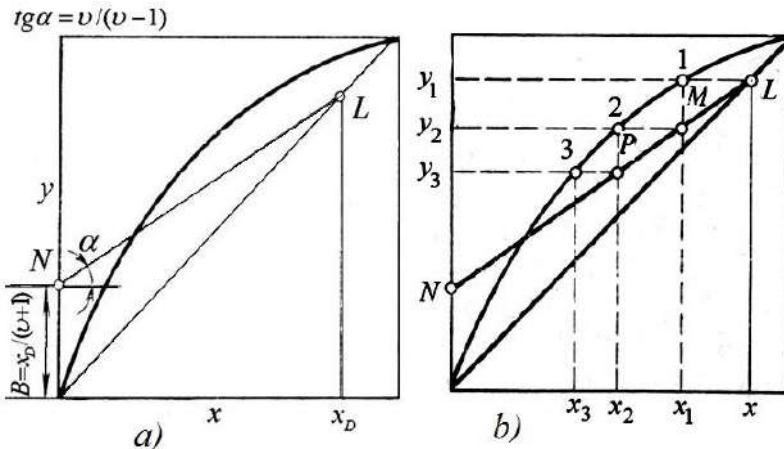
(15.9) tənliyi düz xətt tənliyidir, çünki $\nu = const$ və $x_D = const$ olur.

Bu düz xətt $y = x$ koordinatlarında qurulur. Bu xətt sütunun operativ və ya işçi xətti adlanır və onun qurulması şəkil 15.15, a-

da verilir. Xəttin qurulması başqa yolla da yerinə yetirilə bilər. x_D nöqtəsindən diaqonalla kəsişənə kimi perpendikulyar qurulur və alınan L nöqtəsi N nöqtəsi ilə birləşdirilir.

Fərz olunur ki, defleqmatora daxil olan distilyat, fleqma və buxar eyni tərkibdədirlər. Buradan elə çıxır ki, x_D nöqtəsindən diaqonalla kəsişənə kimi çəkilən perpendikulyar işçi xəttin nöqtələrindən birini verir.

$y = [\nu/(\nu+1)]x + x_D/(\nu+1)$ tənliyindən və tarazlıq tənliyindən istifadə etsək, hər boşqabda ardıcıl olaraq aşağı qaynama temperaturu komponentin buxarda və mayedə tərkibini hesablamaq olar. Bu məsələni ancaq qrafiki olaraq həll etmək olur (şək.15.15,*b*). Bu şəkildə ardıcıl boşqablarda buxar və mayenin tərkibinin təyin edilməsi üçün qrafik qurulmuşdur.



Şək.15.15. Tünləşdirmə sütununun işçi xətlərinin qurulması (a) və boşqablarının sayının qrafiki olaraq təyin edilməsi (b)

Qrafikin qurulması L nöqtəsindən başlayır ($x_D = y_1$). 1 nöqtəsindən üfüqi oxa çəkilən perpendikulyar birinci boşqabda qaynayan mayenin tərkibini verir. İkinci boşqabdan birinci boşqaba qay-

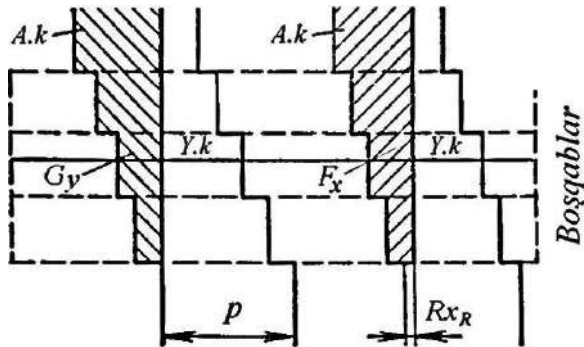
nayaraq qalxan aşağı qaynama temperaturu komponenti y_2 operativ xəttin köməyi ilə tapmaq olar. y_2 -ni tapmaq üçün operativ xətdəki M nöqtəsindən ordinat oxuna xətt çəkilir.

Tarazlıq əyrisindəki 2 nöqtəsi ikinci boşqabda qaynayan mayenin tərkibini verir, operativ xətdəki P nöqtəsi isə üçüncü boşqabdan ikinci boşqaba qalxan buxar xəttini y_3 verir.

Beləliklə, qrafikdəki hər pillə sütunun bir boşqabına uyğundur. Qrafikin qurulması zamanı fərz olunur ki, boşqabda buxar və maye arasında tarazlıq əldə olunur, buna görə bu boşqab nəzəri boşqab və ya konsentrasiya pilləsi adlanır. $x_k = x_3$ bərabərliyində üç konsentrasiya pilləsi tələb olunur.

Tükənmə sütunu. Fasiləsiz təsirli aparatın түкənmə sütunu qovmaya daxil olan qarışıqdan aşağı temperaturda qaynayan komponentin ayrılması üçündür. Onun mayədə konsentrasiyası müəyyən verilən minimumdan az olmalıdır.

Şəkil 15.16-da sütunun sxemi, şəkil 15.17-də isə түкənmə sütununda buxar və mayenin hərəkət qrafiki verilmişdir. Bu sütunda axan mayenin axını iki axından, yəni түndləşdirmə sütunundan gələn fleqmadan f və təzə qarışıq M - dən ibarətdir. Bu sütundan qalxan buxar qızdıran buxarın kondensasiya p hesabına əmələ gəlir. Bu buxar açıq (kəskin) və ya qapalı zəif ola bilər.



Şək.15.16. Bütöv sütunun sxemi

Tükənmə sütunu üçün yazılır:

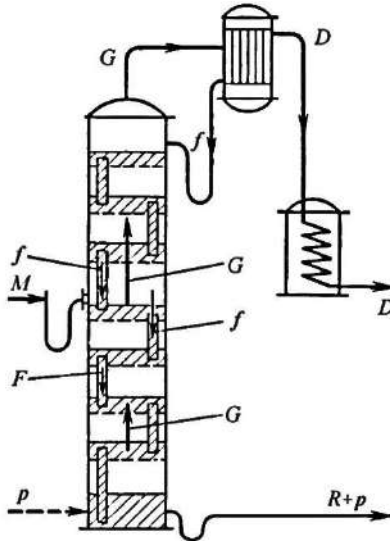
- 1) $M + f = F$;
- 2) $M = R + D$;
- 3) $F - R = G$;
- 4) $F_x - G_y = R x_R$,

burada x və y - tükənmə sütununun hər hansı kəsiyində maye və buxarda aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarı;

R - qovmadan sonra qalıq;

x_R - qalıqda aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarıdır.

- 5) $F_x - G_y = (R + p) x_R$ (açıq buxarla qızdırmada).



Şək.15.17. Tükənmə sütununda buxar və mayenin hərəkət qrafiki

Bu tənliklərdə dəyişiklik edərək mayedə aşağı temperaturda qaynayan komponentin miqdarını alırıq:

$$x = \left[\frac{F - R}{F} \right] y + \left(\frac{R}{F} \right) x_2.$$

$F = M + f$ və $M = R + D$ olduqda

$$x = \frac{M + f - M + D}{M + f} y + \frac{M - D}{M + f} x_R = \frac{f + D}{M + f} y + \frac{M - D}{M + f} x_R.$$

Əgər ilkin kütlənin distilyata nisbəti

$$u = M / D \text{ və } v = f / (D)$$

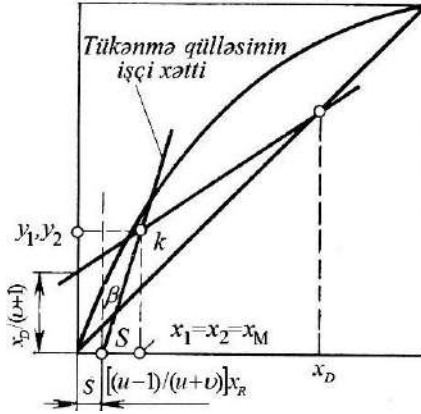
və fleqma ədədi $f = vD$ olarsa, onda $M = uD$.

Buradan

$$x = \left[\frac{(vD + D)}{(uD + vD)} \right] y + \left[\frac{(uD - D)}{(uD + vD)} \right] x_R$$

$$x = \left[\frac{(v+1)}{(u+v)} \right] y + \left[\frac{(u-1)}{(u+v)} \right] x_R. \quad (15.10)$$

Bu ifadə x oxunda $\left[\frac{(u-1)}{(u+v)} \right] x_R$ parçasını kəsən düz xəttin tənliyidir (şək.15.18). Bu xətt şaquli xətlə β bucağı əmələ gətirir və $\operatorname{tg} \beta = \left[\frac{(v+1)}{(u+v)} \right]$ olur.



Şək.15.18. Tükənmə sütununun işçi xəttinin qurulması

Bu qrafikdə tündləşdirmə sütununun işçi xətti qurulur və işçi xətlər K nöqtəsində kəsişir. Bu nöqtənin koordinatlarını tapaq. Onlar $y_2 = y_1$ və $x_2 = x_1$ şərtinə uyğun olmalıdır, 2 indeksi alt sütuna, 1 indeksi isə üst sütuna uyğundur.

Alt sütünün tənliyini yazaq:

$$y_2 = \frac{x_2 - \frac{u-1}{u+\nu}x_R}{\frac{u+1}{u+\nu}} = \frac{u+\nu}{\nu+1}x_2 - \frac{u-1}{\nu+1}x_R = \frac{u+\nu}{\nu+1}x_2 + \frac{1-u}{\nu+1}x_R.$$

Üst sütün üçün tənlik aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$y_1 = [\nu/(\nu+1)]x_1 + x_D/(\nu+1).$$

$y_2 = y_1$ olduğu üçün

$$(u+\nu)x_2 + (1-u)x_R = \nu x_1 + x_D \text{ və ya } \nu x_2 + (1-u)x_R = x_D,$$

Buradan

$$x_2 = [x_D - (1-u)x_R]/\nu;$$

$$\begin{aligned} x_2 &= \frac{x_D - x_R - \nu x_R}{\nu} = \frac{x_D - x_R + (M/D)x_R}{M/D} = \\ &= x_D D/M - x_R D/M + x_R = (D/M)(x_D - x_R) + x_R \end{aligned}$$

Təzə qarışıqın kütləsi

$$M = D + R \text{ və } Mx_M = Dx_D + Rx_R.$$

Buradan

$$x_M = (D/M)x_D + (R/M)x_R$$

və ya

$$x_M = (D/M)x_D + [(M-D)/M]x_R = (D/M)x_D + x_R - (D/M)x_R = (M/D)(x_D - x_R) + x_R$$

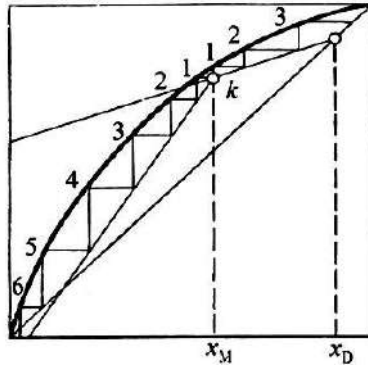
Deməli, $x_2 = x_M$, ancaq $x_1 = x_2$, buradan

$$x_1 = x_2 = x_M \quad (15.11)$$

Beləliklə, qarışıq aparata qaynama temperaturunda daxil olursa, alt sütunun işçi xəttinin qurulmasını asanlaşdırmaq olar. x_M nöqtəsindən üst sütunun işçi xətti ilə kəsişənə qədər perpendikulyar çəkilir və alınan nöqtəni k ilə işarə edirik.

Bu nöqtəni S nöqtəsi ilə birləşdirdikdə alt sütunun işçi xəttini alırıq.

Tükənmə sütununun boşqablar sayı, tündləşdirici sütunun boşqablarının sayı kimi təyin edilir. Bunun qurulması şəkil 15.19-da verilmişdir.



Şək.15.19. Konsentrasiya pilləsinin sayının qrafiki yolla təyini

Alınan konsentrasiya pilləsinin sayı (nəzəri boşqabların sayı) həqiqi boşqabların sayını təyin etmək üçün ilkin kəmiyyət kimi qəbul edilir. Həqiqi boşqabların səmərəlilik ölçüsü boşqabın f.i.ə.-dir.

Vahiddən kiçik olan bu kəmiyyət eksperimental yolla tapılır. Əgər konsentrasiya pillələrinin sayını f.i.ə.-na bölsək, onda həqiqi boşqabların sayını alırıq. Boşqabların f.i.ə. müxtəlif faktorların mürəkkəb funksiyası, yəni boşqabın konstruksiyasının, boşqablar arası məsafənin, buxarın sürətinin, qovulan qarışıqların fiziki xassələrinin funksiyasıdır.

Təcrübədə aparatların hesabatında müxtəlif qovma halları üçün təyin olunmuş f.i.ə.-nin orta qiymətindən istifadə olunur. Boşqabların f.i.ə. 0,25-0,9 intervalında dəyişir.

15.15. Rektifikasiya aparatlarının işinin analizi

Əgər fleqma ədədinin qiyməti dəyişərsə, onda operativ xəttin yeri dəyişəcəkdir. Operativ xəttin hədd vəziyyətini tapaq. Aydın dır ki, həddlərin biri $\nu \sim$, çünki $D \rightarrow 0, \nu = f/D \rightarrow \sim$.

Bu halda operativ xətt diaqonalla üst-üstə düşür, çünki $x_D/(\nu+1) = x_D/\sim = 0$.

Şəkil 15.20,a-dan görünür ki, bu hala ən böyük tündləşdirici effekt uyğun gəlir. Deməli, bu halda boşqabların sayı minimal olacaqdır.

Fleqma ədədinin ikinci hədd qiyməti fleqmanın minimumuna uyğundur. Bu halda operativ xətt tarazlıq əyrisinin N nöqtəsindən keçir. Bu nöqtə x_k nöqtəsindən çəkilən perpendikulyarda yerləşir. Bu halda qovma üçün lazım olan boşqabların sayı sonsuzluğa bərabərdir. Fleqma ədədinin sonradan yenə də azalmasında verilən şəraitdə qovma mümkün deyil.

B_0 parçasını ölçərək ν_{\min} -ni təyin etmək olar, çünki

$$x_D/(\nu_{\min} + 1) = B_0,$$

buradan

$$\nu_{\min} = (x_D - B_0)/B_0.$$

Minimal fleqma ədədi analitik yolla da tapıla bilər.

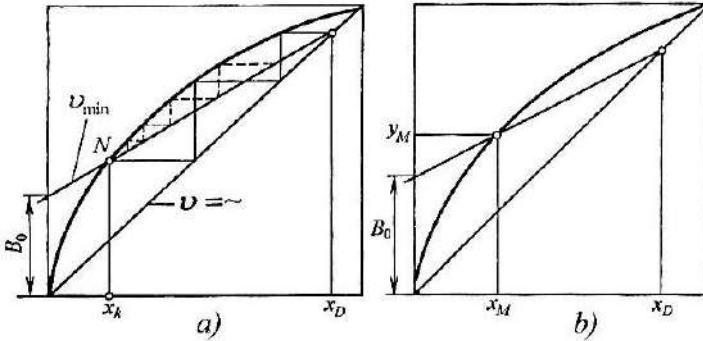
$$y = \left[\frac{\nu}{\nu+1} \right] x + x_D / (\nu+1)$$

tənliyindən yazıla bilər

$$y(\nu+1) = \nu x + x_D; \quad y\nu + y = \nu x + x_D; \quad y\nu - \nu x = x_D - y$$

$$\nu = (x_D - y) / (y - x). \quad (15.12)$$

Əgər $\nu = \nu_{\min}$ olarsa, onda $x = x_M$ olar, yəni aşağı temperaturda qaynayan komponentin mayedə miqdarı qidalandırıcı boşqabda qaynayan həmin komponentin miqdarına bərabərdir, $y = y_M$ (şək. 15.20, b). Burada y_M - maye ilə tarazlıqda olan aşağı temperaturda qaynayan komponentin buxarda miqdarıdır.



Şək.15.20. Fleqma ədədinin hüdud qiymətləri (a) və minimal qiymətinin qrafiki təyini (b)

(15.12) tənliyi bütün binar qarışıqlar üçün istifadə oluna bilər. Məsələn, yəhərşəkili tarazlıq ayrısı olan etil spirti – su sistemi üçün bəzi konsentrasiyalarda bu tənlik istifadə olunmur, tarazlıq ayrısı işi xətlə üç nöqtədə kəsişə bilər.

Fleqmanın minimumu istiliyin minimal sərfinə və boşqabların sonsuz qiymətinə uyğundur. Əksinə $\nu \approx$ olduqda, iş qovma üçün lazım olan boşqabların minimal qiymətinə uyğun gəlir. Əgər spirtin rektifikasiyasında $\nu \approx$ olarsa, onda sütunun tündləşdirmə

qabiliyyəti maksimal olur. Buna görə aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyası üçün “ləngimə” işindən istifadə olunur, yəni distilyat ayırmadan. Belə “ləngimə” sütunun boşqablarında aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyasına səbəb olur, ləngimə bitdikdən sonra komponent sütundan “tullanılır”.

15.16. Optimal fleqma ədədinin seçimi

Sütunun hesabı və işçi xətlərin qurulması üçün fleqma ədədinin qiyməti ν verilmişdir. Bu ədədin seçilməsində K dəfə artırılan ν_{\min} qiymətindən istifadə olunur, lakin burada K əmsalının seçimi daha düzgün olar. Görünür ki, illik xərclərin cəminin minimal qiyməti K -nın optimal qiymətini verəcəkdir. K -nın bu qiymətinin təyini aşağıdakı kimi aparılır. Sütunun iş şəraiti verildikdə K -nın bir sıra qiyməti seçilir və bunlara görə ν_{\min} qiymətini bilərək həqiqi boşqabların sayı, sütunun diametri və hündürlüyü təyin edilir. Bundan sonra sütunun kütləsini G_k təyin edərək onun qiyməti tapılır. Amortizasiyanın qiyməti aşağıdakı düsturla tapılır (man/il):

$$P_a = m_a p_a a_a,$$

burada p_a - aparatın 1 ton kütləyə düşən qiyməti, manat;

m_a - aparatın kütləsi, ton;

a_a - amortizasiya xərcləridir.

İl ərzində fleqmaya sərf olunan buxarın qiyməti

$$P_b = p_b m_b \theta z,$$

burada p_b - 1 ton buxarın qiyməti, man/ton;

m_b - fleqmanın buxarlanmasına sərf olunan buxar sərfi, t/saat;

θ - sütunun sutka ərzində işləmə müddəti, saat;

z - il ərzindəki işçi günlərinin sayıdır.

Bundan başqa defleqmotorun amortizasiya qiymətini nəzərə almaq lazımdır. Bunun üçün K -nın hər bir qəbul olunan qiyməti üçün defleqmotorun sahəsini təyin etmək lazımdır. Bu hesabatlara əsasında defleqmotorun illik amortizasiya qiyməti təyin edilir, man/il:

$$P_D = p_D F a_D,$$

burada p_D - defleqmotorun 1m^2 sahəsinin qiyməti;

F - defleqmotorun səthinin sahəsi;

a_D - amortizasiya xərcləridir.

Sonda sütun quraşdırılacaq binaların amortizasiya qiyməti P_3 təyin edilməlidir

$$P_3 = p_3 a_3 (D + 2a)^2 (H + b),$$

burada p_3 - binanın 1m^3 -nin qiyməti;

a_3 - amortizasiya xərcləri;

D - sütunun diametri;

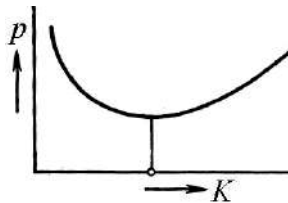
a və b - burada aparatın quraşdırılmasının qiymətini nəzərə alan kəmiyyətlər;

H - sütunun hündürlüyüdür.

Sütunun istismarının cəmi illik qiyməti (man/il)

$$p = P_a + P_b + P_D + P_3$$

İndi şəkil 15.21-də verilən grafik qurula bilər. Üfüqi oxda dairə ilə işarə olunan nöqtə K -nın optimal qiymətini verəcəkdir.



Şək.15.21. Optimal fleqma ədədinin seçilməsi

15.17. Daxil olan qarışıqın temperaturunun qovmanın gedişinə təsiri

Rektifikasiya aparatlarına qovulma üçün daxil olan qarışıqın temperaturu çox vaxt qaynama temperaturundan aşağı olur. Bu halda qidalandırıcı boşqaba gələn buxarlar daxil olan qarışıqı qızdırmaq üçün qismən kondensasiya edir. Bu zaman kondensasiya edən buxar daxil olan qarışıqda aşağı temperaturda qaynayan komponentin konsentrasiyasını artırır və nəticədə qovma elə gedir ki, guya qovulmaya daxil olan qarışıq aşağı temperaturda qaynayan komponentlə zəngindir. Hesablamaq olar ki, kondensasiya hesabına ilkin qarışıqın miqdarı nə qədər artır. Mayeni qaynama temperaturuna çatdırmaq üçün aşağıdakı miqdarda buxar kondensasiya edəcəkdir.

$$\Delta M = MC_q (t_s - t_b) / r, \quad (15.13)$$

burada r - xüsusi kondensasiya istiliyi, kCoul/kq;

M - ilkin qarışıqın kütləsi, kq;

ΔM - kondensatorun kütləsi, kq;

C_q - qarışıqın xüsusi istilik tutumu, kCoul/(kq·K);

t_s - qarışıqın qaynama temperaturu;

t_b - qidalandırıcı qarışıqın temperaturudur.

$(M + \Delta M) / M$ nisbətini K ilə işarə etsək, onda qidalandırıcı boşqabdan axan mayenin miqdarı

$$F_1 = f + KM$$

$$u' = (M + \Delta M) / D = KM / D = Ku.$$

Alt sütunun işçi xəttinin tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$x = [(\nu + 1) / (\nu + u')]y + [(u' - 1) / (u' + \nu)]x_R. \quad (15.14)$$

15.18. Rektifikasiya aparatlarının material və istilik balansları

Fasiləsiz təsirli rektifikasiya aparatının balansının qurulması üçün fərz edək ki, aparatın sütunu qapalı kontura salınır. Kontura daxil olan və oradan xaric olanları nəzərdən keçirək (şək.15.22).

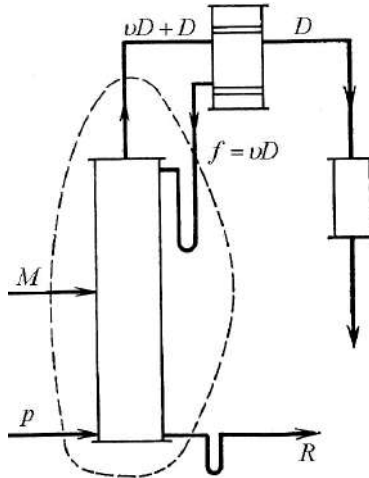
Material balansı

Gəlir (kq/saat):

- 1) qovulmaya daxil olan maye M ;
- 2) qızdırıcı buxar P ;
- 3) fleqma (maye) $f = \nu D$.

Sərf olunan (kq/saat):

- 1) distilyat D ;
- 2) fleqma (buxar) $f = \nu D$;
- 3) qalıq R ;
- 4) qızdırıcı buxarın kondensatı P' , $P = P'$.



Şək.15.22. Rektifikasiya aparatının material balansının qurulma sxemi

Əgər qızdırıcı buxar qapalı olarsa, onda kondensatı qalıqdan ayrı, buxar açıq olduqda isə qalıqla birgə çıxarmaq olar.

$$M + P + \nu D = D + \nu D + R + P, \quad (15.15)$$

buradan

$$M = R + D \quad (15.16)$$

Material balansı əsasında aparatın istilik balansı qurulur.

İstilik balansı.

Gəlir (kCoul/saat):

1) qovulan maye ilə daxil olan istilik

$$Q_M = MC_M t_M,$$

burada C_M və t_M - qarışıqın xüsusi istilik tutumu və temperaturu;

2) qızdırıcı buxarla daxil olan istilik

$$Q_b = P i_b,$$

burada i_b - buxarın xüsusi entalpiyası;

3) maye fleqma ilə gətirilən istilik

$$Q_{fm} = \nu DC_f t_f,$$

burada C_f və t_f - fleqmanın xüsusi istilik tutumu və temperaturudur.

Sərf olunan:

1) distilyatla aparılan istilik,

$$Q_D = D i_D,$$

burada i_D - distilyat buxarlarının xüsusi entalpiyası;

2) fleqma buxarları ilə aparılan istilik,

$$Q_{fb} = \nu D i_D,$$

3) qalıqla aparılan istilik,

$$Q_R = RC_R t_R,$$

burada $R = M - D$, kq/saat;

C_R və t_R - qalığın xüsusi istilik tutumu və temperaturu;

4) kondensatla aparılan istilik,

$$Q_k = PC_k \theta_k,$$

burada C_k və θ_k - kondensatın xüsusi istilik tutumu və temperaturu;

5) ətraf mühitə itən istilik Q_{it} .

İstilik balansını qurmaqla qovulmaya sərf olunan buxarın miqdarını tapılır:

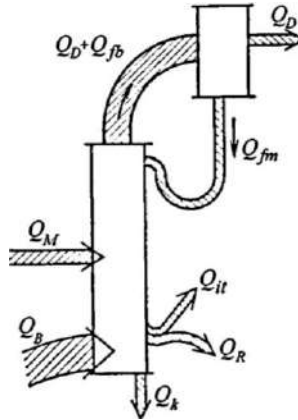
$$MC_M t_M + Pi_b + \nu DC_f t_f = Di_D + \nu Di_D + RC_R t_R + PC_k \theta_k + Q_{it}; \quad (15.17)$$

$$P = \frac{Di_D + \nu D(i_D + C_f t_f) + RC_R t_R + Q_{it} + MC_M t_M}{i_b - PC_k \theta_k}. \quad (15.18)$$

(15.18) tənliyindən aşağıdakı nəticələrə gəlinir:

- 1) fleqma ədədi artdıqda rektifikasiyaya buxar sərfi artır;
- 2) qarışığın temperaturu artdıqda sütuna daxil olan buxar sərfi azalır.

Şəkil 15.23-də aparatın istilik balansını verilir.



Şək.15.23. Rektifikasiya aparatının istilik balansını

15.19. Rektifikasiya aparatlarının konstruksiyası

Konstruksiyasına görə rektifikasiya aparatları aşağıdakı əsas qruplara: boşqablı aparatlar, taxmalı sütunlar, plyonkalı sütunlar, rotorlu aparatlara bölünür (şək.15.24).

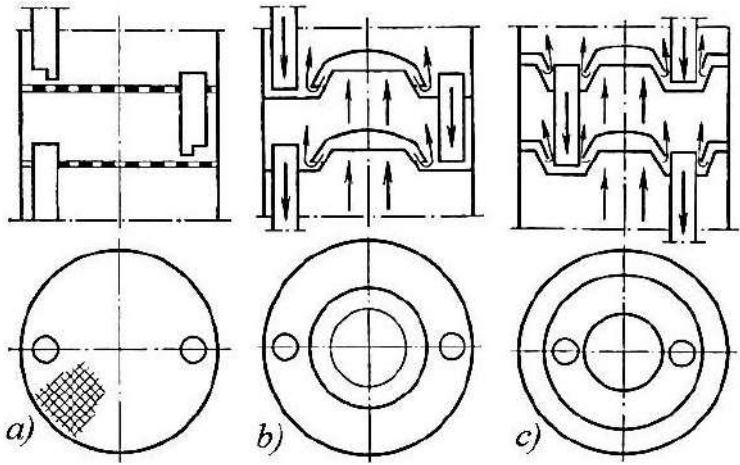
15.19.1. Boşqablı aparatlar. Qida sənayesində ən geniş yayılmış aparatlar boşqablı aparatlardır. Şəkil 15.25,*a*-da iki silindrik stakanlı deşikli boşqablar göstərilmişdir. Bu boşqablardan həm təmiz mayelər, həm də tərkibində asılı hissəcikləri olan mayelər üçün istifadə olunur. Təmiz mayelər üçün deşiklərin diametri 2-3 mm, asılı hissəcikləri olan mayelər üçün 7-8 mm təşkil edir.

Böyük diametrlı sütunlarda mayenin boşqablarla axması zamanı boşqabların giriş və çıxışında mayelərin səviyyəsi arasında xeyli fərq əmələ gəlir və nəticədə sütunların müxtəlif nöqtələrində buxarın qeyri-bərabər keçməsi mümkün olur. Bu halı aradan qaldırmaq üçün boşqablar maye axınına tərəf maili quraşdırılır ki, onun boşqabda səviyyəsi bərabər olur.



Şək.15.24. Rektifikasiya aparatlarının əsas qrupları

Deşikli boşqabların əsas çatışmazlıqları ondan ibarətdir ki, onların üzərindəki buxar təzyiqin hesabına saxlanılır və təzyiq düşdükdə maye boşqabların deşiklərindən tökülür. Bu boşqabların əsas üstünlüyü konstruksiyasının sadəliyidir. Taxmalı boşqablar müxtəlif konstruksiyalı olur. Qida sənayesində istifadə olunan taxmalı boşqablar şəkillərdə verilmişdir (şək.15.25).



Şək.15.25. Taxmalı boşqablar:

a -deşikli boşqab; *b* - birtaxmalı boşqab; *c* - ikili təsirli boşqab

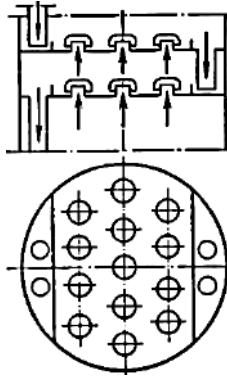
Şəkil 15.25(*b* və *c*)- də adətən, asılı hissəcikləri olan mayeləri qovmaq üçün istifadə olunan boşqablar verilir. Şəkil 15.25,*c*-də verilən boşqab onunla fərqlənir ki, burada buxar mayeyə iki tərəfdən barbotaj edir (taxmanın və cığırın kənarlarından). Buna görə nazik həlqə keçidindən axan maye buxarla sıx əlaqəyə girir. Belə boşqab ikili qaynama boşqabı adlanır. Burada göstərilən maye axıdan stəkanlar oval və ya dairəvi kəsikli hazırlanır.

Şəkil 15.26-da maye axıdan arakəsməli çöxtaxmalı boşqab verilmişdir. Böyük barbotaj perimetrinin hesabına belə boşqab bir taxmalından daha səmərəli işləyir. Axıdan arakəsmələr boşqabda fleqmanın bərabər paylanması üçün şərait yaradır. Buxarın daha yaxşı dispersiya etməsi üçün taxmaların kənarları dişli hazırlanır.

Axıdan stəkanlı boşqabların çatışmamazlıqları boşqabda mayenin qeyri-bərabər səviyyəsinin olmasıdır ki, mayenin boşqabla axmasında onun səviyyəsi azalır. Buna görə mayenin səviyyəsi aşağı olan yerdə buxar mayeni yararaq keçir və boşqab qeyri-bərabər işləyir.

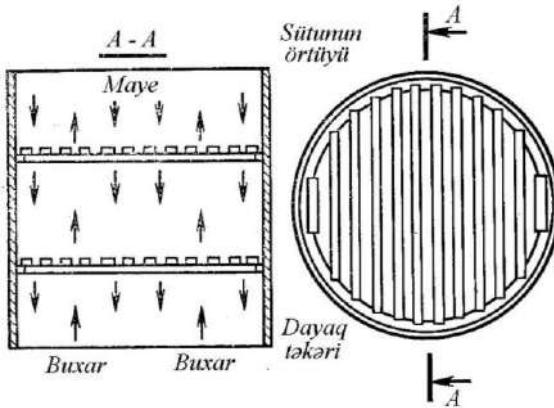
Son zamanlar geniş yayılmış çökəkli boşqablarda bu çatışmamazlıqlar olmur. Bu boşqabların axıdan stəkanları olmadığından

maye fazada buxar barbotaj edən deşiklərdən axır. Çökəkli boşqablar müxtəlif olur.



Şək.15.26. Çoxtaxmalı boşqab

Şəkil 15.27 –də qəfəs tipli çökəkli boşqab verilmişdir. Bu boşqabın deşikləri düzbucaqlıdır. Bundan başqa dairəvi deşikli boşqablar da hazırlanır.

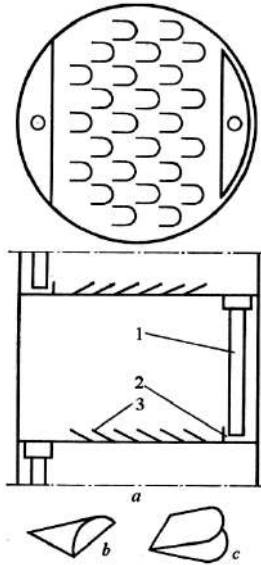


Şək.15.27. Çökəkli qəfəsli boşqab

Təmiz mayelər üçün yarıqların eni 3-4 mm, boşqablararası məsafə isə 300-600 mm olur. Çökəkli boşqablar asılı hissəcikli

mayelər üçün də istifadə oluna bilər. Bu zaman yarıqların eni böyük olmalıdır. Eyni diametrlə çökəkli boşqabların məhsuldarlığı maye axıdan stəkanlı boşqabların məhsuldarlığından böyük olur. Onların əsas çatışmamazlıqları yalnız buxarın müəyyən sürətində səmərəli işləyə bilməsidir.

Digər boşqab tiplərindən olan buxarı və mayeni istiqamətləndirən boşqabları da qeyd edək. Bu boşqablarda buxar mayenin hərəkəti istiqamətində yönəlir və boşqabda mayenin səviyyəsinin düşməsinə səbəb olur. Şəkil 15.28–də pulcuqlu boşqab verilmişdir. Bu boşqabda buxar pulcuq formalı deşiklərdən daxil olub yüksək məhsuldarlığa və sadə quruluşa malikdirlər.



Şək.15.28. Pulcuqlu boşqab:

a- sütunun ümumi görünüşü; 1- maye axıdan stəkan, 2- maye axıtmaq üçün qəbuledici qurğu, 3- pulcuqlar, *b*- arka tipli pulcuq, *c*- plastinka tipli pulcuq

Rektifikasiya sütununun əsas konstruktiv ölçüləri onun diametri, boşqablararası məsafə və sütunun ümumi hündürlüyüdür. Sütunun diametrini təyin etmək üçün aşağıdakı tənlikdən istifadə etmək olar:

$$V = (\pi d^2 / 4) w,$$

burada V - sütunda qalxan buxarların həcmi, m³/san;

d - sütünun diametri, m;

w - buxarın sürətidir, m/san.

Buxarın həcmi aşağıdakı tənlikdən alınır:

$$V = (D + \nu D) 22,4(273 + t) p_n / (273 p), \quad (15.19)$$

burada D - distilyatın miqdarı, kmol/san;

ν - fleqma ədədi;

t - buxarın temperaturu, °C;

p - qüllədə təzyiq, Pa;

p_n - normal təzyiqdir, Pa.

Taxmalı boşqabların su – spirt qarışıqları üçün buxarın optimal sürəti (m/san) aşağıdakı tənlikdən təyin edilir:

$$w = 0,305H / (60 + 0,05H) - 0,012z, \quad (15.20)$$

burada H - boşqablararası məsafə, mm;

z - barbotaj (nüfuz etmə) dərinliyidir, mm.

Barbotaj dərinliyi boşqabda mayedən keçən buxar axınının hərəkət yolunun uzunluğudur. Bu boşqablar üçün buxar sürəti ümumi xarakterli tənlikdən tapılır:

$$w = A \rho^{-n}, \quad (15.21)$$

burada ρ - buxarın sıxlığı, kq/m³;

A və n - boşqablararası məsafədən asılı kəmiyyətlərdir.

A və n -nin qiymətləri cədvəl 15.4-də verilmişdir.

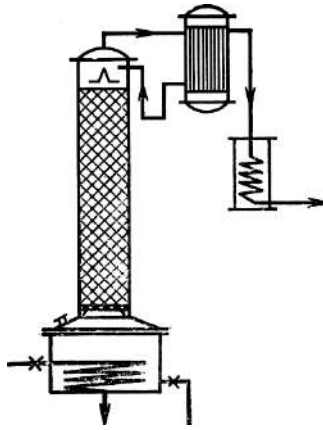
Cədvəl 15.4

A və n -nin qiymətləri

H , mm	A	n	H , mm	A	n
500	1,14	0,465	200	0,82	0,545
400	1,10	0,470	150	0,62	0,490
300	1,02	0,490	135	0,54	0,425

15.19.2. Taxmalı sütunlar (kolonnalar). Qida sənayesində boşqablı rektifikasiya sütunları ilə yanaşı taxmalı sütunlardan da istifadə olunur. Bunlarda maye və buxar arasında əlaqə taxma ilə təmin olunur.

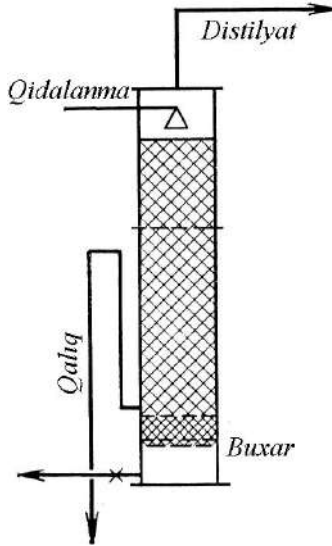
Şəkil 15.29-da periodik təsirli taxmalı sütunun sxemi verilmişdir. Sxemdən görüldüyü kimi taxma bu və ya digər növ forsunkanın köməyi ilə paylanılan fleqma ilə suvarılır. Taxmalı sütun plyonkalı və ya emulqasiya rejimində işləyə bilər. Müəyyən edilmişdir ki, emulqasiya rejimində işlədikdə taxmalı sütunun effektivliyi maksimal olur.



Şək.15.29. Taxmalı sütunlu kub aparatı

Taxmalı sütunların plyonkalı iş rejimi ilə emulqasiya rejimi arasında keçid zonası mövcuddur, burada artıq plyonkalı rejim pozulur, amma buxar fazası bütöv qalır. Buxarın sürətinin və taxmanın fleqma ilə suvarılma sıxlığının artması emulqasiya rejiminin dayanıqlı olmasını təmin edir. Bundan başqa emulqasiya rejimi sütundan qalıqın çıxarılması üçün xüsusi tərtibatların köməyi ilə yaradır. Şəkil 15.30-da emulqasiya rejimində işləyən tükəndirici sütunun sxemi verilmişdir. Bu sütunda qəfəsdə kiçik silindrik həlqələr layının yerləşməsi hesabına mayenin sütunun alt hissəsinə axması çətinləşir. Buna görə maye “U” şəkilli boru ilə ayrılır və bu borunun hündürlüyü sütunda mayenin statiki səviyyəsini tə-

yin edir. Faktiki olaraq bu səviyyə yüksək olacaq, çünki maye faza dispersiya olunmuş buxar qabarcıqları ilə dolur.



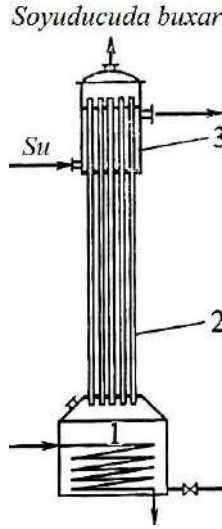
Şək.15.30. Emulqasiya rejimində işləyən taxmalı sütun

Buxarın normaldan artıq sərfində elə olur ki, maye buxar ilə yuxarı aparılır. Bu istənilməyən hallar sütunun “boğulması” adlanır.

15.19.3. Plyonkalı sütunlar. Şəkil 15.31-də periodik təsirli boru tipli plyonkalı rektifikasiya sütununun sxemi verilmişdir. Bu sütunun əsas elementi borucuqlardır 2. Bu borucuqlara ilanvari borularla təchiz olunmuş kubdan 1 buxar daxil olur. Borucuqların üst hissəsində xarici səthi su ilə suvarılan borucuqların soyuması hesabına buxarlar kondensasiya edir. Beləliklə, fleqma bilavasitə borucuqların daxili səthində əmələ gəlir və borucuqlarla aşağı axdıqda çıxan buxarla qarşılaşır.

Buxar və maye arasında kontakt plyonka şəklində axan mayenin səthində baş verir. Fleqma ilə mübadilə nəticəsində aşağı tem-

peraturda qaynayan komponentlə zənginləşmiş buxarlar aparatdan sütunun üst hissəsindən ayrılaraq soyuducuya daxil olur.



Şək.15.31. Boru tipli plyonkalı rektifikasiya sütunu:

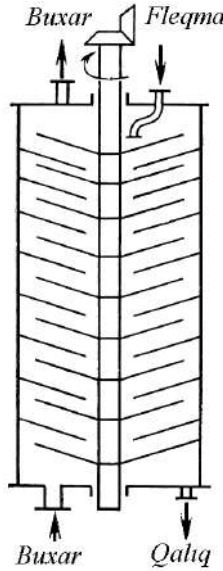
1-ilanvari borularla təchiz olunmuş kub; 2-borucuqlar;
3- su ilə suvarılan borucuqlar

Bu tip plyonkalı aparatlardan başqa fleqma aralı yerləşən defleqmatorda əmələ gəlir və oradan borucuqlu sütuna yönəlir. Belə halda fleqmanın aparatın borularına bərabər paylanması çətinləşir.

Plyonkalı aparatın effektivliyi borucuqların diametrindən asılıdır. Borucuqların diametri azaldıqca effektivlik artır. İstifadə edilən borucuqların diametri 5-20 mm-dir. Eyni tündləşdirici effektiv diametri 6 mm olan plyonkalı aparatların hündürlüyü təxmalı və boşqablı aparatların hündürlüyündən kiçikdir. Bu aparatlardan parfümeriya sənayesində bəzi məhsulların vakuum altında qovulması üçün istifadə edilir.

15.19.4. Rotorlu aparatlar. Rotorlu rektifikasiya aparatları iki qrupa bölünür: a) şaquli vallı; b) üfüqi vallı. Hər iki tip aparatlarda fleqmanın paylanması üçün mərkəzdənqəçmə qüvvəsindən

istifadə olunur. Şəkil 15.32 -də şaquli vallı və fırlanan boşqabları olan rotorlu sütun verilmişdir.



Şək.15.32. Rotorlu sütunun sxemi

Sütun iki sıra konusvari boşqabdan ibarətdir. Birinci qrup boşqablar şaquli vala bərkidilir və onunla birgə 250 dövr/dəq tezliklə fırlanır. İkinci qrup boşqablar isə hərəkətsiz olub sütunun köynəyi ilə birləşir. Aparatın işləməsi zamanı fleqma mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə fırlanan boşqablara atılır, buradan axaraq hərəkətsiz konuslara və oradan da altdakı konusvari boşqaba axır. Buxar fleqmaya qarşı hərəkət edir və nəticədə onların arasında sıx kontakt yaranır. Belə şaquli vallı aparat yüksək paylayıcı qabiliyyətə malikdir.

Üfüqi vallı rotorlu aparatlar mürəkkəb quruluşa malikdir. Bu aparatlarda üfüqi valın ətrafında spiralvari lent fırlanır. Fleqma spiralın mərkəzinə daxil olur və mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə spiralın divarlarına sıxılaraq onu nazik layla əhatə edir. Buxar fleqmaya qarşı hərəkət edir və fazalar fleqma pilyonkası səthində tə-

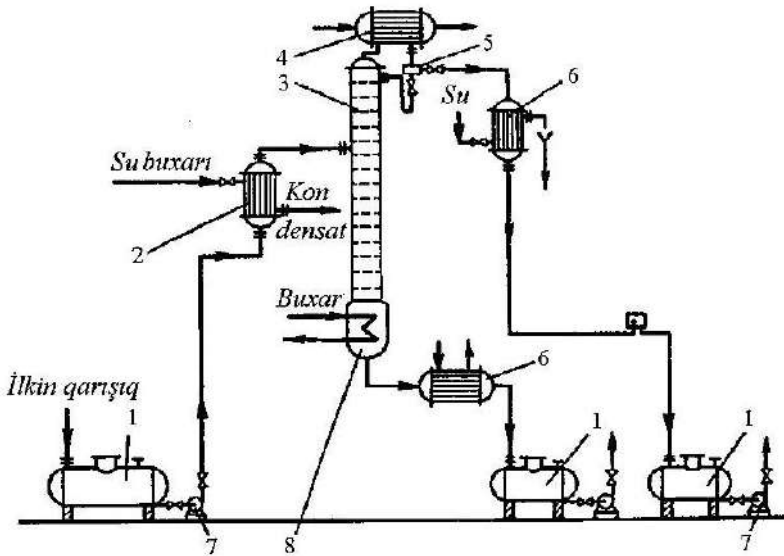
masa girir. Mürəkkəb konstruksiyasına görə bu aparatlar qida sənayesində istifadə olunmur.

15.20. Rektifikasiya qurğularının sxemi

Bir və ya bir neçə komponentdən ibarət olan maye yekcins məhlulların ayrılması üçün rektifikasiyadan istifadə olunur. Bundan etil spirtinin istehsalında geniş istifadə olunur. Qaba (kobud) ayrılma, tam ayrılma rektifikasiya yolu ilə aparılır. Bu proseslər komponentlərin eyni temperaturda müxtəlif uçuculuq qabiliyyətinə malik olmalarına əsaslanır. Məhsulun yüksək uçuculuq qabiliyyəti yüksək olan komponent – asan uçan, uçuculuq qabiliyyəti aşağı olan komponent isə çətin uçan komponent adlanır. Asan uçan komponentin qaynama temperaturu aşağı olur və bu səbəbdən komponentlər aşağı qaynama temperaturu adlanır, əksinə çətin uçan komponentlərin qaynama temperaturu yüksək olur və onlar yüksək qaynama temperaturu adlanır. Rektifikasiya prosesi nəticəsində iki məhlul asan uçan komponentlə zəngin distilyata və çətin uçan komponentlə zəngin kub qalığına ayrılır. Distilyat kondensator – defleqmatorda buxarların kondensasiyası nəticəsində alınır. Kub qalığı qurğunun kubunda alınır. Rektifikasiya zamanı məhlul çox saylı buxarlanma nəticəsində onu təşkil edən komponentlərə ayrılır (şək.15.33).

Rektifikasiya prosesi sütunlu aparatlarda yerinə yetirilir. Sütun kontakt qurğuları olan müxtəlif konstruksiyalı boşqablarla təchiz olunur. Qızdırıcıda qızdırılmış ilkin məhlul qaynadıcıdan daxil olan istiliyin hesabına rektifikasiya sütununun qidalandırıcı boşqabına verilir və rektifikasiya nəticəsində distilyat və kub qalığına ayrılır. Sütundan xaric olan buxarlar tam və ya qismən defleqmatorda kondensasiya edir. Buxarın tam kondensasiyası halında alınan distilyat ayırıcı çəndə iki hissəyə ayrılır. Birinci hissə - fleqma hidrosiyirtmədən keçərək sütunun üst boşqabına daxil olur, ikinci hissə – distilyat isə soyuducuda soyudularaq yığıcıya yönəlir. Buxarların tam kondensasiyası baş verməyəndə onlar kondensator –

soyuducuya daxil olur, burada kondensasiya edir və soyudulur. Kub qalığı dəyərindən asılı olaraq çənə yığılır və ya su ilə axıdılır.



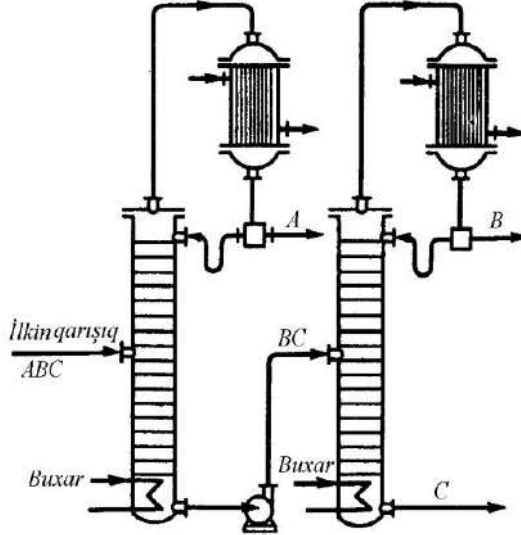
Şək.15.33. Fasiləsiz işləyən rektifikasiya qurğusu:

1-çənlər; 2- qızdırıcı; 3- rektifikasiya sütunu; 4-defleqmatör;
5-ayırıcı çən; 6-soyuducu; 7-nasoslar; 8-qaynadıcı

Təcrübədə adətən ilkin məhlul üç və ya daha çox hissəyə ayrılır. Belə ki, spirt istehsalında etil spirti, efiraldehid fraksiyası və siviş yağları ayrılır. İlkin məhlulu üç hissəyə ayırmaq üçün çox sütunlu qurğulardan istifadə olunur. Birinci sütun məhlulu $A+BC$ və ya $AB+C$ komponentlərinə ayırır (şək.15.34).

Məhlulun ayrılması iki sütunlu rektifikasiya qurğusunda aparılır. Spirt istehsalı üçün rektifikasiya qurğusunun əsas sütunları braqa, epyurasiya və rektifikasiya sütunlarıdır. Braqa sütununun üst hissəsində braqanın epyurasiyası və köpüyün yığılması üçün boşqablar yerləşir ki, bunlar asılı hissəciklərin buxarla birgə kondensatora aparılmasının qarşısını alır. Epyurasiya sütununda braqa sütununda alınan distilyatın efir, aldehid və metanoldan təmizlənməsi, onun konsentrasiyasının artırılması və sütunun kondensato-

rundan əsas etil spirti fraksiyasının çıxarılması baş verir. Rektifikasiya sütununda aralıq qarışıqların konsentrasiyası və sütundan çıxarılması, spirtin tündləşdirilməsi və onun pasterizasiyası baş verir.



Şək.15.34. Çox komponentli qarışıqları ayırmaq üçün rektifikasiya qurğusu

Rektifikasiya olunmuş spirtin ayrılması üstədən 10-15-ci boşqabdan başlayaraq yerinə yetirilir. Rektifikasiya sütunu spirtin tündləşdirilməsi üçün istifadə olunur. Sivuş sütununda sivuş yağları konsentrasiya olunaraq sütunun akkumulyatorundan çıxarılır. Son təmizləmə sütunu 30 boşqabdan ibarət olur, burada spirt aşağıdan 4-cü boşqaba verilir və hazır məhsul üstədən 14-16-cı boşqablardan başlayaraq çıxarılır. Bu sütunun istifadəsi qurğunun məhsuldarlığını 10% artırmağa imkan verir.

Yoxlama sualları

1. Qovma nədir? 2. Hansı məhlulların ayrılmasında qovmadan istifadə olunur? 3. Müasir qovma nəzəriyyəsi hansı qanunauyğunluqlara əsaslanır? 4. Bi-

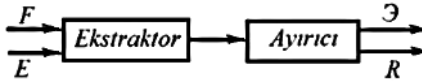
nar qarışıqlarının qovmasını idarə edən əsas qanunlar kimlər tərəfindən öyrənilmişdir? 5. Binar qarışıqlarının klassifikasiyası (təsnifatı) hansılardır? 6. Bir-birində qarışan iki maye üçün faza qanunu necədir? 7. D.P.Konovalovun birinci qanunu necədir? 8. D.P.Konovalovun ikinci qanunu necədir? 9. Bu və ya digər binar qarışığın qovma prosesinin öyrənilməsi üçün nəyi bilmək lazımdır? 10. Tarazlıq əyrisi hansı parametrlərdən asılı olaraq qurulur? 11. Sistemdə təzyiqin dəyişməsi zamanı tarazlığın dəyişməsini idarə edən qanunlar kim tərəfindən müəyyən olunmuşdur? 12. M.S.Vrevskinin hansı qanunları vardır? 13. M.S.Vrevski tərəfindən təyin edilən qanunlar nə ilə sübut olunmuşdur? 14. Binar qarışıqların xassəsi necə verilə bilər? 15. Binar qarışıqlar üçün hansı diaqram verilir? 16. Qida sənayesində istifadə olunan qovma metodlarının klassifikasiyası hansılardır? 17. Defleqmasiya nədir və nə üçün istifadə olunur? 18. Fleqma nədir? 19. Adi kub aparatı hansı hissələrdən ibarətdir? 20. Defleqmasiyasız işləyən kubda adi qovmanın material balansı necədir? 21. Defleqmasiya qurğulu sadə kub aparatları nə cür olur? 22. Defleqmasiya əmsalı necə təyin olunur? 23. Buxarda su və benzol miqdarının uyğunluğu hansı tənlikdən tapılır? 24. Çoxkublu aparatda qovulan qarışıqla doldurulmuş neçə kub göstərilir? 25. Rektifikasiya prosesi nədən ibarətdir? 26. Rektifikasiyanın işçi xəttləri necə qurulur? 27. İşçi fleqma ədədi necə təyin olunur? 28. Fleqma ədədinin hüdud qiymətləri və minimal qiyməti necə təyin olunur? 29. Optimal fleqma ədədinin qiyməti necə müəyyənləşir? 30. Fleqma ədədi rektifikasiya sütunun ölçülərinə necə təsir edir? 31. Rektifikasiya sütununun hündürlüyü və boşqabların sayı necə təyin edilir? 32. Qida sənayesində hansı rektifikasiya sütunlarından istifadə olunur? 33. Rektifikasiya aparatların hansı növləri mövcuddur?

FƏSİL 16 EKSTRAKSİYA PROSESLƏRİ

16.1. Maye – maye sistemində ekstraksiya

Mürəkkəb bərk və ya maye maddədən bir və ya bir neçə komponentin seçmə və qarışdırma qabiliyyətinə malik qarışdırıcı ilə çıxarılması ekstraksiya adlanır. Seçmə və qarışdırma dedikdə mayenin yalnız ayrılacaq komponentinin qarışdırılması qabiliyyəti nəzərdə tutulur.

Ekstraksiya prosesi ekstraktor adlanan aparatlarda yerinə yetirilir. Ekstraksiyanın prinsipl sxemi şəkil 16.1-də verilmişdir.



Şək.16.1. Ekstraksiyanın prinsipl sxemi

Ekstraktora tərkibində ekstraksiya olunacaq M maddəsi olan ilkin məhlul F və qarışdırıcı L yüklənir. Komponentləri çıxarmaq üçün istifadə olunan maye ekstragent E adlanır. Fazalar arasındakı kütlədəyişmə onların bilavasitə təması zamanı baş verir. Ekstraksiya nəticəsində alınan maye qarışıq ayırıcıya daxil olaraq orada ekstrakt Θ (ekstragentdə ekstraksiya olunan maddələrin qarışığı) və rafinata R (ekstraksiya olunan komponentlərin ayrılmasından sonra alınan qalıq) ayrılır. Qarışıqın ekstrakt və rafinata ayrılması çökdürmə və ya separasiya nəticəsində baş verir.

Ekstraksiyadan qiymətli məhsulların çıxarılmasında və konsentrasiyalı qarışıqların alınmasında istifadə olunur.

Ekstraksiyanın əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, proses aşağı işçi temperaturda gedir və bu da maye qarışıqları yüksək temperaturda parçalanan termolabil maddələrə ayırmağa imkan verir. Çox hallarda ekstraksiyanı rektifikasiya ilə bərhə istifadə edirlər. İlkin qarışıqın konsentrasiyası artdıqda rektifikasiyaya sərf olunan istilik miqdarının azalması onun ekstraksiya ilə konsentrasiyasının

artırılmasına gətirib çıxarır ki, bu da ilkin məhsulun ayrılmasında istilik sərfini azaltmağa imkan verir.

16.2. Maye – maye sistemində tarazlıq

Maddənin bir maye fazadan (ilkin qarışıqdan) digərinə (ekstragent) tarazlıq əldə olunana kimi keçidi baş verir, yəni fazalarda kimyəvi potensialların bərabərləşməsinə kimi bu proses davam edir. Prosesdə üç komponent ($K=3$) və iki faza ($\Phi=2$) iştirak edir. Faza qanununa əsasən sistemin valentliyi $F=3$. Adətən ekstraksiya prosesini yerinə yetirdikdə temperatur və təzyiq sabit saxlanılır. Bu zaman ekstraksiya sisteminin valentliyi vahidə bərabər olacaqdır. Deməli, tarazlıq halında bir fazada paylanan maddənin verilən konsentrasiyasına digər fazada müəyyən konsentrasiya uyğun gəlir.

Ekstraksiya proseslərində tarazlığı paylanma əmsalı φ xarakterizə edir, o da öz növbəsində hər iki maye fazalarda, yəni ekstrakt və rafinatda ekstraksiya edən maddələrin tarazlı konsentrasiyalarının nisbətində bərabərdir. Bəsit sistemlərdə Bertlo-Nernst qanununa tabe olan duru qarışıqlar kifayət qədər olub sabit temperaturda paylanan maddənin konsentrasiyasından asılı olmur və $\varphi = y_p / x$, burada y_p , x - ekstrakt və rafinatda paylanan maddənin tarazlıq konsentrasiyalarıdır. Bu halda tarazlıq xətti düz xətt olacaqdır.

$$y_p = \varphi x \quad (16.1)$$

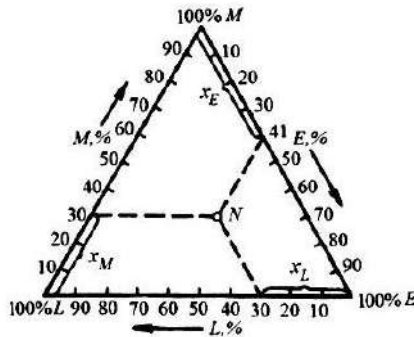
Tənliyə ekstraksiya izotermlərinin ilkin sahələri cavab verir. Qarışan maddənin molekulları dissosiasiya və assosiasiyaya uğrayır. Ekstragentlə kimyəvi təsiri baş verdikdə paylanma əmsalı konsentrasiya ilə dəyişir və ekstraksiya izotermləri düz xətdən kənara çıxır. Yüksək konsentrasiyalı sahələrdə belə kənarlaşma (meyletmə) fazalarda fəallıq əmsallarının dəyişməsi nəticəsində baş verir.

Paylanma əmsalı sənaye sistemlərində bir qayda olaraq eksperimental yolla təyin edilir.

Əgər hər iki fazanı bir-birində qarışmayan hesab etsək, onda hər bir faza iki komponentli qarışıq təşkil edər. Bu halda ekstraksiya prosesi digər kütlə dəyişmə prosesləri ilə analogi olaraq $y - x$ koordinatlarında verilə bilər.

Maye fazaların bir-birində xüsusi qarışmasında onların hər biri ekstraksiya zamanı üç komponentli qarışıq kimi özünü göstərəcəkdir. Üç komponentli qarışıqların tərkibi üçbucaq koordinat sistemində verilir (şək.16.2).

Bərabər tərəfli üçbucağın L , M , E təpələrində təmiz komponentlərin (100%-liq) tərkibi işarə edilir: ilkin məhlulun qarışdırılması L , ekstragent E və paylanan maddə M , LM , ME və EL tərəflərindəki hər bir nöqtə ikikomponentli qarışıqın tərkibinə uyğundur.



Şək. 19.2. Üçbucaq diaqramı

Üçbucağın daxili səthi üçkomponentli qarışıqların (üçlü qarışıqlara) tərkibinə uyğundur. Qarışıqda hər komponentin tərkibini təyin etmək üçün diaqramların tərəflərinə hesabat şkalaları çəkilir. Hər tərəfin uzunluğu 100% kimi qəbul olunur (kütlə, həcm və ya mol).

Qarışıqın tərkibi üçbucağın hər bir tərəfindən digər iki tərəflərlə kəsişənə kimi çəkilən paralel xəttin uzunluğu ilə təyin edilir. Məsələn, N nöqtəsi 30% qarışıqdan L , 41% ekstragentdən E və 30% paylanan maddədən M ibarət üçlük qarışıqını xarakterizə edir.

Üçbucaq diaqramında üç komponentli qarışıqların dəyişmə prosesləri verilir. N nöqtəsi ilə xarakterizə olunan qarışığa paylanan maddə M əlavə etdikdə E və L komponentlərinin tərkibi dəyişmir, alınan qarışıqların tərkiblərini təyin edən nöqtələr isə əlavə edilən komponentin M miqdarından asılı olaraq üçbucağın M təpəsinə yaxınlaşan NM xəttində yerləşir (şək.16.3,*a*).

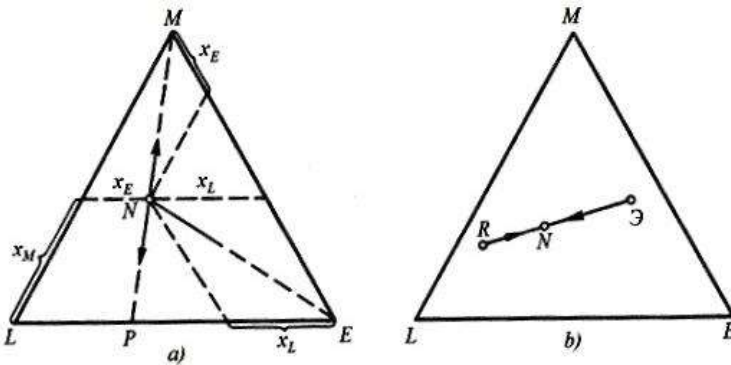
N qarışığından paylanan maddənin M çıxarılmasında alınan tərkiblərə uyğun nöqtələr PM xəttində yerləşəcək və qarışıq nə qədər zəif olarsa, bir o qədər üçbucağın LE tərəfinə yaxın olacaqdır.

N tərkibli qarışığın ekstragentlə E durulduğunu NE xətti xarakterizə edir.

İlkin qarışığın məlum tərkibində (N nöqtəsi), onun ayrılmasında ekstraktın (\mathcal{E} nöqtəsi), rafinatın (R nöqtəsi) tərkibi və üçbucaq diaqramının köməyi ilə bu fazaların tərkibini (şək.16.3,*b*) material balans tənliyindən tapmaq olar:

$$R + \mathcal{E} = N,$$

burada R, \mathcal{E}, N - uyğun olaraq rafinatın, ekstraktın və ilkin qarışığın kütləsi, kq.



Şək.16.3. Üçbucaq diaqramında üç komponentli qarışığın tərkibinin dəyişməsi:

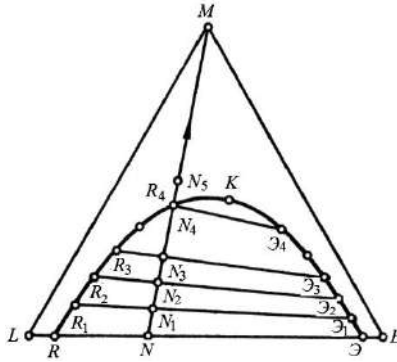
a - qarışığın konsentrasiyası və durulması;

b - iki üç komponentli qarışığın qarışdırılması.

Dəstək qaydasına görə

$$\mathfrak{E} / R = \overline{RN} / \overline{\mathfrak{E}N}. \quad (16.2)$$

Tarazlıq xəttini üçbucaq diaqramında quraq. Paylanan maddənin (M) hər iki fazada (L və E) hədsiz qarışmasında qarışdırıcıların bir-birində hədd qarışmasını qəbul edirik (şək.16.4).



Şək.16.4. Üçbucaq diaqramda tarazlıq xətti

M və L , M və E yekcins iki komponentli qarışıqların tərkibi LM və EM diaqramlarının tərəflərindəki nöqtələrlə xarakterizə olunur. L və E qarışdırıcıları yalnız LR və $\mathfrak{E}E$ kiçik sahələrində yekcins qarışıqları əmələ gətirir. $R\mathfrak{E}$ sahəsində qarışdırıcıların məhlulu iki yekcins iki komponentli doymuş qarışığa, yəni laya (EL -də doymuş qarışıq) R və (LE -də doymuş qarışıq) \mathfrak{E} -yə ayrılır.

Hər iki layda doymuş qarışıqların miqdarı N nöqtəsinin vəziyyəti ilə təyin olunur və dəstək qaydası ilə tapılır.

N tərkibli qarışığa M maddəsi əlavə olunduqda tərkibi N nöqtəsi ilə xarakterizə olunan və NM düz xəttində yerləşən üçlü qarışıq, yəni məhlul əmələ gəlir. N_1 tərkibli qarışıq R_1 və \mathfrak{E}_1 taraz tərkibli iki fazaya – laya ayrılır: $\mathfrak{E}_1 N_1 / (R_1 N_1)$. Paylanan $M_2, M_3 \dots$ maddələrini məhlula əlavə etdikdə $N_2, N_3 \dots$ tərkibli üçlü məhlul alınır, bunlar da taraz tərkibli fazalara – laylara ayrılır (R_2 və \mathfrak{E}_2, R_3 və \mathfrak{E}_3 və s.). Bu zaman tarazlı qarışıqların kütlə nisbətləri baxılan N_4 tərkibli qarışıqda fazaların biri yox olana qədər dəyişir.

Bundan sonra M paylanan maddənin əlavə olunmasında N_5 və s. tərkibli üçlü qarışıqlar əmələ gəlir.

Əgər R_1 və \mathcal{A}_1 , R_2 və \mathcal{A}_2 , ... nöqtələrini düz xətlə birləşdirsək, onda tarazlı tərkibə uyğun $R_1\mathcal{A}_1$, $R_2\mathcal{A}_2$... tarazlıq alırıq. Tarazlıq vətərləri kritik adlanan K nöqtəsində kəsişir. Tarazlıq vətərinin mailliyi komponentlərin təbiəti və fazaların tərkibi ilə təyin olunur. Tarazlıq tərkiblərini xarakterizə edən R , R_1 , R_2 ... və \mathcal{A} , \mathcal{A}_1 , \mathcal{A}_2 ... nöqtələrini birləşdirsək tarazlıq əyrisini (binodal əyrisini) alırıq. Tarazlıq əyrisinin RK qolu L qarışdırıcının $\mathcal{A}K$ qolu isə, E qarışdırıcısının fazalarının tarazlı tərkibini xarakterizə edir.

Binodal əyrisi üçbucaq diaqramında ikifazlı qarışığa uyğun sahələri (binodal əyrinin altında) və bİrfazlı qarışıqlara uyğun sahələri (binodal əyrisinin xaricində) ayırır.

Şəkil 16.4-də verilən tarazlıq əyrisi sabit temperatur üçün qurulub və izoterma adlanır.

Sistemin tarazlığına həmçinin temperatur təsir edir. Komponentlərin bir-birində qarışması bir qayda olaraq temperatur artdıqca artır, yəni heterogen sistemlərin mövcud olduqları sahə azalır. Temperatur artdıqca şəkil 16.4-dəki binodal əyri LE oxuna yaxınlaşacaqdır və bu zaman $RK\mathcal{A}$ xəttinin altındakı sahə azalmağa başlayacaqdır.

16.3. Ekstraksiyada kütlədəyişmə

Ekstraksiya prosesinin kinetik qanunauyğunluqları kütlədəyişmənin əsas qanunları ilə təyin edilir. Fazaların kontakt (təmas) sahəsini artırmaq üçün fazalardan birini damla şəklində digər bütöv fazada dispersiya edirlər. Fazaların kontakt sahəsi ekstraktorda dispers fazanın gecikməsi və damcılarda orta səthi – həcmi diametri ilə təyin olunur. Paylanan maddə bütöv fazadan damcılarda səthinə diffuziya edir, sonra isə damcının daxilinə və ya əksinə damcıdan faz ayırıcının səthindən keçərək bütöv fazaya diffuziya edir.

Damcının daxilində kütləötürmə molekulyar və konvektiv diffuziya hesabına baş verir. Damcının daxilində konveksiya maye-

nin sirkulyasiyası hesabına yaranır. Ekstraksiya prosesində damcıların forma və ölçüləri dispersiya və koalesensiya (damcıların birləşərək böyüməsi) hesabına bir neçə dəfə dəyişir. Bu halda fazalararası kontakt səthinin yenilənməsi baş verir. Ekstraksiya proseslərində kütlə ötürmədə Fikin ikinci qanunundan istifadə olunur.

Ümumi halda, bütöv və dispers fazalarda diffuziya müqavimətini nəzərə almamaq mümkün olmadıqda, kütləötürmə əmsalı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$K_y = 1 / (1 / \beta_D + \varphi / \beta_c); \quad (16.3)$$

$$K_x = 1 / [(1 / \varphi \beta_D) + 1 / \beta_c], \quad (16.4)$$

burada β_D və β_c - dispers və bütöv fazalarda kütləvermə əmsallarıdır.

Diffuziya müqaviməti bütöv fazada toplandıqda (16.3) və (16.4) tənliklərindən alırıq $K_x = \beta_c$. Onda kütləötürmənin əsas təniyi aşağıdakı kimi yazılacaqdır $M = \beta_c \Delta x_{or} F$. Əgər diffuziya müqaviməti dispers fazada toplanarsa, onda damcıların daxilində $K_y = \beta_c$ və bir fazadan digər fazaya keçən maddənin miqdarı $M = \beta_D \cdot \Delta y_{or} F$ olacaqdır.

Fazalarda kütləvermə əmsallarını eksperimental verilənlər əsasında alınan kriteriya tənlikləri ilə hesablayırlar.

16.4. Ekstraksiya proseslərinin hesabı və sxemləri

Sənayedə aşağıdakı sxemlərlə periodik və fasiləsiz ekstraksiyadan istifadə olunur: birpilləli, çoxpilləli əksaxımlı və çoxpilləli çarpaz axımlı.

Birpilləli ekstraksiyadan ayrılma əmsalı yüksək olduqda istifadə olunur, periodik və fasiləsiz yerinə yetirilir (şəkl.16.5, a). Qarıdırıcı aparata L (kq) miqdarda x_H konsentrasiyalı qarışığa ilkin

qarışıq F və ekstragent E yüklənir. Onlar qarışdırılaraq ekstrakt \mathcal{E} və rafinata R ayrılır.

Emulsiyaları ayırmaq üçün çökdürücülərdən, çətin ayrılan emulsiyalar üçün isə separatorlardan istifadə olunur.

Paylanan maddəyə görə material balansı

$$\overline{Lx_H} = \overline{Lx} + \overline{Ey}. \quad (16.5)$$

$y = \varphi x$ və $m = E/L$ kimi götürsək, rafinatın konsentrasiyası

$$\overline{x} = \frac{\overline{x_H}}{1 + m\varphi}, \quad (16.6)$$

ekstraktın konsentrasiyası

$$\overline{y} = \frac{\varphi \overline{x_H}}{1 + m\varphi} \quad (16.7)$$

Bu halda çıxarma dərəcəsi

$$\psi = \frac{\overline{Ey}}{\overline{Lx_H}} = \frac{m\varphi}{1 + m\varphi} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}, \quad (16.8)$$

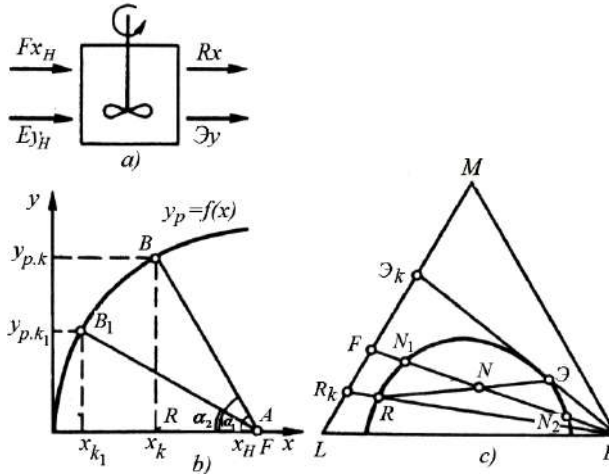
burada ε - ekstraksiya faktorudur,

$$\varepsilon = (E/L)\varphi.$$

Üçbucaq və düzbucaq diaqramlarında birpilləli ekstraksiya prosesini nəzərdən keçirək (şəkl.16.5,b,c). İlk qarışıqın ekstragentlə qarışdırılmasında üçlü qarışıq əmələ gəlir. O, FE qarışma xəttində yerləşən N nöqtəsi ilə xarakterizə olunur. Bu, qarışıqın ekstrakt və rafinat laylarına ayrılmasında N nöqtəsindən keçən tarazlıq vətərində yerləşən R və E nöqtələri ilə təyin olunur. Ekstragent modulu dəstək qaydası ilə tapılır $E/F = \overline{FN}/(\overline{EN})$.

Rafinatın miqdarı $R = N\overline{\mathcal{E}N}/(\overline{R\mathcal{E}})$, ekstraktın miqdarı isə $\mathcal{E} = N - R = N[\overline{RN}/(\overline{R\mathcal{E}})]$. Rafinatın miqdarını üçbucağın LM tə-

rəfində yerləşən R_k nöqtəsi, ekstraktın miqdarını isə \mathcal{E}_k nöqtəsi təyin edir.



Şək.16.5. Birpilləli ekstraksiyanın sxemi (a) və prosesin $y-x$ (b) və üçbucaq diaqramlarında (c) verilməsi

Ekstragentin modullarının ekstremal qiymətlərini binodal əyrisindəki N_1 və N_2 nöqtələri təyin edir.

$$(E/F)_{\min} = F \overline{N_1} / (\overline{N_1} E) \quad \text{və} \quad (EF)_{\max} = \overline{F N_2} / (N_2 E).$$

İlkin qarışıqın və ekstragentin bir-birində qarışmamasında ekstraksiya prosesi $y-x$ diaqramında AB düz xətti ilə verilir.

Verilən konsentrasiyalı x_k rafinatı almaq üçün ekstragent modulu

$$L/E = \overline{BR} / (\overline{RF}) = \operatorname{tg} \alpha$$

Ekstragent modulu nə qədər böyük olarsa, bir o qədər maillik bucağının tangensi və ekstraksiya olunan komponentin rafinatının və ekstraktının konsentrasiyaları kiçik olur: $x_{k1} < x_k$ və $y_{p,k1} < y_{p,k}$.

Ekstragentin modulu artdıqca regenerasiya modulu artır. Ekstraksiya faktorunun optimal qiyməti $1,2 < m\varphi < 2$ olur.

Çoxpilləli ekstraksiya hər bir aqreqatı müstəqil qurğudan ibarət olan ekstraksiya qurğularında və ya çox seksiyalı ekstraktorlarda yerinə yetirilir. Çoxpilləli ekstraksiya ekstragentin əks axınında və ya bir neçə ekstragentdə kombinəedilmiş üsulla yerinə yetirilir.

Əksaxınli ekstraksiya müxtəlif sxemlərlə yerinə yetirilir. Məsələn, püskürücülü, taxmalı və boşqabli ekstraktorlarda hər iki fazanın tərkibi aparat boyunca fasiləsiz dəyişir, digər ekstraktor və qurğularda bir və ya hər iki fazanın tərkibi seksiyadan seksiyaya keçdikdə sıçrayışla dəyişir.

Çoxseksiyalı əks axınlı qurğularda (şəkl.16.6,a) ilkin qarışıq F və ekstragent E qurğunun əks istiqamətlərindən daxil olur. Doymaya yaxın konsentrasiyalı ekstrakt birinci pillədə x_H konsentrasiyalı ilkin məhlulə F təsir edir. Üçlü məhlulun birinci pillədə ayrılmasından sonra $y_1 = y_k$ konsentrasiyalı ekstrakt və x_1 konsentrasiyalı rafinat alınır.

x_1 tərkibli rafinat ikinci pillədə \mathcal{E}_3 tərkibli ekstrakta təsir edir. Ayrılmadan sonra R_2 tərkibli rafinat və \mathcal{E}_2 tərkibli ekstrakt alınır. Sonuncu n -ci pillədə x_{n-1} konsentrasiyalı zəifləmiş R_{n-1} rafinat sifira yaxın olan $y_H = y_n$ konsentrasiyalı yeni ekstragentə təsir edir. Ayrılma nəticəsində qurğunun çıxışında təmizlənmiş qarışıq alınır.

Çoxpilləli əksaxınli ekstraksiya prosesi $y-x$ diaqramında verilir (şəkl.16.6,b). Bunun üçün prosesin işçi xəttinin tənliyi qurulur.

Ekstraksiya edən komponentə görə bütün qurğunun material balansı 1 kq ekstragentə uyğun konsentrasiyalarda

$$L(x_H - x_k) = E(y_k - y_H),$$

bir $(n-1)$ -ci seksiya üçün isə

$$L(x_H - x_{n-1}) = E(y_k - y_n).$$

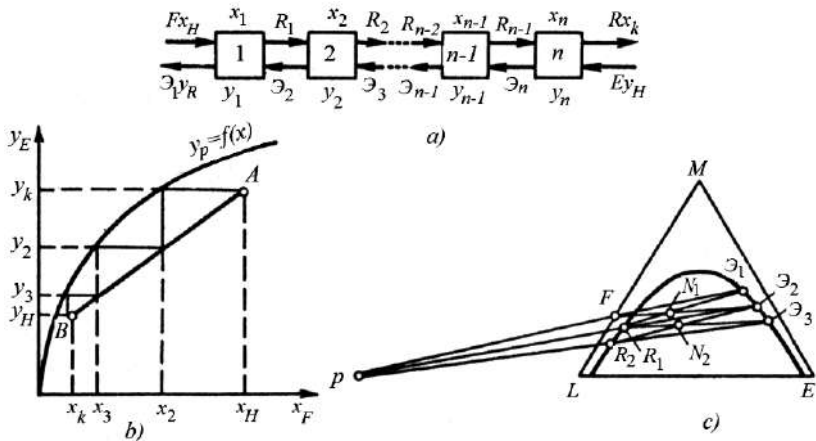
Buradan əksaxın prosesinin işçi xəttinin tənliyi alınır:

$$y_n = \frac{L}{E}(x_{n-1} - x_H) + y_k$$

bu da düz xətt tənliyini verir. Xəttin maillik bucağının tangensi

$$\operatorname{tg} \alpha = L / E.$$

Kinetik xəttin yerləşməsi ayrılma əmsalı və aparatın hidrodinamik şəraiti ilə təyin olunur. Üçbucaqlı diaqramda proses şəkildə verilir (şək.16.6,c).



Şək.16.6. Çoxpilləli əksaxınlı ekstraksiyanın sxemi (a), prosesin $y - x$ koordinatlarında (b) və üçbucaqlı diaqramda (c) verilməsi

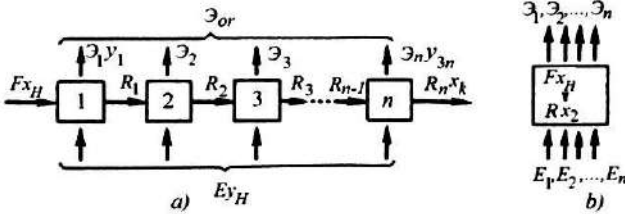
Ekstraksiya qurğusunun birinci seksiyasında ilkin məhlul F ikinci pillədən əvvəlki ekstraktla \mathcal{E}_2 qarşılıqlı təsiri üçlü nöqtəni N_1 yaradır və onun ayrılmasından sonra ümumi halda separatorda qeyri-taraz tərkibli ekstrakt \mathcal{E}_1 və rafinat R_1 alınır.

İkinci pillədə rafinat R_1 üçüncü pillənin ekstraktına \mathcal{E}_3 təsir edərək üçlü qarışıq N_2 alınır ki, o da R_2 və \mathcal{E}_2 -yə ayrılır.

Hər bir seksiyanın giriş və çıxışında fazalar tərkibinə uyğun iki nöqtəni birləşdirərək $F\mathcal{E}_1$, $R_1\mathcal{E}_2$, $R_2\mathcal{E}_3$ və s. xətləri alınır və xətləri kəsişənə kimi uzatdıqda isə kəsişmə nöqtəsi P alınır.

Analoji proseslər ekstraktorun qalan seksiyalarında da baş verir. Nəticədə ekstraksiya edən komponentlə x_k konsentrasiyalı zəifləmiş qarışıq sonuncu (n -ci) seksiyadan çıxır, ekstragent isə sonuncu y_k konsentrasiyasına kimi komponentlə doyur.

Ekstragenti çarpaz axınlı olan ekstraksiya bir neçə seksiyada fasiləsiz (şək.16.7,a) və ya bir seksiyada periodik olaraq (şək.16.7, b) aparılır.



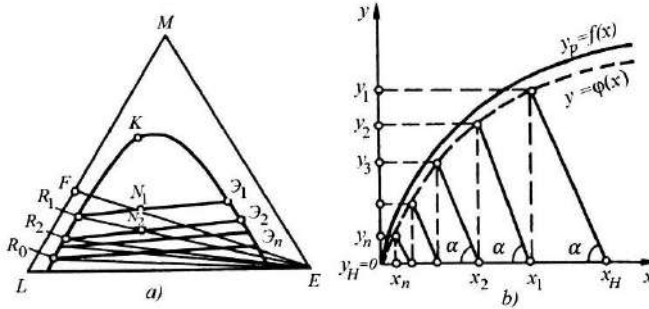
Şək.16.7. Çoxpilləli qurğuda çarpaz axınlı çoxpilləli ekstraksiyanın sxemi:

a- fasiləsiz təsirli; b- periodik təsirli

Proses fasiləsiz aparıldıqda ilkin qarışıq F birinci seksiyaya daxil edilir, burada ekstragentlə E emal olunur və ayrılmadan sonra rafinat R_1 və ekstrakt \mathcal{E}_1 alınır. Rafinat R_1 ikinci seksiyaya daxil edilir və burada da yeni ekstragentlə E emal olunur. Ekstraktlar \mathcal{E}_1 və \mathcal{E}_2 qurğudan çıxarılır, R_2 tərkibli rafinat isə sonrakı seksiyaya daxil olur və burada yenə proses təkrar olunur. Nəticədə verilən tərkibdə rafinat R_n və dəyişən tərkibli ekstrakt $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$ alınır.

Çoxpilləli fasiləsiz ekstraksiya prosesi şəkil 16.8-də verilir. İlkin qarışıq və ekstragentin qarışmasından sonra (N_1 nöqtəsi) alınan üçlü qarışıq birinci seksiyada rafinat R_1 və ekstrakta \mathcal{E}_1 ayrılır. İkinci seksiyada R_1 tərkibli rafinat yeni ekstragentlə E qarışır.

Üçlü məhlul (R_1E xəttində N_2 nöqtəsi) rafinat R_2 və ekstrakt \mathcal{E}_2 -yə ayrılır. Sonra rafinat ekstraksiya edilən komponentin verilən konsentrasiyaya qədər ayrılması üçün növbəti seksiyalara daxil olur. x_k konsentrasiyalı təmizlənən qarışıq qurğunun sonuncu seksiyasından çıxır və texnoloji prosesin sonrakı mərhələsinə daxil olur. Ekstrakt regenerasiya edir və ya çirkab su kimi utilizasiya edilir.



Şək.16.8. Çoxpilləli fasiləsiz ekstraksiya prosesi:

a) üçbucaq diaqramında; b) $y - x$ koordinatlarında

Hər bir seksiyada gedən proses α bucağı altında çəkilən xətlərlə verilir, bucağın tangensi ekstraksiya modulu ilə təyin edilir.

Çoxpilləli əksaxınlı ekstraksiya çarpaz axınlı ekstraksiyadan daha səmərəli prosesdir.

Əksaxınlı ekstraksiyada prosesin orta hərəkətedici qüvvəsi daha yüksək olur. Qurğunun əvvəlində və sonunda hərəkətedici qüvvənin bərabərləşməsi hesabına komponentin qarışıqdan daha tam ayrılması baş verir və bu halda ekstraksiya modulu çarpaz axınla müqayisədə azalır, lakin eyni təmizləmə dərəcəsi əldə etmək üçün kontakt pillələrinin tələb olunan sayı artır.

16.5. Ekstraktorların konstruksiyası və hesabı

Ekstraksiya proseslərində kütləötürmənin səmərəliliyi kütlədəyişmə səthinin sahəsi və prosesin hərəkətedici qüvvəsi ilə mütəna-

sibdir. Kütlədəyişmə səthini artırmaq məqsədilə ekstraktorlarda maye fazanın biri digərində dispersiya edərək damcılar şəklində paylanır. Kütləötürmə prosesi dispersion və bütöv fazalar arasında baş verir. Yüksək hərəkətedici qüvvəli prosesi yerinə yetirmək üçün ekstraktorlarda ideal çıxarılmaya yaxın şəraitlərdə axınlarının əlaqəli təsirini təşkil edirlər. Bu, nazik layda taxmalı, mərkəzdənqaçma ekstraktorlarda ekstraktorların seksiyalara ayrılmasından və ya çoxpilləli seksiyalı ekstraksiya qurğularından istifadə etməklə əldə olunur.

Prosesin təşkil olunmasına görə ekstraktorlar fasiləsiz və periodik təsirli olurlar.

Faza kontaktı üsulundan asılı olaraq ekstraktorları üç qrupa bölmək olar: pilləli və ya seksiyalı, differensial – kontaktlı və qarışdırıcılı – çökdürücülü.

Pilləli (seksiyalı) ekstraktorlar ayrı-ayrı seksiyalardan ibarətdir. Burada fazalarda konsentrasiya sıçrayışla dəyişir. Bir sıra hallarda konsentrasiya sahəsinə görə hər bir seksiya ideal qarışdırıcılı aparata uyğunlaşır. Bir neçə belə seksiyadan ibarət olan ekstraktor konsentrasiya sahəsinə görə ideal ayırıcı aparata yaxınlaşır.

Emulsiyaların çətin ayrılmasında hər bir ekstraksiya seksiyasından sonra fazaların ayrılması zərurəti ekstraktorların ölçülərinin nisbətən artmasına səbəb ola bilər.

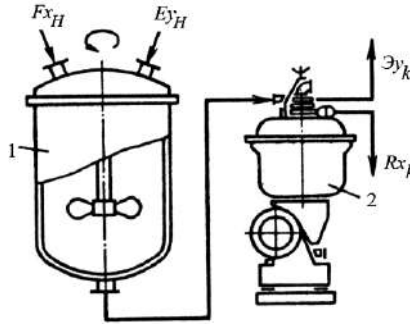
Differensial – kontaktlı ekstraktorlar fazalar arasında fasiləsiz kontaktı və fazalarda konsentrasiyanın səlissə fasiləsiz dəyişməsinə təmin edir. Fazaların uzununa qarışması hesabına belə aparatlarda ideal çıxaran aparatlarla müqayisədə orta hərəkətedici qüvvənin nisbətən azalması baş verə bilər.

Maye fazanın dispersiya olunması üçün enerji sərfi tələb olunur. Təsir edən fazalara qarışdırıcılarla, vibratorlarla və pulsatorlarla xaricdən daxil olan enerji daxil edilə bilər. Məsələn, vibropulsasiyalı ekstraktorlarda, mərkəzdənqaçma ekstraktorlarında mərkəzdənqaçma qüvvəsi şəklində, injektorlu və ejetorlu ekstraktorlarda kinetik enerjisi şırnağı şəklində daxil edilə bilər.

Qarışdırıcı – çökdürücü ekstraktorların hər biri bir neçə pillədən: qarışdırıcıdan və ayırıcıdan ibarətdir. Qarışdırıcıya xaricdən

enerjinin verilməsi hesabına dispersion fazanın yaranması ilə maye fazanın birinin dispersiya olunması baş verir ki, o da öz növbəsində digər bütöv fazada paylanır. Həm yüngül, həm də ağır fazalar dispersion faza ola bilər.

Çökdürücü şəklində olan ayırıcıda, müasir qurğularda – separatorlarda emulsiyalar rafinat və ekstrakta ayrılır. Sadə qarışdırıcı – çökdürücü ekstraktorun sxemi şəkil 16.9-da verilir. Bir neçə qarışdırıcı – çökdürücü seksiyaların birləşdirilməsi hesabına müxtəlif ekstraksiya qurğuları alınır.



Şək.16.9. Qarışdırıcı-çökdürücü ekstraksiya qurğusu:

1- ekstraktor; 2- separator

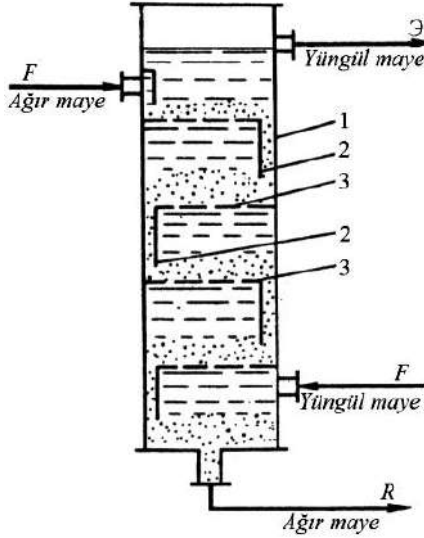
Verilən sxemin bir sıra çatışmamazlıqları vardır ki, onlar böyük ölçülü, yüksək (çox) sahə, metal və enerji tutumlu olduğuna görə daha müasirləri ilə əvəz olunurlar.

Boşqablı ekstraktorlar (şək.16.10) müxtəlif konstruksiyalı maye axıdan qurğularla təchiz olunmuş şadralı boşqablı sütunlardan ibarətdir. Fazaların təsiri hər bir boşqabda, əks axında baş verir. Dispersiya edilən faza (yüngül və ağır) boşqabın deşiklərindən keçərək damcılara parçalanır. Bütöv faza boşqabın üzərindən axır. Boşqablarda damcılar birləşir və boşqabın üzərində (ağır maye) və ya altında (yüngül maye) bütöv lay əmələ gətirir. Ekstraktorun seksiyalılığı fazaların əks qarışmasını aşağı salır və prosesin orta hərəkət qüvvəsinin artırılmasına gətirib çıxarır.

Boşqabın deşiklərində dispers fazanın sürəti şırnaq rejiminin yaranma şərtləri ilə təyin edilir. Damcılı rejimdən şırnaqlı rejimə keçməsinə uyğun kritik sürət deşiklərin diametrindən asılı olur:

$$v_{kr} = 4,4/d_0.$$

Ekstraktorun dayanıqlı şırnaqlı rejimdə işləmə sürəti, kritiki sürət ilə müqayisədə, təxminən 20% artır.



Şək.16.10. Boşqablı ekstraktor:

1- silindrik korpus; 2- axıdan qurğu; 3- şadərəli boşqablar

Dispers fazada kütləötürmə əmsalını təyin etmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$Nu_D = 0,064Re^{0,84} Pr_D^{0,5}, \quad (16.9)$$

burada $Nu_D = \beta_D d_s / D_D$ - Nusseltin dispersion ədədidir,

β_D - dispers fazada kütləvermə əmsalındır;

d_s - damcının ekvivalent diametri,

D_D - dispers fazada diffuziya əmsalındır;

$Re = v_0 d_p / \nu_c$ - damcının Reynolds kriterisi;

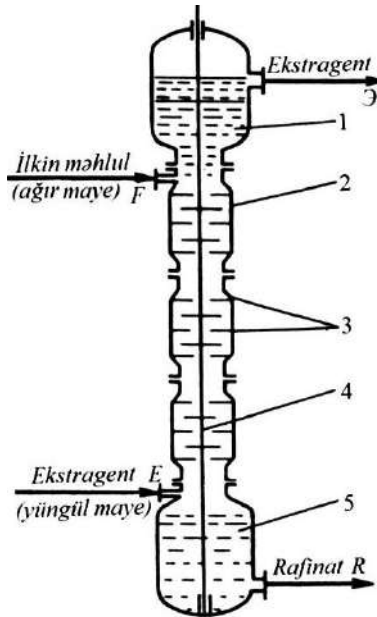
v_0 - bütöv fazada damcının hərəkətinin nisbi sürəti;

ν_c - bütöv fazanın kinematik özlülüyü;

$Pr_D = \nu_D / D_D$ -dispers fazanın diffuzion Prandtl kriterisi;

ν_D - dispers fazanın kinematik özlülüyüdür.

Rotorlu-diskli ekstraktor (şək.16.11), fazaları mexaniki qarışdırılan ekstraktorlara aiddir. Şaquli çoxseksiyalı aparat şəklində olub, silindrik korpusunda dairəvi üfqi diskli rotor quraşdırılır. Disklər ekstraktorun seksiyasının orta səthində fırlanır və həlqəli arakəsmələrlə ayrılır. Bu da axınların uzununa qarışmasının qarşısını alır və prosesin hərəkətedici qüvvəsinin artmasına kömək edir.



Şək.16.11. Rotorlu-diskli ekstraktor:

1, 5- çökdürmə zonaları; 2- korpus; 3- həlqəli arakəsmələr; 4- rotor

Rotorda fırlanan disklər rotorun oxundan ekstraktorun divarlarına yönələn bütöv fazanın axınlarını yaradır. Divarlara çatdıqda maye həlqəli arakəsmələrlə məhdudlaşan sahədə yuxarı-aşağı hərəkət edir. Arakəsmənin həlqələrindən maye əks tərəfə yönələrək istiqamətini dəyişir və ekstraktorun oxuna tərəf hərəkət edir. Bütöv fazanın toroidal (burulğan şəkilli) axınları belə yaranır. Ekstraktorun alt və üst hissələrində çökdürücü zonalar yerləşir. Yüngül fraksiyanın, yəni ekstraktın damcıları yuxarı hərəkət edir və üst çökdürücü zonada birləşir. Fazaların daha yaxşı ayrılması üçün çökdürücü zonaların diametri qarışdırıcı zonalara nisbətən bir qədər olur.

Rotorun disklərinin diametri D_r , ekstraktorun diametrinin 0,5...0,7 hissəsini təşkil edir, həlqəli arakəsmələrin dəşiklərinin diametri isə $D_k = (0,6...0,8)D_s$, burada D_s - ekstraktorun diametri, seksiyanın hündürlüyü $H = (0,15...0,3)D_s$ təşkil edir.

Digər konstruksiyalarda, rotorda hər seksiyanın orta səthində açıq turbinli qarışdırıcılar yerləşir. Seksiyalara ayırma həlqəli arakəsmələrin köməyi ilə əldə olunur. Belə ekstraktorlarda qarışma və ayrılma zonaları bir-birini əvəz edir.

Həlqəvi arakəsmələr əvəzinə qarışma zonası taxma layı ilə ayrılır, məsələn, Raşiq həlqələri ilə, burada üçlü qarışıqın yüngül və ağır mayələrə ayrılması baş verir. Şəkil 16.12-də turbinli qarışdırıcı və çökdürücülük zonalı ekstraktor göstərilir və zonalar Raşiq həlqələri ilə doldurulur.

Bu ekstraktorların üstünlükləri modifikasiya olunmuş Reynolds ədədinə uyğun səmərəli hidrodinamiki rejimin olmasından

$$Re = nD_p^2 / \nu_c > 6 \cdot 10^4,$$

hansı ki, bu kütləötürmənin və fazalar arası kontaktın səthinin sahəsinin yüksək əmsallarını təyin edir, reaksiya həcmnin seksiyalara ayrılmasından, rotorun fırlanma tezliyinin nizamlanmasının mümkün olmasından ibarətdir.

Əgər diffuziya müqaviməti bütöv fazada cəmlənilsə, onda kütlələnmə əmsalı aşağıdakı tənlikdən tapılır:

$$Nu_D = 1,13Pe_c, \quad (16.10)$$

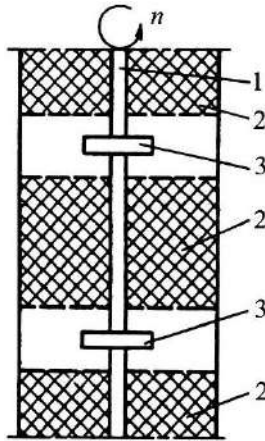
burada $Nu_D = \beta_c d_{or} / D_c$ - Nusseltin diffuziya kriteriyası;

β_c - bütöv fazada kütləvermə əmsalı;

d_{or} - damcının orta diametri;

D_c - ekstraksiya edən komponentin bütöv fazada kütləvermə əmsalı, $m^2 \cdot \text{san}^{-1}$;

Pe_c - bütöv faza üçün Pekle kriteriyasıdır.



Şək.16.12. Rotorlu-taxmalı ekstraktorun hissəsi:

1- rotor; 2- taxma layı; 3- turbinli qarışdırıcılar

Bütöv fazada kütləvermə əmsalı əsasən diffuziya əmsalından asılı olub, praktiki olaraq damcının diametridən asılı deyildir.

Əgər diffuziya müqaviməti dispers fazada (damcının daxilində) cəmlənilsə, onda

$$\beta_D = A(D_D / d_{or}), \quad (16.11)$$

burada A – uyğun olaraq hərəkətsiz damcılar və daxili sirkulyasiyalı damcılar üçün $A = 6,58$ və $A = 17,9$ olur.

Mayenin daxili sirkulyasiyası olan damcılarda

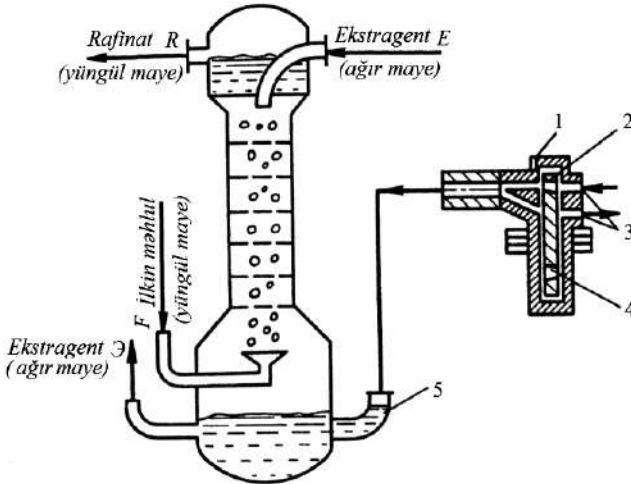
$$\beta = 375 \cdot 10^{-5} v \left(\frac{\mu_c}{\mu_c + \mu_D} \right), \quad (16.12)$$

burada v - vahid damcının qalxma sürəti, m/san;

μ_c , μ_D - uyğun olaraq bütöv və dispers fazaların özlü-
lüyüdür.

Vibrasiyalı və pulsasiyalı ekstraktorlar kütləötürmənin in-
tensivliyini artırmağa və qravitasiyalı ekstraktorların müsbət key-
fiyyətlərindən istifadə etməyə imkan verir.

Ekstraktorun kənarında quraşdırılan pulsatorların və ya şada-
ralı boşqablar blokunun irəli-geri hərəkəti ilə mayelərə titrəyişli
hərəkət ötürülür. Birincidə pulsasiyalı (şək.16.13), ikincidə isə
vibrasiyalı ekstraktor adlanır.



Şək.16.13. Pulsasiyalı ekstraktor:

1- tərənməyən korpus; 2- fırlanan disk; 3- sıxılmış hava siste-
mi ilə birləşmə pəncərələri; 4- atmosferlə birləşmə pəncərə-
ləri; 5- pulsasiya kamerası

Zolotnik – paylayıcı mexanizm hərəkət etməyən korpusda fırlanan diskdən ibarətdir. Pulsasiya kamerasının sıxılmış hava siste-

mi ilə birləşməsi və kameranın atmosferlə əlaqələnməsi üçün disk və korpusun iki pəncərəsi olur. Diskdə və korpusda yarıqların üst-üstə düşməsində pulsasiya kamerasında maye izafi təzyiqdə olur. Təzyiqlərin dəyişməsi hesabına irəli hərəkət alınır. Pulsasiya kamerasının atmosferlə birləşməsində fırlanan disk və korpusun təzyiqlərinin düşməsində korpusda təzyiq düşür və maye geri hərəkət edir. Diskin fırlanma tezliyini nizamlayaraq ekstraktorda mayenin titrəyişlərinin tezliyini dəyişmək olur və titrəyişlərin amplitudası sıxılmış havanın təzyiqi ilə təyin olunur. Pulsasiyaların tezliyi adətən 30-350 titrəyiş/dəqiqə, amplitudası isə 2-25 mm təşkil edir.

Amplitudanın titrəyişlərin tezliyinə hasilindən asılı olaraq ($A \cdot f$) pulsasiyalı ekstraktorlar, qarışdırıcı-çökdürücü rejimdə və emulqasiya rejimində işləyə bilər.

Qarışdırıcı-çökdürücü rejimdə pulsasiyaların bir tsiklində yüngül faza alt boşqabdan üst boşqaba hərəkət edir və boşqablararası məsafədə birləşir. Ağır faza yüngül maye layından keçərək qarşı-qarşıya hərəkət edir. Bu rejim üçün fazaların qısa kontakt müddəti və fazalararası məsafənin səthinin sahəsinin kiçik olması məxsusdur. $A \cdot f$ artdıqca damcılardan ölçülərinin kiçilməsi baş verir və emulsiya rejimi yaranır ki, bu rejimdə ekstraktorun bütün boşqablararası məsafəsini dolduran, təxminən eyni diametrdə kiçik damcılardan olması xarakterikdir.

Ekstraktorun boşqablarının dəşiklərinin ölçüləri 3...5 mm və bütün dəşiklərin sahəsi sütunun en kəsinin 20...25%-ni təşkil edir, boşqablar arası məsafə 50 mm olur.

Ən yaxşı paylanma və disperslənmə dördkünc dəşikli və istiqamətləndirici pərli boşqablarda əldə olunur.

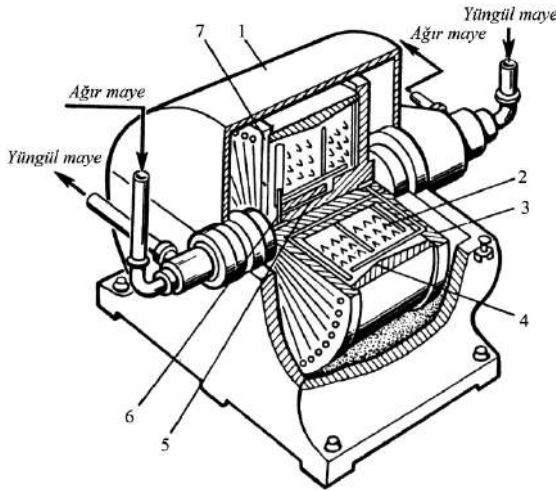
Vibrasiyalı ekstraktorlarda boşqablar blokunun vibrasiyası pulsasiyalı ekstraktorlarda mayenin pulsasiyasına nisbətən böyük tezlikdə və kiçik amplitudda baş verir. Boşqablar blokunun vibrasiyasına enerji sərfi pulsasiyalı ekstraktorlarda maye sütununu hərəkətinə sərf olunan enerjiyə nisbətən azdır.

Pulsasiyalı və vibrasiyalı ekstraktorların üstünlükləri kütləötürmə əmsalının və prosesin orta hərəkətedici qüvvəsinin artması hesabına əldə olunan effektiv kütləötürmədir.

Kütləötürmənin yüksək effektivliyi ekstraksiya avadanlığının metal tutumunu nisbətən azaltmağa imkan verir və bu da sərmayə qoyuluşunun azalmasına gətirib çıxarır. Bununla yanaşı pulsasiyalı və vibrasiyalı ekstraktorlar üçün daha güclü təməl tələb olunur. Belə ekstraktorların istismar xərcləri adi boşqablara görə bir qədər yüksək olur.

Mərkəzdənqaçma ekstraktorlarda əks istiqamətdə hərəkət edən fazaların fasiləsiz kontaktı hesabına minimal təsir müddətində ekstraksiya baş verir (şək.16.14). Alt və üst köynəklərindən ibarət olan maşının korpusunda rotor bərkidilən val yerləşir. Val hər iki tərəfdən boş olub “boru boruda” tipdə hazırlanır, mərkəzi hissədə isə bütöv olaraq yüngül mayeni çıxarmaq üçün kanallarla təchiz olunmuşdur. Val rotorla birgə 4500 dəq⁻¹ tezliklə fırlanır.

Emal olunan qarışıq və ekstragent boş valın əks istiqamətlərindən ekstraktora daxil olur (şək.16.14). Yüngül maye intiqal tərəfdən və ağır maye isə valın əks tərəfindən verilir. Kipləşdirən maye kimi ekstraktorda emal olunan maye iştirak edir.



Şək.16.14. Mərkəzdənqaçma ekstraktor:

1- ekstraktorun korpusu; 2- “V”-şəkili həlqə; 3- rotor; 4- yüngül maye vermək üçün boru; 5- yüngül maye çıxarmaq üçün boru; 6- ağır maye vermək üçün boru; 7- ağır maye çıxaran kanal

Rotorun daxilində konsentrik “V” şəkilli həlqələr paketi yerləşir. Rotorda yüngül və ağır mayelərin keçməsi üçün kanallar nəzərdə tutulur. Yüngül maye rotorun kənar hissəsinə daxil olduqda ağır maye mərkəzə, rotorun paketinə daxil olur. Rotor həlqələr dəsti ilə fırlandıqda ağır maye mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirinə rotorun xarici perimetrinə yönəlir, yüngül maye isə rotorun valına tərəf hərəkət edir. Beləliklə, mayələr əks axında görüşür. Mayenin çoxsaylı dispersiya etməsi hesabına ekstraksiyanın yüksək səmərəliliyi əldə olunur.

Üçlü məhlulun ayrılmasından sonra mayələr kanallarla rotorun boş valına axır, ağır maye intiqal tərəfindən, yüngül maye isə valın əks tərəfindən çıxarılır.

Rotorun daxilində fazaların inversiyası yaranır. Əgər rotorun kənarlarında (periferiya hissəsində) yüngül mayenin dispers fazasının ağır mayenin bütöv fazası ilə əlaqəli təsiri baş verirsə, rotorun oxuna yaxın zonada əksinə ağır mayenin dispers fazasının yüngül mayenin bütöv fazası ilə əlaqəli təsiri baş verir.

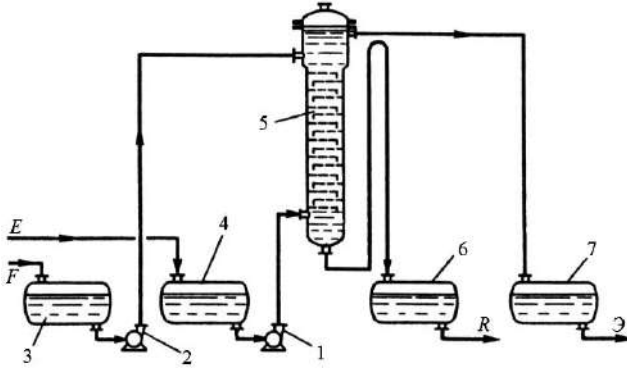
Yüngül maye axıdan boruda iki fazanın radial istiqamətdə yerləşməsinə nizamlamaq üçün əks klapın nəzərdə tutulur. Əks klapla yüngül mayenin işçi təzyiqini dəyişərək yüngül və ağır mayenin həcmələrinin lazımı nisbətini əldə etmək olur.

Ekstraksiyanın effektivliyi emal olunan mayelərin xassələrindən asılı olaraq rotorla saxlanılan ağır və yüngül mayelərin həcmi- nin dəyişməsi yolu ilə təyin olunur. Rotorun fırlanma tezliyinin artması ilə ekstraksiyanın effektivliyi və ekstraktorun məhsuldarlığı artır.

Mərkəzdənqaçma ekstraktorlar yığcamlığı və yüksək effektivliyi ilə fərqlənir. Onların fərqləndirici cəhəti mərkəzdənqaçma qüvvələri sahəsində fazaların qarışma və ayrılma proseslərinin əhəmiyyətli dərəcədə təcillənməsidir (sürətlənməsidir). Konstruksiyadan asılı olaraq fazaların belə ekstraktorlarda qalma müddəti bir neçə saniyədən onlarla saniyəyə qədərdir. Mərkəzdənqaçma ekstraktorlarda sıxlıq fərqləri az olan mayələr emal olunur.

Fasiləsiz təsirli ekstraksiya qurğusunun əsas aparatları ekstraktor, ilkin qarışmaq, ekstragent, rafinat və ekstrakt üçün çənlərdir

(şək.16.15). İlk qarışıq çəndən 3 nasos 2 vasitəsilə ekstraktorun üst hissəsinə, ekstragent (yüngül maye) isə çəndən 4 nasos 1 vasitəsilə ekstraktorun alt hissəsinə verilir.



Şək.16.15. Fasiləsiz təsirli ekstraksiya qurğusunun sxemi:

1, 2- nasoslar; 3,4,6,7- çənlər; 5- ekstraktor

Ekstraktorda kütlədəyişmə əks axında baş verərək ekstragent boşqablardan keçərək altdan yuxarı, ilkin məhlul isə ona qarşı axır. Nəticədə ekstraktorun üst hissəsindən ekstrakt çıxır, alt hissəsindən isə rafinat çıxaraq uyğun çənlərə yığılır.

Ekstraktorun məhsuldarlığı ekstraktorun “boğulmasına” uyğun ən böyük yüklənmə həddinə görə təyin edilir. “Boğulma” nöqtəsində yüklənmə aparatın hərəkətsiz bütöv fazasında olan damcılardan orta çökmə sürətinə bərabər sürət xarakteristikasına görə və maksimal saxlama qabiliyyətinə görə hesablanır.

Tornton-Pratt tənliyindən istifadə edək:

$$\frac{v_D}{x_3} + \frac{v_c}{1-x_3} = \varepsilon v_0 (1-x_3), \quad (16.13)$$

hansı ki, xarakterik sürət v_0 , bütöv fazanın həcmi sürətinin $v_c \left[\frac{\text{m}^3}{(\text{m}^2 \cdot \text{san})} \right]$ və dispers fazanın həcmi sürətinin v_D gecikmə

kəmiyyətinə x_3 olan nisbəti ilə əlaqələndirilir. ε - ekstraktorun həcmindən maye keçən həcm payıdır.

“Boğulmada” x_3 maksimuma çatdığına görə tənliyi x_3 -ə görə differensiallasaq və törəmələri sıfıra bərabərləşdirsək, onda

$$dv_c / dx_3 = 0; \quad dv_D / dx_3 = 0.$$

“Boğulma” momentində dispers və bütöv fazaların saxta həcmi sürətlərini təyin edək:

$$v_D = 2\varepsilon v_0 x_3^2 (1 - x_3^2), \quad (16.14)$$

$$v_c = \varepsilon v_0 (1 - 2x_3)(1 - x_3)^2 \quad (16.15)$$

Ekstraktorun saxlama (gecikmə) qabiliyyəti

$$x_3 = \frac{[(v_D / v_c)^2 + 8v_D / v_c]^{0.5} - 3v_D / v_c}{4(1 - v_D / v_c)}, \quad (16.16)$$

Bütöv fazanın işçi sürətini hədd qiyətindən 20...40% aşağı götürürük:

$$v_{or} = (0,6...0,8)v_c. \quad (16.17)$$

Ötürmə vahidlərinin ümumi hündürlüyü additivlik (cəmlənmə) qaydasına görə hesablanır:

$$h_0 = h_c + h_D v_c / (\varphi v_D), \quad (16.18)$$

burada h_c və h_D - ötürmə vahidlərinin uyğun olaraq bütöv və dispers fazalarda hündürlüyü,

$v_c / (\varphi v_D)$ - ekstraksiya faktorudur.

h_c və h_D qiymətləri kütləötürmə əmsallarının qiymətindən asılı olaraq təyin edilir:

$$h_c = v_c / (\beta_c \alpha); \quad h_D = v_D / (\beta_D \alpha),$$

burada h_c və h_D - uyğun olaraq bütöv və dispers fazalarda kütləvermə əmsalı, $\text{kmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{san} \cdot \text{kmol}/\text{kmol})$;
 $a = 6\epsilon x / d_{or}$ - səthin xüsusi sahəsidir, m^2/m^3 .

β_c , β_D və d_{or} qiymətləri kriteriya və empirik tənliklərlə hesablanır. Məsələn, taxmalı və şadəralı boşqablı ekstraktorların dispers fazada kütləvermə əmsalının hesabı üçün aşağıdakı tənlikdən istifadə edilir:

$$\beta_c = 0,725 \text{Re}_c^{-0,43} \text{Pr}_c^{-0,58} \nu_s (1-x), \quad (16.20)$$

burada $\text{Re}_c = d_{or} \nu_s \rho_c / \mu_c$ - Reynold kriteriyası;

ν_s - fazaların nisbi sürəti;

ρ_c - bütöv fazanın sıxlığı, kq/m^3 ;

μ_c - bütöv fazanın dinamik özlülüyü, $\text{Pa} \cdot \text{san}$;

$\text{Pr}_c = \mu_c / \rho_c D_c$ - bütöv faza üçün Prandtl kriteriyası;

D_c - bütöv fazada diffuziya əmsalıdır, m^2/san .

Rotorlu-diskli ekstraktorların dispers fazada kütləvermə əmsalı (16.12) tənliyi ilə, bütöv fazada isə (16.10) tənliyi ilə hesablanır.

16.6. Bərk cisim – maye sistemində ekstraksiya

Yuyulma bərk cisimdən bir və ya bir neçə maddənin seçicilik qabiliyyətinə malik qarışdırıcının köməyi ilə çıxarılmasıdır.

Qida sənayesində yuyulmadan bitki və ya heyvan mənşəli olan kapilyar – məsaməli cisimlərin emalında istifadə olunur.

Çuğundurda şəkər alınmasında, qəhvənin və çayın ekstraksiyasında sudan; likor-araq, pivə - alkoqolsuz içkilərin istehsalında spirt və spirt araq məhlulundan; yağ və efir istehsalında isə benzin, trixloretilen, dixloretdən qarışdırıcı kimi istifadə olunur.

Yuyulma şəkər çuğunduru istehsalının əsas prosesi olub şəkərin çıxarılması üçün istifadə olunur. Benzinin köməyi ilə günəbaxan tumlarından yağ çıxarılır. Yuyulmadan sonra texnoloji sxem-

də çox zaman filtrləmə, buxarlanma və kristallaşma prosesləri yerinə yetirilir.

16.7. Yuyulmanın statikası və kinetikası

Yuyulma prosesində qarışdırıcı bərk cismin məsamələrinə daxil olaraq çıxarılan maddələri əridir.

Əriyən maddənin kimyəvi potensialının və onun bərk cisimdə kimyəvi potensiallarının bərabərləşməsində tarazlıq yaranır. Qarışıqın doymasına uyğun konsentrasiyası həll olunma adlanır.

Bərk cismin səthinə yaxın tarazlıq qısa müddət ərzində əldə olunur. Buna görə də kütləötürmə prosesinin analizində bərk cisim - qarışdırıcı (həlledici) faza ayırıcının səthindəki konsentrasiya doymuş qarışıqın konsentrasiyasına y_{doy} bərabər qəbul olunur.

Yuyulma kinetikasının əsas məsələsi ekstraksiya edən maddənin lazımı çıxarılma dərəcəsini əldə etmək üçün tələb olunan fazaların kontakt müddətinin təyin edilməsidir. Fazaların kontakt müddətinə görə ekstraksiya aparatlarının ölçüləri təyin edilir.

Yuyulmada kütlədəyişməyə bərk cismin daxili strukturu, yəni kapilyarların ölçüləri, forması, hissəciklərin kimyəvi tərkibi böyük təsir göstərir. Kütləötürmənin sürəti bərk cismin daxili quruluşundan asılıdır.

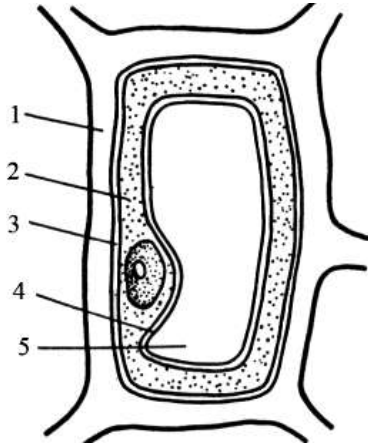
Yuyulma mürəkkəb, çox mərhələli proses olub qarışdırıcı (həlledici) bərk cismin məsamələrinə diffuziyasından, çıxarılan maddələrin qarışmasından, ekstraksiya edilən maddələrin daxili cismin kapilyarlarında faza ayırıcı səthinə diffuziyasından və ekstraksiya edən maddələrin maye qarışdırıcıda fazaayırıcı səthindən ekstragent axınının nüvəsinə kütləötürməsindən ibarətdir.

Kütləötürmə sürəti bitki və heyvan mənşəli kapilyar məsaməli cisimlərdə müşahidə olunur.

Şəkil 16.16-da bitki hüceyrəsinin quruluş sxemi verilir.

Kütləötürməyə əsas müqaviməti protoplazma göstərir. Buna görə bitki mənşəli xammalı yumadan əvvəl xüsusi emal edirlər. Divarın denaturasiyasından sonra hüceyrədə diffuziya əmsalı kəskin azalır və uyğun olaraq kütləötürmə əmsalı artır.

Kütləkeçirmə əmsalı bərk cismin daxili strukturundan, ekstragentin fiziki xassələrindən, ekstraksiya edən maddənin konsentrasiyasından və prosesin temperaturundan asılıdır.



Şək.16.16. Bitki hüceyrəsi:

1- hüceyrənin örtüyü; 2- protoplazma; 3, 4- yarımkəçirici membranlar; 5- vakuol

Yuyulma prosesinin hərəkətedici qüvvəsi ekstraksiya edən maddənin bərk cismin üzərindəki konsentrasiyasının $y_q = y_{doy}$ və onun ekstragent kütləsindəki orta konsentrasiyası y_{or} arasındakı fərqdən ibarətdir.

Bu halda prosesin sürəti

$$\frac{dM}{Fd\tau} = \beta_y (y_{doy} - y_{or}), \quad (16.21)$$

burada β_y - maye fazada kütləvermə əmsalıdır.

Qalınlığı δ olan sərhəd layında molekulyar diffuziyanın sürəti Fik tənliyindən tapılır:

$$\frac{dM}{Fd\tau} = \frac{D(y_{doy} - y_{or})}{\delta},$$

burada D - molekulyar diffuziya əmsalıdır.

Son tənliklərdən A.N.Şukaryov bərk cisimlərin həll olunma tənliyini almışdır:

$$M\tau = (D/\delta)F_{or}(y_{doy} - y_{or}) = \beta_y F_{or}(y_{doy} - y_{or}), \quad (16.22)$$

burada $\beta_y = D/\delta$, eksperimental yolla təyin olunur ki,
 $\delta \approx D^{1/3}$.

Onda (16.21) tənliyindən görünür ki, $\beta_y D^{2/3}$ -ə mütənəsbdir. Eksperimental verilənləri ümumiləşdirərək kütləvermə əmsalını β_y hesablamaq üçün tənlik alırıq:

$$Nu_D = 0,8Re^{0,5} Pr_g^{0,33}, \quad (16.23)$$

burada $Nu_D = \beta_y d / D$ - Nusselt kriteriyası;

d - bərk hissəciyin diametri;

$Re = \nu d \rho / \mu$ - Reynolds kriteriyası;

ν - ekstragentin sürəti;

μ - ekstragentin dinamik özlülüyü;

$Pr = \nu / D$ - Prandtl kriteriyasıdır.

(16.22) ifadəsindən görünür ki, diffuziya layının δ qalınlığı azaldıqca β artır. Sərhəd layı nəzəriyyəsiindən məlumdur ki, diffuziya layının qalınlığı Reynolds kriteriyası artdıqca azalır, yəni ekstragentin hərəkətinin nisbi sürəti artdıqca azalır. Deməli, yuyulma prosesini effektiv hidrodinamik şəraitin yaradılması və həmçinin bərk materialın xırdalanması hesabına intensivləşdirmək olar.

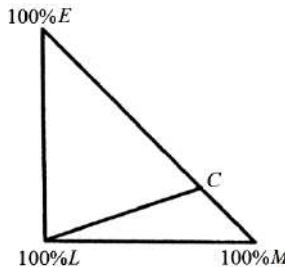
Xırdalanma kütləötürmə səthinin artmasına və ekstraksiya edilən materialın kapilyarlarının dərinliyindən materialın səthinə diffuziya yolunun azalmasına gətirib çıxarır. Temperatur və kütləötürmə əmsalının artması səbəbindən yuyulma ekstragentin qaynama temperaturuna yaxın temperaturda aparılır. Bu halda doymuş qarışıqın konsentrasiyası y_{doy} artır, bu da yuyulmanın və qarışdırmanın hərəkətedici qüvvəsinin artmasına gətirib çıxarır.

Kütləkeçirmə sürətini hüceyrənin diffuziya müqavimətinin azalmasına səbəb olan qida xammalının xüsusi emalı yolu ilə artırmaq olar.

Praktiki olaraq prosesin intensivləşdirilməsi effektiv hidrodinamik şəraiti olan ekstraktorlarda, yəni saxta mayeləşmiş laylı ekstraktorlarda, həmçinin vibrasiyalı və pulsasiyalı ekstraktorlarda nail olunur.

16.8. Ekstraksiya aparatlarının hesabı

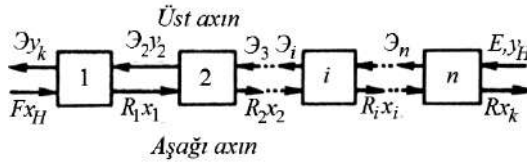
Nəzəri pillələr ədədini təyin etmək üçün üçbucaq diaqramından istifadə edilir (şək.16.17). Hesabatın sadəliyi üçün diaqram düzbucaqlı üçbucaq şəklində verilir. Tutaq ki, ekstraksiya olunan bərk material qarışmayan komponentdən L və maye ekstragentlə E çıxarılan qarışan komponentdən M ibarətdir. Proses nəticəsində tərkibində M maddəsi həll olunan ekstragent və tərkibində L maddəsi həll olmayan rafinatdan ibarət ekstrakt əmələ gəlir.



Şək.16.17. Bərk cisim - maye sistemi üçün üçbucaq diaqramı

Üçbucağın hər bir tərəfindəki nöqtələr iki komponentli qarışıqların tərkibini ifadə edir L və M , L və E , M və E . Üçbucağın daxilində yerləşən nöqtələr üçkomponentli sistemin tərkibini xarakterizə edir. Əgər E ekstragentdə M maddəsinin doymuş qarışığı üçbucağın hipotenuzunda C nöqtəsi ilə ifadə olunarsa, onda LC düz xətti qarışmayan bərk L maddəsi ilə həll olan doymuş M və E qarışıqlarının tərkiblərini xarakterizə edən hündəsi nöqtələr yeridir.

Üçbucaqlı diaqramda çoxseksiyalı qurğuda baş verən əksaxınlı ekstraksiya prosesini nəzərdən keçirək (şək.16.18). Konsentrasiyası x_H kütlə payı olan ekstraksiya edən maddənin bərk maddə L ilə qarışığı F kq/san miqdarında ekstraksiya qurğusunun birinci pilləsinə daxil olur. Əks istiqamətdən n -ci pilləyə M tərkibli maddəsi olan y_H miqdarında ekstragent E (kq/san) daxil olur. Qurğudan y_k M maddəsi olan ekstrakt \mathcal{O} kq/san və x_k konsentrasiyalı rafinat R (kq/san) çıxarılır.



Şək.16.18. Çoxseksiyalı əksaxınlı ekstraksiyanın sxemi

Ekstragent E -də ekstraksiya edən maddənin M qarışığını \mathcal{O} -üst axın, bərk maddə olan L -in ekstraksiya edən M maddəsi ilə qarışıq axınını R - alt axın adlandıraraq.

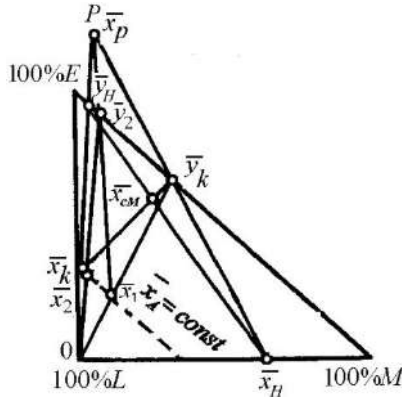
Material balansı tənliyi

$$F + E = R + \mathcal{O}; \quad (16.24)$$

$$F x_H + E y_H = R x_k + \mathcal{O} y_k \quad (16.25)$$

Ekstraksiya edən maddənin bərk fazada $\overline{x_H}$ konsentrasiyasını absis oxunda, $\overline{y_H}$ konsentrasiyasını isə üçbucaqlı diaqramın hipotenuzunda qeyd edək (şək.16.19) və bu nöqtələri düz xətlə birləşdirək. Xətti E/F nisbətində bölsək, ilkin məhlulun tərkibini xarakterizə edən x_{CM} nöqtəsini alırıq. Əgər rafinatın tərkibi məlumdursa, üçbucağın hipotenuzuna paralel olaraq bərk fazanın sabit tərkib xəttini ($x_L = const$) çəkirik və $\overline{x_k}$ nöqtəsini qeyd edirik. (16.24) və (16.25) tənliklərinə əsasən $\overline{x_k}$, $\overline{x_{CM}}$ və $\overline{y_k}$ nöqtələri bir

düz xətdə yerləşməlidirlər. Bununla yanaşı ekstraktın tərkibinə uyğun nöqtə y_k (M və E qarışığı) üçbucağın hipotenuzunda yerləşir. Buna görə \bar{y}_k nöqtəsini \bar{x}_k və \bar{x}_{CM} nöqtələrindən keçən xəttin hipotenuzası ilə kəsişməsindən alırıq.



Şək.16.19. Üçbucaq diaqramı

Hər hansı bir j -ci pillə üçün material balansı tənliyi

$$F + \mathcal{E}_{j+1} = R_j + \mathcal{E}, \quad (16.26)$$

$$F - \mathcal{E} = R_j - \mathcal{E}_{j+1}. \quad (16.27)$$

Ekstraksiya edən maddəyə görə material balansı

$$F \bar{x}_H - \mathcal{E} \bar{y}_k = R_j \bar{x}_j - \mathcal{E}_{j+1} \bar{y}_{j+1}. \quad (16.28)$$

İlkin bərk məhlulla ekstraktın sərfələrinin fərqi $F - \mathcal{E} = P$ ilə işarə edək. Buradan $F \bar{x}_H - \mathcal{E} \bar{y}_k = P \bar{x}_p$ və ya

$$P = F - \mathcal{E} = R_1 - \mathcal{E}_2 = \dots = R - E; \quad (16.29)$$

$$P \bar{x}_p = F \bar{x}_H - \mathcal{E} \bar{y}_k = F_1 \bar{x}_1 - \mathcal{E}_2 \bar{y}_2 = \dots = R x_k - E y_n \quad (16.30)$$

(16.29) və (16.30) tənliklərindən görünür ki, P qütübünün yerləşməsi $\overline{x_H}$ və $\overline{y_k}$, $\overline{x_k}$ və $\overline{y_H}$ nöqtələrindən keçən düz xətlərin kəsişməsi ilə təyin olunur.

P qütübünün yerini təyin edərək konsentrasiyanın dəyişməsinin nəzəri pillələr ədədini qrafiki yolla tapmaq olur. Bunun üçün $\overline{y_k}$ nöqtəsini koordinat başlanğıcı ilə (0 nöqtəsi) birləşdirən və $\overline{x_A} = const$ xəttində $\overline{x_1}$ kəsişmə nöqtəsini tapırıq. (16.29) və (16.30) tənliklərindən $P = R_1 - \mathcal{O}_2$; $P\overline{x_p} = R_1\overline{x_1} - \mathcal{O}_2 y_2$. Buna görə $\overline{y_2}$ nöqtəsini $\overline{x_p}$ və $\overline{x_1}$ nöqtələrindən keçən düz xətt ilə üçbucağın hipotenuzunun kəsişməsindən alırıq. $\overline{y_2}$ nöqtəsini koordinat başlanğıcı ilə birləşdirərək çəkilən xətlə $\overline{x_A} = const$ xəttinin kəsişməsindən alınan $\overline{x_2}$ nöqtəsini alırıq. Bu əməliyyatlar rafinatın konsentrasiyası $\overline{x_k}$ -ya bərabər olana qədər aparılır.

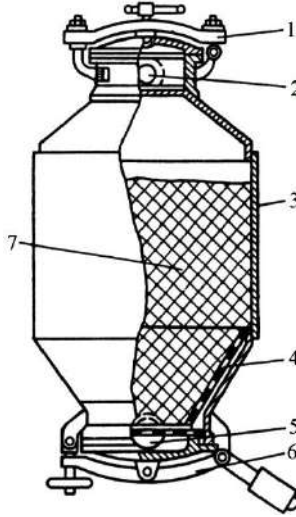
Koordinat başlanğıcını $\overline{x_1}$, $\overline{x_2}$, $\overline{x_3}$, ..., $\overline{x_k}$ nöqtələri ilə birləşdirən xətlərin sayı ekstraksiyanın nəzəri pillələr ədədini təyin edir.

16.9. Yuyulma üçün ekstraksiya aparatlarının quruluşu

Qida sənayesində qarışdırma və yuyulma periodik və fasiləsiz üsullarla perkolyatorlarda və diffuziya aparatlarında düz və əks axınla yerinə yetirilir.

Perkolyator (şək.16.20) qapağı və dibi konusvari olan şaquli silindrik aparatdır. Aparatın dibində şadara yerləşir. Bura üst lyukdan xırdalanmış material layı yüklənir. Yuyulmadan sonra material altdakı açılan lyukdan çıxarılır.

Perkolyatorlar ardıcıl olaraq batareyalara birləşdirilir. Batareyada perkolyatorların sayı 4-dən 15-ə kimidir. Həllədiçi olaraq nasos vasitəsilə altdan yuxarı bütün perkolyatorlardan ardıcıl olaraq keçir. Batareya əksaxın prinsipi ilə işləyir. Aparatların biri söndürülür, işlənmiş material çıxarılır və yenisi yüklənir. Bütövlükdə qurğu fasiləsiz işləyir.



Şək.16.20. Perkolyator:

1- qapaq; 2, 5- həlledicinin ştuserləri; 3- korpus; 4- şadara; 6- açılan lyuk; 7- bərk material

Saxta mayeləşmiş laylı aparatlar qarışmanın və yuyulmanın effektini yüksəltməyə imkan verir. Aparat alt hissəsində paylayıcı şadara yerləşən sütundan ibarətdir. Bu şadara xırdalanmış bərk material yüklənir, qarışdırıcı isə şadaranın altına verilir. Həlledicinin sürəti elə seçilməlidir ki, bərk materialda onun saxta mayeləşməsi üçün kifayət edən təzyiqlər fərqi yaransın. Belə aparatlar yarımfasiləsiz və fasiləsiz rejimlərdə işləyə bilər.

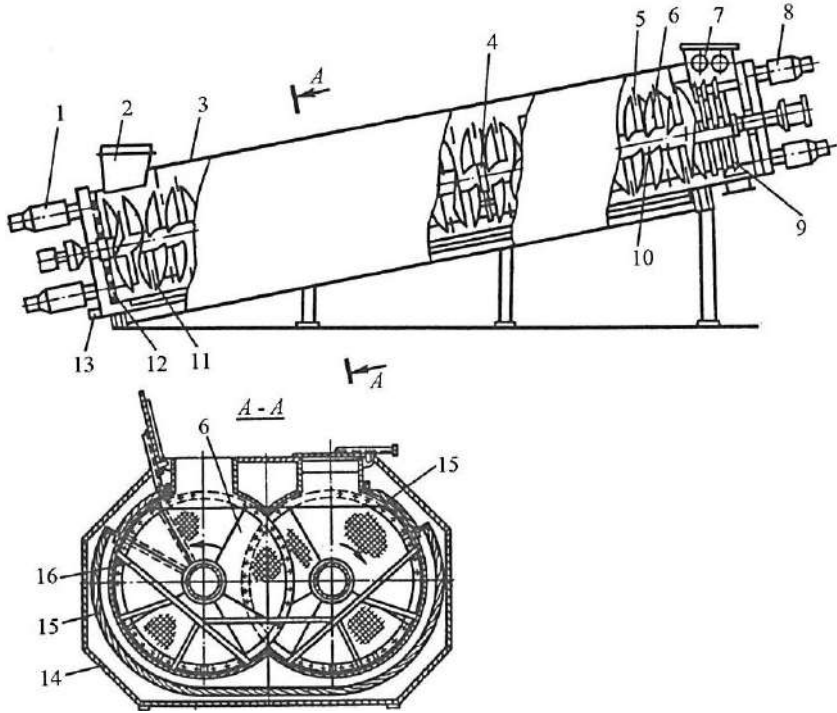
Fasiləsiz təsirli diffuziya aparatları yonqarlanmış şəkər çuğundurundan şəkərin ayrılması prosesində geniş istifadə edilir.

Maili iki şnekli diffuziya aparatı (şək.16.21) $8...11^\circ$ bucaq altında yerləşdirilir. Aparatın üst hissəsində şəkər çuğunduru yonqarını yükləmək üçün bunker və aparatdan cecəni çıxarmaq üçün şnek quraşdırılır.

Aparatın içərisində yonqarlanmış material iki paralel vintvari yerləşən pərli şneklərlə altdan yuxarı hərəkət edir.

Cecə aparatın üst hissəsindən boşaldıcı şneklə çıxarılır. Cecənin yaxşı çıxarılmasına pərlər də kömək edir. Boşaldıcı şneklər

nəqlədirici şneklərə perpendikulyar yerləşir və əks istiqamətdə fırlanır. Kütlənin qızdırılması üçün aparatın korpusunun alt hissəsində qızdırıcı kameralar quraşdırılır.



Şək.16.21. Maili iki şneklə diffuziya aparatı:

1, 8- elektrik mühərrikləri; 2- qəbul bunker; 3- qapaq; 4- dayaq; 5- arakəsmə; 6, 9- pərlər; 7- boşaldıcı şnek; 10- şnek; 11- qızdırıcı kamera; 12- ələk; 13- diffuziya olunmuş şirənin çıxarılması üçün ştuser; 14- qabırğa; 15- izolyasiya; 16- kontrpər

Silindrik birsütunlu diffuziya aparatı daxilində şnek fırlanan silindrik korpusdur. Şnek üst dayağa birləşir. Korpusun daxili səthində kontrpərlər quraşdırılır. Şnekin fırlanmasına mane olmamaq üçün onlar ayrı-ayrı müstəvilərdə yerləşir. Şnekin pərləri və kontrpərlər yonqarlanmış kütləni qarışdırır və onu aşağıdan yuxarı nəql etdirir.

Aparatın alt hissəsi diffuziya olunmuş şirəni çıxarmaq üçün qurğu ilə təchiz olunur. O üfüqi yarıq şəkilli ələkdən, kontrpərlərdə və ələk təmizləyən pərlərdə yerləşən əlavə filtrləyici səthdən ibarətdir. İsidilmiş şirəli çuğundur yonqarı nasosdan boru vasitəsilə paylayıcıya verilir və üfüqi ələyin səthinə bərabər paylanır.

Cecənin çıxarılması üçün aparatın üst hissəsində boşaldan qurğu yerləşir. O şnekdən, pəncərədən, hər pəncərənin yanında yerləşən seqment çıxarıcılarından ibarətdir. Pəncərələrdən aşağıda olan novda cecəni aparatdan çıxaran rotorlu kürəkli konveyer yerləşir.

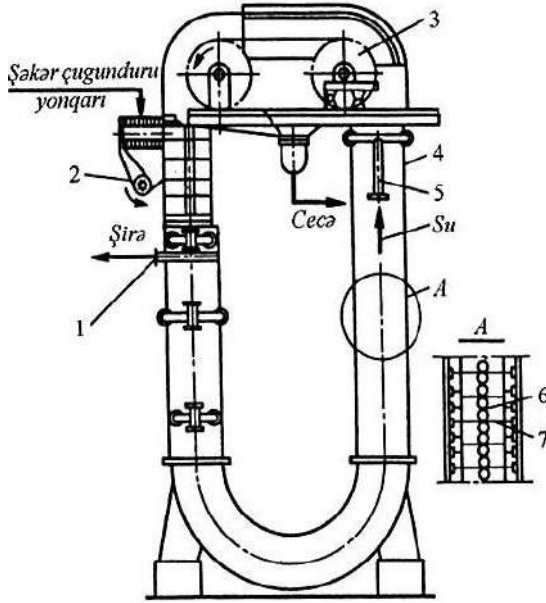
Birsütunlu aparatların çatışmamazlıqları aşağıdakılardır: yonqarlanmış şəkər çuğundurunun isidilməsidir ki, bunun üçün əlavə qurğu tələb olunur, həmçinin yonqarın verilməsi mərkəzdənqaçma nasos vasitəsilə yerinə yetirilir, bu da yonqarın nisbətən xırdalanmasına səbəb olur və xırdalanmış yonqardan şəkərin tam çıxarılmasına imkan vermir; 100 qramda 10-15 m uzunluqda yonqarlanmış materialın olması prosesin müddətinin artmasına, o da öz növbəsində diffuziya olunmuş şirənin texnoloji keyfiyyətinin pisləşməsinə səbəb olur.

İkisütunlu diffuziya aparatı (şək.16.22) en kəsiyi düz bucaq olan “U” şəkilli korpus olub dayaqlar vasitəsilə bünövrəyə bərkidilir. Aparatın korpusu ayrı-ayrı çərçivələrdən ibarət olub möhkəmləndirici qabırğalarla birləşdirilir.

Yonqarlanmış material aparatda nəqletdirici çərçivələr birləşdirilmiş iki zəncir vasitəsilə hərəkət edir və çərçivəli zəncirlər hərəkəti intiqaldan alır. Çərçivələri cecədən təmizləmək üçün zərbə tipli çərçivə təmizləyən quraşdırılır. Cecə çərçivələrdən bunkerə sürüşür və sonra şneklə çıxarılır. Yonqarlanmış çuğunduru aparata vermək üçün dırmaqlı konveyer və çuğundur yonqarı tullayan nəzərdə tutulur. Aparatın içərisinə ucluqlar vasitəsilə qızdırılmış şirə verilir.

Diffuziya şirəsi aparatdan kamerada quraşdırılan konusvarideşikli özü regenerasiya edən ələklərdən keçərək çıxarılır. Barometrik su aparatın üst hissəsindəki ucluqlardan, preslənmiş cecənin suyu isə alt ucluqlardan daxil olur. Aparata daxil olan çuğundur yonqarı aparatdan çıxışa tərəf hərəkət edir. Barometrik və ce-

cə suları ikinci sütunun üst hissəsinə cecə yonqarının əks istiqamətində verilir. Diffuziya şirəsi istehsalə, cecə isə preslərə və ya cecə anbarlarına verilir. Bəzi zavodlarda barometrik və cecə suyu bir böyük çənə yığılaraq qarışdırılır və sonra qızdırıcıya verilir.



Şək.16.22. İkisütunlu diffuziya aparatı:

1, 5- ştuserlər; 2- rotorlu tullayıcı; 3- baraban; 4- korpus;
6- zəncir; 7- çərçivə

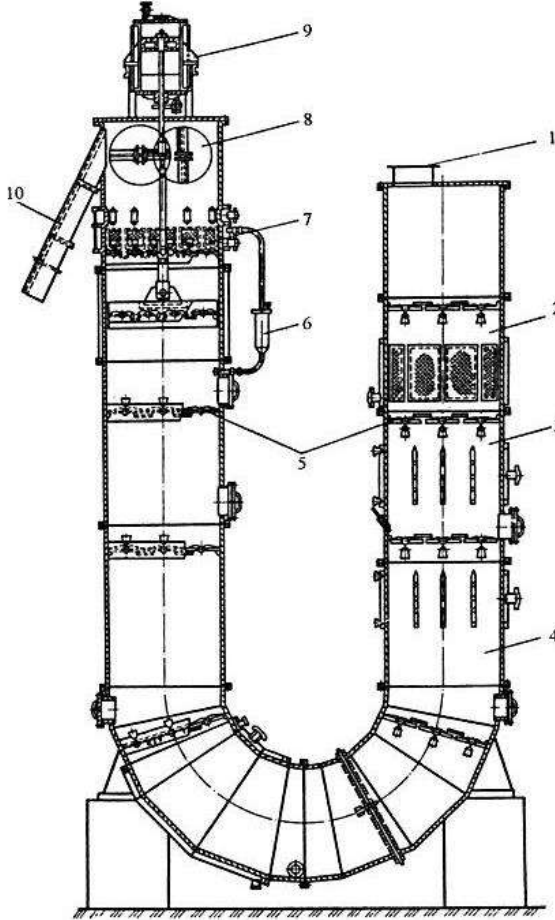
Nəzərdən keçirilən aparatın konstruksiyasında çuğundur cecəsi aparatın içərisində isidilir və bunun üçün əlavə qurğu tələb olunmur.

Bəzi aparatlarda bərk material çömçələrlə nəql etdirilir.

Çərçivə və ya çömçəli zəncirli nəqletdirici qurğuların istifadəsi bərk materialın kipləşməsinə gətirib çıxarır ki, bu da ekstraksiya prosesini pisləşdirir. Pərli vallı və kontrpərli diffuziya aparatlarında materialın daha çox xırdalanması baş verir. Bu da diffuziya şirəsinin aparatda filtrlənməsini çətinləşdirir və bununla da ekstrak-

siya sürətini azaldır. İri çuğundur yonqarının istifadə edilməsi nəticəsində diffuziyadaxili müqavimətin artması səbəbindən ekstraksiya sürəti azalır.

Asılı laylı diffuziya aparatlarında bu çatışmazlıqlar olmur. Professor S.M.Qrebenyuk tərəfindən işlənmiş ikisütunlu aparatda (şək.16.23) çuğundur yonqarı asılı halda olur.



Şək.16.23. İkisütunlu asılı laylı diffuziya aparatı:

- 1- yükləmə qıfı; 2- ələklər qurşağı; 3, 4- qızdırıcı kameralar;
- 5- saxlayıcı şadalar; 6- səviyyə ölçən; 7- nəqliyici qurğu;
- 8- şnek qurğusu; 9- intiqal; 10- boşaldıcı nov

Aparatın daxilindəkini hərəkətə gətirmək üçün hərəkətedici qüvvə birinci və ikinci sütunda materialın üstündə yaranan təzyiqlər fərqiədir. Porşenli nəqletdirici qurğunun yuxarı hərəkətində onun altında boşalma yaranır. Çuğundur yonqarı müəyyən səviyyəyə qədər diffuziya şirəsi ilə doldurulmuş birinci sütunun üst hissəsinə daxil olur. Şirənin səviyyəsi səviyyə ölçənlə müəyyən-ləşdirilərəək saxlanılır. Beləliklə, çuğundur yonqarı diffuziya şirəsinə daxil olur və aparatın həcmində bərəbər paylanır.

Çuğundur yonqarı porşenin nəqletdirici qurğusu vasitəsilə hərəkət edir. Porşen aşağı hərəkət etdikdə o cecə və maye kütləsinə daxil olur. Aparatdakı kütlənin porşenlə hərəkət etməməsi üçün onun altında şadara quraşdırılır. Aşağı hərəkətdə porşen ləngiyir və bu zaman porşenin klapaları qapanır. Sonra porşen yuxarı, kütlə isə porşenin hərəkəti istiqamətində, həmin vaxt sol sütundakı kütlə aşağı, həmin məsafəyə hərəkət edir. Porşenin periodik hərəkəti nəticəsində yonqarlanmış kütlə asılı vəziyyətdə olur. Porşenlə saxlanılan cecə porsiyası şadaraya daxil olur, burada cecə suyu ayrılaraq porşenin altına daxil olur və cecə isə şnek boşaldıcı vasitəsilə boşaldıcı nova yönəlir.

Diffuziya aparatının məhsuldarlığı

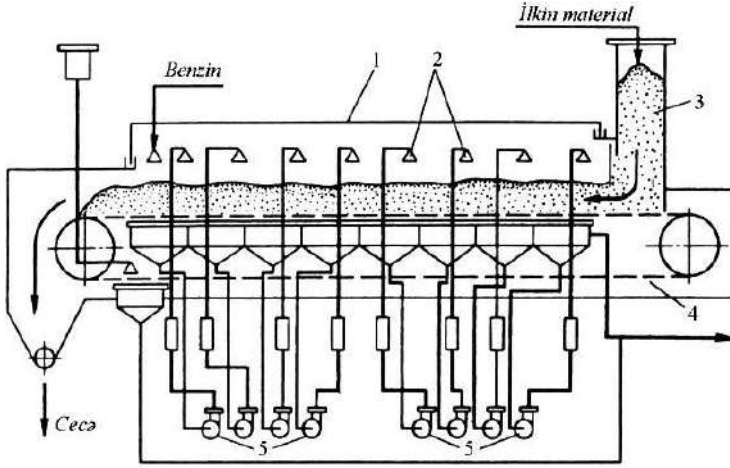
$$G = \frac{24 \cdot 60 \cdot 60 \cdot V_n q}{1000\tau}, \quad (16.31)$$

burada V_n - aparatın faydalı həcmi, m^3 ;

q - aparatın vahid faydalı həcmində çuğundur yonqarının kütləsi, kq/m^3 (sütunlu aparatlar üçün $q = 600...700 kq/m^3$);

τ - ekstraksiya prosesinin müddətidir, san.

Lentli ekstraktorlar (şək.16.24) günəbaxan tumlarından yağ ekstraksiya etmək üçün istifadə olunur. Bərk faza – xırdalanmış tumlar nazik layla ləntanın üzəri ilə hərəkət edir, ekstragent – benzin üstədən nasos vasitəsilə verilir və ləntada olan materialı suvarır.



Şək.16.24. Lentli ekstraktor:

- 1- gövdə; 2- ucluqlar; 3- yükləyici şaxta;
4- nəqlədirici qurğu; 5- nasoslar

Ekstraktorun konsentrasiyası bərk fazanın ekstragentlə effektiv təsir etməsini təmin etmir, ekstraksiya yüksək olmayan sürətlə gedir. Yağı tam çıxarmaq üçün bir neçə ekstraksiya pilləsi tələb olunur.

Yoxlama sualları

1. Ekstraksiya nədir? 2. Ekstraksiya prosesi harada yerinə yetirilir? 3. Ekstraksiyanın prinsipial sxemi necədir? 4. Sistemin tarazlığına nə təsir edir? 5. Ekstraksiya prosesinin kinetik qanunauyğunluqları hansı qanunlarla təyin edilir? 6. Bütöv və dispers fazalarda diffuziya müqavimətini nəzərə almamaq mümkün olmadıqda, kütləötürmə əmsalı necə təyin olunur? 7. Sənayedə hansı periodik və fasiləsiz ekstraksiyadan istifadə olunur? 8. Paylanan maddəyə görə material balansı necə təyin olunur? 9. Ekstragentin modullarının ekstremal qiymətləri necə təyin olunur? 10. Ekstraksiya prosesinin təşkil olunmasına görə ekstraktorlar necə olurlar? 11. Yuyulma prosesinin mahiyyəti nədir? 12. Yuyulma prosesində hansı komponentlər iştirak edir? 13. Yuyulmanın sürətini təyin edən faktorlar hansılardır? 14. Ekstraktorların hesabı nədən ibarətdir? 15. Əks axınlı ekstraksiya üçbucaq diaqramında necə verilir? 16. Qida sənayesində hansı konstruksiyalı ekstraktorlardan istifadə olunur?

FƏSİL 17

KRISTALLAŞMA

Məhlul və ya ərintidən bərk fazanın ayrılması prosesinə kristallaşma deyilir.

Həll olmuş kristal məhsulunun qarışıqdan ayrılması bir çox istehsalların texnoloji tsiklinin son mərhələsidir: şəkər, qlükoza, limon turşusu və s.

Bəzi hallarda elə şərait yaratmaq lazımdır ki, kristallaşma baş verməsin (karamel istehsalında). Digər hallarda kristallaşma əsas texnoloji proseslə birgə baş verir (marmeladın üzərində xırda kristallı şəkər qabığının əmələ gəlməsi). Kristallaşma və qarışma yalnız müəyyən şərtlərdə mümkündür. Çoxdoymuş (ifrat doymuş) məhluldan maddənin kristallaşması yalnız qarışan maddənin miqdarının həll olan maddədən artıq olması zamanı baş verir. Həll olma məhlulda verilən temperaturda kristallik maddə ilə tarazlıqda olan həll olunan maddənin konsentrasiyası və ya tərkibidir.

17.1. Kristallaşma üsulları

Həll olmuş maddənin kristal şəklində ayrılması üçün məhlulu çox doyma səviyyəsinə çatdırmaq lazımdır. Bu aşağıdakı üsullarla yerinə yetirilir:

- a) məhlulun bir qisminin buxarlanması hesabına qatılması və həll olunan maddənin konsentrasiyasının artırılması, buxarlandırıcıda məhlulun qaynaması və ya qaynama temperaturundan aşağı temperaturda olan həlledicinin havaya buxarlanması;
- b) həll olmanın azalması üçün məhlulun soyudulması;
- c) həlledicini bağlayan (su) və ya həll olmanı azaldan maddələrin əlavə olunması.

Bu üsullara uyğun olaraq aşağıdakı kristallaşma növləri vardır: izotermiki (sabit qaynama temperaturunda), izohidrik (həlledicinin sabit miqdarında) və izotermiki – izohidriki (qaynayan kütlədən həlledicinin azalması, xaricdən məhlulun qidalanması ilə əvəz olunur).

17.2. Kristallaşma nəzəriyyəsinin əsas anlayışları

Kristallaşma prosesinin statikasına kristallaşan sistemin hədd halları, hidrodinamiki faktorlardan və zamandan asılı olmayan statiki “normal” qarışma qiymətləri, kristalların yaranma ehtimalı, prosesin başlanğıc və son halı üçün material balansı haqqında məlumatlar daxildir.

Kristallaşmanın kinetikasına prosesin xarakteristikasının dəyişməsi, yəni çoxdoymanın əmələ gəlmə sürəti, kristal əmələ gəlmə intensivliyi, kristalların böyümə sürəti və onun başqa faktorlarla əlaqədar zaman müddətində dəyişməsi (istilikdəyişmə, çox kristallaşma, qarışma və s.), həmçinin kristalların qranulometrik tərkibi haqqında məlumatlar daxildir.

Kristallaşmanın dinamikası isə sistemin daxili və xarici reaksiyasıdır. Dinamika barədə məlumatlar kristallaşma prosesinin avtomatik idarə edilməsi üçün tələb olunur.

Kristallaşma prosesləri mürəkkəbliyi ilə fərqlənilir. Prosesin statikası daha çox, kinetikasi bir qədər az öyrənilmiş, dinamikanın öyrənilməsi isə ilkin mərhələdədir.

17.3. Kristal yaranma (əmələ gəlmə) prosesinin əsas parametrləri

Kristal dənələrinin yaranması üçün məhlul çoxdoymuş vəziyyətə çatmalıdır. Çoxdoyma qiyməti kristallaşma mərkəzlərinin sərbəst yaranma şərtlərinin təmin olunması üçün kifayət etməlidir. Az doymada kristallaşmanın induksion dövrü (gözləmə vaxtı) artır və bu müddətin azalması üçün məhlula xırda kristallar daxil edirlər ki, bunlar məhlulun bütün həcmində yeni kristallaşma mərkəzlərini yaratsın. Sistemdə kristallaşma mərkəzləri eyni vaxt baş vermir, nüvələrin yaranma sürəti prosesin zaman funksiyasıdır. Kritik ölçülərdən böyük ölçülü yaranan nüvələr böyüməyə başlayırlar, kiçik ölçülülər isə həmin şəraitdə əriyirlər. Əgər dəyişməyən çoxdoymada böyük kristallar kiçik kristalların qarışması hesabına böyüyürsə belə proses rekristallaşma adlanır.

Sənaye aparatlarının qeyri-izotermiki iş şəraitində kristallar məhlul axını ilə hərəkət edərək temperatur sahələri ilə kəsişir, bu zaman çoxqızmış doymamış məhlul sahəsinə keçərək qismən və ya tam əriyirlər. Bununla yanaşı yüksək çoxdoyma sahəsində yeni kristallaşma mərkəzlərinin yaranması mümkündür. Belə hallarda prosesin cəmlənmiş effekti kristallaşma və ərimə sürətlərinin uyğunluğu ilə təyin edilir. Sənaye şəraitində həmişə müxtəlif ölçülü kristallar əmələ gəlir, buna görə də hazır məhsulun keyfiyyəti kristalların qranulometrik (fraksiya) tərkibi ilə xarakterizə olunur. Kristalların arzu olunan xüsusiyyəti yüksək eynicinslik dərəcəsinin olmasıdır və hər məhsul üçün standartı uyğun normallaşdırılır.

Kristalların fraksiya tərkibinin zaman müddətində yerdəyişməsi prosesin göstəricisi olub aparatda onun təşkilinin təkmilləşmə xarakteristikasıdır.

Kristalların yaranması çoxdoymanın dəyişməsi, bu dəyişmənin sürəti və kristalların ölçülərinə uyğun paylanması ilə xarakterizə olunur. Bu parametrlər bütün faktorların təsirini cəmləşdirir.

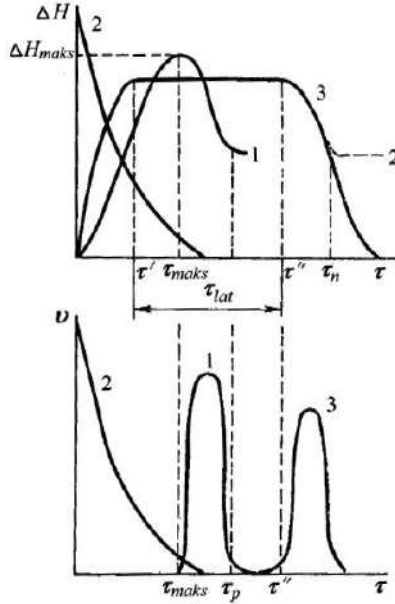
17.4. Çoxdoyma sürətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi

Məhlulun mütləq çoxdoymasının dəyişmə əyrilərini $\Delta H = H - H_0$ və kristallaşma sürətinin $V = dH/d\tau$ zamandan τ asılılığını nəzərdən keçirək.

Məhlulun soyuması nəticəsində baş verən izohidrat kristallaşması zamanı mütləq çoxdoyma maksimuma H_{\max} qədər τ_{\max} -da artır və sonra azalır, τ_p momentində isə sabit qalır ki, bu da məhlulun çoxdoymasının əmələ gəlməsinin sabit sürətini və tükənmə sürətini göstərir. 2 əyrisi – labil sahədə izotermiki kristallaşmaya cavab verir. Çoxdoyma prosesi nəticəsində kristalların yaranma prosesi dərhal başlayır, məhlul tez tükənir və tükənmə sürəti sıfıra kimi düşür.

3 əyriləri – metastabil çoxdoymuş məhlullardakı izotermik kristallaşmaya uyğundur. τ' momentindən başlayaraq lazımi çoxdoyma əldə olunduqda latent dövr ərzində $\tau_{lat} = \tau'' - \tau'$ məhlul

dəyişməz qalır. Sonra τ'' zaman momentində çoxdoymanın aşağı düşməsi başlayır, çoxdoymanın sürətinin dəyişməsi maksimuma qədər qalxır və sıfıra kimi düşür. 1-3 əyriləri təzə məhlulla qidalanmayan kristallaşmaya uyğundur. Əgər sistemə eyni zamanda təzə məhlul əlavə etsək və məhlulu buxarlandırsaq, onda çoxdoymanı gecikdirmək olur və nəticədə qidalanma müddətindən τ_q başlayaraq 3 əyrisi 4 əyrisinə keçir.



Şək.17.1. Məhlulun çoxdoymasının və tükənmə sürətinin zamandan asılılığı:

1 – izohidrat kraistallaşma; 2 – labil (dəyişən) çoxdoymuş məhlullardan izotermiki kristallaşma; 3 – metastabil çoxdoymuş məhlullardan izotermiki kristallaşma

Məhlulun konsentrasiyası H mütləq çoxdoyma ilə ΔH analogi dəyişir və əyrilərin gedişi $H = f(t)$ kristallaşma şərtindən asılı olur. $H - \tau$ əyrilərindən istifadə edərək hesabat üçün bir çox kəmiyyətləri təyin etmək olur. Burada nüvələrin yaranma sürəti ilə

$dN/d\tau$, kristalların böyüməsinin xətti sürəti $dL/d\tau$ arasındakı əlaqəni təyin etmək xüsusilə vacibdir (burada N - verilən həcmdə nüvələrin miqdarı, L - kristalın xarakterik xətti ölçüsüdür).

17.5. Kristalların yaranma sürəti ilə böyümə sürəti arasındakı asılılıq

İzohidrat kristallaşma halını nəzərdən keçirək (şək.17.2). Konsentrasiyası H olan məhlulda (A nöqtəsi) nüvələrin yaranması üçün, o t_1' doyma temperaturuna qədər soyumalı və $\Delta t = t_1' - t_2$ qiymətinə qədər daha çox soyumalıdır (nöqtə C). Bir qədər az çoxsoyumada (məsələn, B' nöqtəsində göstərilən hala qədər) daha nüvələr yaranmır, ancaq mövcud kristallar böyüyür. Nüvələrin yaranma sürəti məhlulun çoxsoyuma dərəcəsinə asılıdır. Onun müəyyən qiymətindən aşağı nüvələrin yüksək qarışması nəticəsində sürət olduqca az olur. Həddən çoxsoyumada və uyğun olaraq məhlulun yüksək özlülüyündə kristallaşma sürəti də azalır.

Kristalların böyümə sürəti həm də çoxsoyumadan və ona uyğun gələn çoxdoymadan asılıdır.

Kristalların böyüməsi kütlədəyişmə prosesidir. Çoxdoymuş və doymuş məhlulların konsentrasiyasını C və C_0 (kq/m^3) kimi ifadə edək. Onda kristalların böyüməsinin kütlə sürətini kütləötürmə tənliyi ilə ifadə etmək olar

$$dm/d\tau = k_1(C - C_0)F = k_1\Delta CF = q'F \quad (17.1)$$

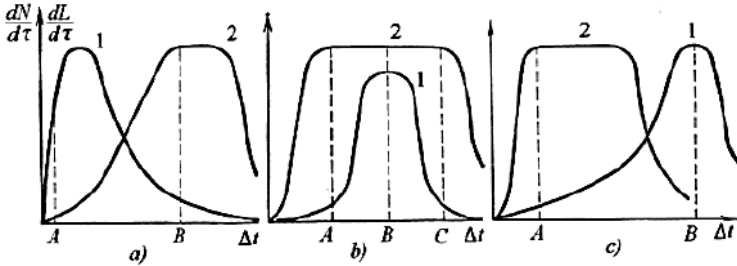
burada $dm - d\tau$ müddətində F səthində kristalların tillərində çökən maddənin kütləsidir, kq ;

k_1 - bütün tillər üçün orta kütləötürmə əmsalındır, m/san ;

$C - C_0 = \Delta C$ - kristallaşmanın diffuziya prosesinin hərəkət "qüvvəsidir", kq/m^3 .

Göründüyü kimi, kristalların səthi $F = AL^2$, onların həcmi $V = BL^3$ və kütləsi $m = \rho V$; burada A və B - sabitdir. Buna görə

c halı onunla fərqlənir ki, aşağı çoxsoyumada iri dənli məhsul, yüksək çoxsoyumada (B) isə xırda dənli məhsul əmələ gəlir.



Şək.17.3. Kristalların yaranma və böyümə sürətləri ayrılmasının birləşmə variantları:

1 - kristalların yaranma sürəti; 2 - kristalların böyümə sürəti

Beləliklə, müxtəlif temperatur rejimlərində eyni məhsulda müxtəlif keyfiyyətli kristallaşma müşahidə olunur. Buradan hər bir məhsul üçün soyuma prosesinin mükəmməl nizamlanması vacibliyi ortaya çıxır.

Həllədicinin buxarlanması ilə təmin olunan izotermiki kristallaşmada çoxdoyma qiymətindən asılı olaraq kristalların yaranması və böyüməsi analiz edilərək analoji qiymətlər almaq olur.

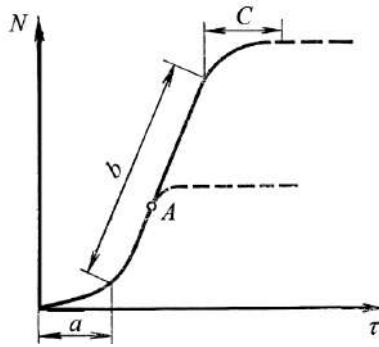
Bunlar, həmçinin kristallaşma prosesinin optimallaşdırılması nəticəsinə gətirib çıxarır.

17.6. Kristallaşma prosesinin optimallaşdırılmasının əsas şərtləri

Kristallaşma prosesinin optimallaşdırılmasının əsas şərtləri aşağıdakılardır: a) dayanıqlı (davamlı) nizamlanan kristalların yaranması; b) kristalların böyüməsinin nizamlanması; c) sistemə istiliyin gətirilməsi və çıxarılmasının nizamlanması.

17.6.1. Dayanıqlı nizamlanan kristalların yaranması. Kristalların nüvələrinin miqdarı və ölçüsü çoxdoyma prosesinin temperaturundan və onun yaranma sürətindən əhəmiyyətli dərəcədə

asıldır. Həyat qabiliyyəti olan nüvənin hər ölçüsünə çoxdoymanın qiyməti uyğun gəlir. Mövcud kristalların böyüməsi zamanı yeni nüvələrin yaranmaması üçün çoxdoymanı azaltmaq lazımdır. Zaman ərzində vahid həcmdə yaranan nüvələrin miqdarı prosesin konkret parametrləri ilə şərtləndirilmişdir. Bunları elə nizamlamaq lazımdır ki, istənilən vaxt yeni nüvələrin əmələ gəlməsi dayandırılınsın. Bu moment kristallaşma mərkəzlərinin ümumi sayının böyüməsinin N zamandan asılılığı ilə təyin olunur (şək.17.4).



Şək.17.4. Zamandan asılı olaraq kristallaşma mərkəzlərinin yaranma əyrilərin xarakteri

$N = f(\tau)$ əyrisinin a sahəsi molekulların ilkin vəziyyətinin induksion dövrünü xarakterizə edir və yaranan mərkəzlərin sayı çox olmur. b sahəsində yaranan nüvələrin miqdarı zamana mütənasibdir. C sahəsi prosesin sönməsini xarakterizə edir ki, nüvələrin sayı məlum həddə çatır və burada cütləşmiş kristallar (duzlar) yaranır ki, bu da texnoloji proses üçün məqsədəuyğun deyildir. İşçi sahə - b əyrisinin parçasıdır ki, onun sərhədlərində verilən keyfiyyətdə məhsul almaq üçün kristalların lazımı sayını nizamlamaq və yeni kristallaşma mərkəzlərinin yaranmasının qarşısını almaq üçün isə A işçi nöqtəsində çoxdoymanı azaltmaq lazım gəlir.

17.6.2. Kristalların böyüməsinin nizamlanması. Kristalların yaranması və böyüməsi prosesin iki ardıcıl fazasıdır, belə ki, yara-

nan nüvələr məhluldan kristalın üzərinə maddə axını hesabına böyüməyə başlayır. Nüvələrin yaranması statiki və ani prosesdir. Yeni nüvələr mövcud kristalların böyüməsi zamanı yaranır və müxtəlif ölçülü kristallar öz “yaşları” ilə fərqlənir. Kristalların böyümə sürəti praktiki olaraq onların yaranma sürəti faktorlarından, yəni temperaturdan, çoxdoymadan, hidrodinamiki şərtlərdən və s. asılıdır. Kristal kütləsinin çıxımı (17.1) və (17.2) tənliyində olan faktorlarla təyin olunur.

17.7. Kristallaşma prosesinin statikası

Bərk maddələrin həll olması temperaturun artması ilə dəyişərək “müsbət” və “mənfi” ola bilər. Temperatur artdıqca həll olma artırsa, onda belə maddələr “müsbət”, azalırsa “mənfi” həll olunan adlanırlar.

Verilən temperaturda bərk faza ilə tarazlıqda olan məhlul doymuş məhlul adlanır. Belə məhlullarda bərk maddə və həlledicinin arasında dinamiki tarazlıq yaranır, yəni vahid zamanda kristaldan əriyən və məhlula keçən hissəciklərin sayı məhlulda kristallaşaraq bərk fazaya keçən hissəciklərin sayına bərabərləşir.

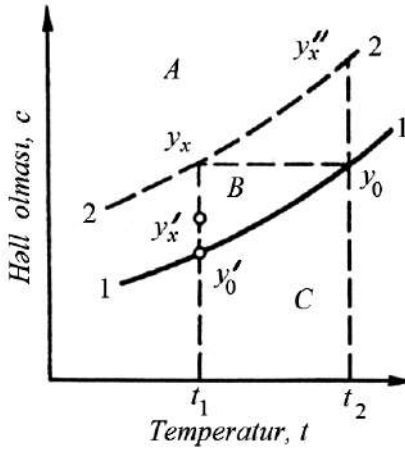
Çoxdoymuş məhlul elə məhlullara deyilir ki, orada həll olan maddənin konsentrasiyası onun həllolma qabiliyyətindən çoxdur. Çoxdoymuş məhlullar dayanıqsızdır və asanlıqla doymuş məhlula keçirlər. Belə keçiddə çoxdoymuş fazadan bərk faza ayrılır.

Temperaturun dəyişməsi ilə məhlulların vəziyyəti məhlulların hal diaqramları ilə xarakterizə olunur (şək.17.5).

Labıl sahəyə uyğun konsentrasiyalarda məhlullar çox tez, metastabil sahəyə uyğun konsentrasiyada isə məhlullar nisbətən yavaş kristallaşır.

Temperaturdan çox asılı olmayan maddələrin qarışıqları üçün çoxdoymuş məhlul sahəsinə keçid yalnız temperatur çox aşağı düşdükdə baş verir. Temperatur t_2 -dən t_1 -ə endikdə məhluldan ayrılan bərk fazanın miqdarı çox olmayıb və məhlulun konsentrasiyasının dəyişməsinə mütənasibdir. Məhlulun çoxdoyması sabit temperaturda t_2 həlledicinin bir qisminin ayrılması yolu ilə əldə

olunur. Bu zaman məhluldan bərk fazanın konsentrasiyalarının fərqinə $y_x'' - y_0$ mütənasib olan hissəsi ayrılır. Deməli, belə məhlulların kristallaşdırılmasını həm temperaturun azaldılması, həm də həlledicinin bir hissəsinin ayrılması ilə yerinə yetirilir.



Şək.17.5. Məhlulların hal diaqramları:

1-1 - həllolma əyrisi; 2-2 - metastabil sahənin sərhədi; A - labil məhlullar sahəsi; B - metastabil məhlullar sahəsi; C - stabil məhlullar sahəsi

Həll olması temperaturdan asılı olan maddələr üçün optimal kristallaşdırma metodu temperaturun azaldılması ilə müəyyən edilir. Əgər temperatur artdıqda maddələrin həll olması dəyişmirsə, onda kristallaşdırma həlledicinin ayrılması ilə yerinə yetirilir.

17.8. Kristallaşdırmanın kinetikasi və şərtləri

Maddənin məhluldan bərk fazaya keçməsi həll olan maddənin sərhəd layından keçərək diffuziya etməsi ilə baş verir. Kristallaşma prosesinin sürəti həll olan maddənin sərhəd layından keçərək diffuziya etmə və kristal cismi ilə maddənin birləşmə sürətləri ilə təyin olunur, yaxud hər iki mərhələdən eyni vaxtda asılı olur.

Saxarozanın kristallaşma prosesini müşahidə edək. Böyümə prosesində kristallar δ qalınlığında çoxdoymuş kristallararası məhlul ilə əhatə olunur.

Bu doymuş məhlul layından artıq, yəni izafi saxaroza molekulları kristalların üzərində tez ayrılaraq saxarozanın konsentrasiyası y_H olan doymuş məhlul əmələ gətirir.

Kristallardan bir qədər məsafədə məhlul çoxdoyma konsentrasiyasını y_n saxlayır. Kristalların tillərindən bir qədər məsafədə əhatə edən məhlulda saxarozanın konsentrasiyası y_n olan çoxdoyma qorunub saxlanılır. $y_n - y_H$ konsentrasiyalar fərqi nəticəsində saxaroza məhlulun sərhəd layından keçərək diffuziya edir. Kristalların tillərinə yaxınlaşaraq saxarozanın molekulları kristallik şəbəkəyə keçir, yəni faza keçidi baş verir. Beləliklə, kristalların böyümə sürəti saxarozanın diffuziya sürəti və fazalar ayırıcı sərhəddində faza keçidi sürəti ilə şərtlənir. Əgər faza keçidi sürəti saxarozanın diffuziya sürətindən çox yüksəkdirsə, onda saxarozanın kristallaşma prosesinin son mərhələsi onun diffuziyası olur. Saxarozanın kristallarının böyümə sürəti aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$dM / d\tau = [DF(y_n - y_H)] / \delta, \quad (17.3)$$

burada dM - vahid zamanda kristallaşan maddənin miqdarı;

D - diffuziya əmsalı;

F - maddənin kristallaşan səthinin sahəsi;

y_n - çoxdoymuş məhlul həcmində maddənin konsentrasiyası;

y_H - kristalın səthində maddənin konsentrasiyası (məhlulun konsentrasiyasına bərabər qəbul olunur);

δ - konsentrasiyası y_n -dən y_H -ə qədər dəyişən məhlulun sərhəd layının qalınlığıdır.

(17.3) tənliyini inteqrallamaqla alırıq:

$$M = [D(y_n - y_H)F\tau] / \delta.$$

Kristallaşma sürəti

$$M / (F\tau) = D(y_n - y_H) / \delta. \quad (17.4)$$

Çoxdoymuş məhlulun kristalların üzəri ilə axma xarakterinin laminar olmasını nəzərə alsaq, sərhəd layının qalınlığı

$$\delta \simeq (\mu/\nu)^{0,5}, \quad (17.5)$$

burada μ - doymuş məhlulun dinamik özlülüyü;

ν - kristalların məhlulda hərəkət sürətidir.

Stoks qanununa əsasən $\nu = 1/\mu$.

Diffuziya əmsalının mütləq temperaturdan T və özlülükdən μ asılılığı Eynşteynə görə

$$D = kT / \mu,$$

burada k - diffuziya edən maddənin təbiətindən asılı olan sabitdir.

$$\text{Onda } \delta = (\mu/\nu)^{0,5} = [\mu/(1/\mu)]^{0,5} = \mu \text{ və } D = kT / \mu.$$

(17.4) tənliyinə nəzərəən alırıq:

$$M / (F\tau) = kT(y_n - y_H) / \mu^2 \quad (17.6)$$

$\mu^2 = 1$ olduqda k əmsalının qiyməti 2318-ə bərabər olur. Onda tənlik aşağıdakı şəkildə alınır:

$$M / (F\tau) = 2318(y_n - y_H) / \mu^2, \quad (17.7)$$

burada $M / (F\tau)$ - saxarozanın kristallaşma sürəti, mq/(m²·dəq);

$y_n - y_H$ - konsentrasiyalar fərqi olub 100 qr məhlulda qr-la;

μ - verilən temperaturda doymuş məhlulun dinamik özlülüğüdür, mPa·san.

(17.7) tənliyi təmiz və texniki məhlullarda kristalların böyümə prosesinin ümumi keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün yararlıdır.

Kristallaşma sürətini təyin edən əsas faktorlar məhlulun çoxdoyma sürəti, temperatur, kristalların mərkəzlərinin yaranması, qarışdırma intensivliyi və məhlulda qarışıqların olmasıdır. Kristallaşma prosesi iki mərhələdən: kristallaşma mərkəzlərinin yaranmasından və kristalların böyüməsindən ibarətdir.

Kristallaşma prosesinin optimallaşdırılması dayanıqlı nizamlanan kristal yaranmadan, kristalların böyüməsindən, sistemdə istiliyin çıxarılması və ya verilməsinin nizamlanmasından ibarətdir. Kristalların nüvələrinin (dənlərinin) ölçüləri və miqdarı məhlulun çoxdoymasını əldə etmə sürətindən və temperaturundan asılıdır.

İstiliyin çıxarılması və verilməsi müəyyən sürətli qanunla baş verməlidir. Məhlulun həddən tez çoxsoyumasında və ya konsentrasiya olmasında dənlərin yaranmasını və kristalların böyüməsini ləngitmək olar.

Kristallaşma mərkəzlərinin yaranması çoxdoymuş və ya çoxsoyumuş məhlullarda süni yolla əldə oluna bilər, məsələn, məhlula narın dispersli hissəciklərin əlavə edilməsi və ya öz-özünə yaranması.

Kristalların öz-özünə yaranmasında induksiya dövrü baş verir ki, burada görünən kristallaşma baş vermir. Bu dövrdə kristalların dənləri məhlulla hərəkətsiz tarazlıqda olur. Kütləvi kristallaşma dənlərin və məhlulun arasında hərəkətsiz tarazlığın pozulmasından sonra başlayır. Kristalların dənlərinin yaranma sürəti temperatur artdıqca məhlulu qarışdırdıqda və ya silkələdikdə artır.

Kristalların böyüməsi formalaşan dəndə məhluldan həll olan maddənin hissəciklərinin adsorbsiyası hesabına baş verir. Kristal eyni vaxtda bütün tillər üzrə müxtəlif böyümə sürətləri ilə böyüyür, bu da kristallaşma prosesində kristalların formalarının və ölçülərinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Kristal şəkərin, duzun alınmasında kristalların maksimal yekcinsliyi və düz forması tələb olunur.

Kristalların forması əsasən kristallaşan maddənin təbiətindən asılıdır. Düzgün formalı kristallar onların məhlulla sərbəst və bərabər əhatə olunmasında alınır. Kristalların divarlara və ya mexaniki qurğulara sürtülməsində kristalların strukturu pozulur və keyfiyyəti azalır.

Alınan kristalların qeyri-yekcinsliyi məhlulun pis qarışması ilə bağlıdır. Ancaq məhlulun intensiv qarışdırılması bir tərəfdən kristallaşmanın sürətini artırır, digər tərəfdən kiçik kristalların yaranmasına gətirib çıxarır.

Təcrübədə kiçik kristalların kristallaşma zonasından çıxarılması üçün uyğun üsullardan istifadə olunur. Kristalların daxilinə məhlulla kənar qarışıqlar daxil ola bilər. Kiçik kristallar, bir qayda olaraq məhluldan kənar qarışıqları özünə çəkir.

17.9. Kristallaşma üsulları

Kristallaşma prosesi periodik və ya fasiləsiz olur. Periodik kristallaşmadan kiçik tonnajlı istehsalatda istifadə olunur. İri sənaye müəssisələrində kristallaşma prosesləri fasiləsiz sxem üzrə təşkil edilir.

Qida sənayesində suyun qismən çıxarılması, ilkin məhlulun soyudulması və ya qızdırılması, kombinə edilmiş kimi kristallaşma metodlarından istifadə olunur.

Suyun qismən çıxarılması ilə kristallaşma vakuum-aparatlarda yerinə yetirilir. Suyun çıxarılması onun buxarlanması ilə yerinə yetirilir. Həmin vakuum-aparatlarda çoxdoymuş məhluldan şəkərin kristallaşması yerinə yetirilir.

Şəkər tozu və rafinad zavodlarında şəkər siropları qatılmaq üçün vakuum aparatlara verilir. Qatılmış məhsul utfel adlanır. Bu kristallaşma üsulunun çatışmamazlığı vakuum aparatlarının istilikötürmə səthlərində kristalların əmələ gəlməsidir. Kristalların borularda və aparatın divarlarında əmələ gəlməsi onların çıxarılmasını çətinləşdirir.

Məhlulun su və ya hava ilə soyudulması ilə kristallaşması çoxdoymuş məhlulları almağa imkan verir.

17.10. Kristallaşmanın material və istilik balansı

Kristallaşmanın ümumi material balansı aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$G_H = G_{kr} + G_M + W, \quad (17.8)$$

burada G_H , G_{kr} , G_M - uyğun olaraq ilkin məhlulun, alınan kristalların və əsas məhlulun kütlələri, kq;

W - ayrılan suyun kütləsidir, kq.

Mütləq quru həll olan maddəyə görə balans

$$G_H x_H = G_{kr} a + G_M x_M,$$

burada x_H , x_M - uyğun olaraq ilkin və əsas məhlulun konsentrasiyaları, kütlə payı;

$a = M / M_{kr}$ - mütləq quru həll olan maddənin və kristalsolvatın molekulyar kütlələrinin nisbəti, su molekullarının birləşmədən kristallaşmasında $M = M_{kr}$; $a = 1$.

Ayrılan həlledicinin kütləsi $a = 1$ olduqda

$$W = G_{kr} / G_H (1 - x_H / x_M). \quad (17.9)$$

Əmələ gələn kristalların kütləsini (17.8) və (17.9) tənliklərini birgə həll etməklə tapırıq:

$$G_{kr} = \frac{G_H (x_M - x_H) - W x_M}{x_M - a}. \quad (10)$$

Suyun havaya buxarlanmasında quru havanın kütləsi (kq) $L = W(x_2 - x_1)$ tənliyindən tapılır, burada x_2 və x_1 - uyğun olaraq havanın son və ilkin nəmlik tutumu, yəni 1 kq quru havaya nəmlik miqdarıdır, kq.

Həlledicinin qovulmaması ilə kristallaşmada ($W = 0$)

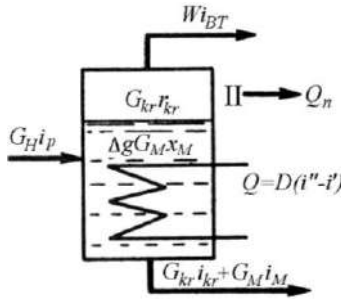
$$G_{kr} = \frac{G_H (x_H - x_M)}{a - x_M}. \quad (17.11)$$

$a=1$ olduqda

$$G_{kr} = \frac{G_H (x_H - x_M)}{1 - x_M}. \quad (17.12)$$

Suyun qismən çıxarılması ilə kristallaşmanı nəzərdən keçirək. Kristallaşmaya ilkin qarışıq G_H daxil olur, ondan G_{kr} kristal və G_M əsas qarışıq alınır.

Həllədicinin qovulması üçün kristallaşdırıcıya qızdırıcı buxar D verilir (şək.17.6).



Şək.17.6. İstilik axınlarının sxemi

İşarələmə edək: $i_p, i_{kr}, i_M, i_{BT}, i', i''$ - uyğun olaraq məhlulun, kristalların, əsas məhlulun, ikinci buxarın, qızdırıcı buxarın və kondensatın entalpiyaları, kCoul/kq; r_{kr} - kristal qəfəslərinin əmələ gəlmə istiliyi; kCoul/kq; Δq - məhlulun x_H -dən x_M qədər konsentrasiya etməsinin istilik effekti.

Məhlulun kristallaşması zamanı kristal qəfəsinin yaranması baş verir və bir qədər istilik ayrılır (bərkimə istiliyi), maddənin həll olmasında isə istilik sərf etmək tələb olunur. Əgər həll olan

maddə həlledici ilə kimyəvi əlaqəyə girərək hidrat əmələ gətirirsə, bu zaman istilik ayrılır. Kristallaşmanın cəmi istilik effekti bərkimə istiliyindən və hidratların yaranmasından asılı olaraq müsbət və ya mənfi ola bilər.

Qəbul edilən işarələmələri nəzərə alsaq kristallaşma istiliyi $Q_{kr} = G_{kr}r_{kr}$, hidratasiya istiliyi $Q_r = \pm \Delta q G_M x_M$ kimi ifadə olunur.

İstilik axınları sxeminə görə istilik balansını aşağıdakı kimi göstərmək olar:

$$G_H i_p + G_{kr} r_{kr} \pm \Delta q G_M x_M + D i'' = G_{kr} i_{kr} + G_M i_M + W i_{BT} + D i' + Q_n, \quad (17.13)$$

buradan kristallaşmaya sərf olunan buxarı təyin etmək olar

$$Q = D(i'' - i') = G_{kr} i_{kr} + G_M i_M + W i_{BT} + Q_n + G_H i_r - G_{kr} r_{kr} \pm \Delta q G_M x_M;$$

$$D = Q / (i'' - i').$$

Məhlulun soyuması halında soyudan suyun kütlə sərfi

$$G_B = \frac{Q_s}{G_B c_B (t_k - t_H)}; \quad (17.14)$$

soyudan havanın kütlə sərfi

$$L = \frac{Q_s}{i_k - i_H}, \quad (17.15)$$

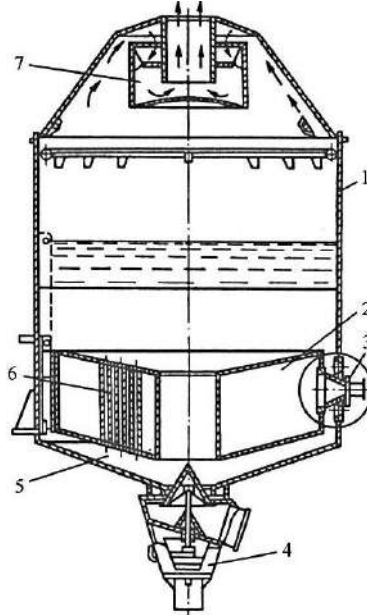
burada t_k, t_H - suyun uyğun olaraq son və ilkin temperaturları, °C;

i_k, i_H - havanın uyğun olaraq son və ilkin entalpiyasıdır, kCoul/kq.

17.11. Kristallaşdırıcıların quruluşu

Təsir prinsipinə görə kristallaşdırıcılar periodik və fasiləsiz tipli olurlar. Suyun qismən çıxarılması ilə kristallaşma vakuum aparatlarda yerinə yetirilir.

Təbii sirkulyasiyalı periodik təsirli asqılı qızdırıcı kameralı vakuüm aparat şəkil 17.7-də verilir. Qızdırıcı kamera iki konusvari borulu şadaradan ibarətdir ki, bura qızdırıcı borular birləşir. Qızdırıcı kameranın oxu boyunca sirkulyasiya borusu yerləşir. Qızdırıcı kameranın korpusları arasında həlqəvi məsafə olur ki, burada utfel sirkulyasiya edir.



Şək.17.7. Asqılı qızdırıcı kameralı vakuüm aparat:

1- korpus; 2- qızdırıcı kamera; 3- buxar daxil etmək üçün qurğu; 4- sirkulyasiya borusu; 5- altlıq; 6- qızdırıcı boru; 7- inersion tipli separator

Vakuüm aparatlarda qızdırıcı kameraya buxar vermək üçün xüsusi qurğudan istifadə olunur. O qızdırıcı kameranın və aparatın korpusunun genişlənməsində temperatur deformasiyalarını qəbul edib kipliyi (germetikliyi) təmin edir. Bu qurğu qızdırıcı kamera ilə sərt birləşmiş konusvari qısa borudan ibarət olub aparatın korpusu ilə temperatur deformasiyalarını qəbul edən membran vasitəsilə birləşir.

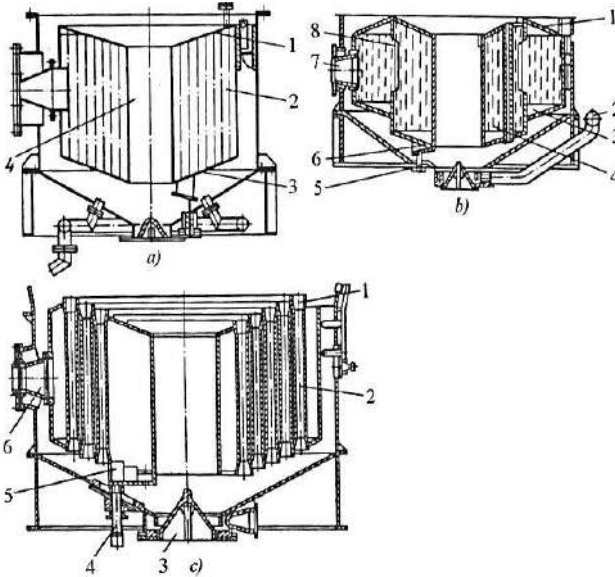
Utfelin sirkulyasiyasını yaxşılaşdırmaq üçün qızdırıcı kamera-nın alt hissəsinə buxarın üfürülməsi üsulundan istifadə olunur. Bunun üçün əsas qızdırıcı kameranın altında buxarın çıxması üçün yarıqları olan əlavə qızdırıcı kamera quraşdırılır. Borucuqlardan çıxan buxar əsas kameranın qızdırıcı borularına yüksək sürətlə daxil olur, kiçik qabarıqlara parçalanır və utfellə qarışaraq sirkulyasiyanı intensivləşdirir.

Vakuum aparatların qızdırıcı kameraları müxtəlif konstruksiyalarda olur. Aparatların çoxunda qızdırıcı kameranın diametri aparatın korpusunun diametrindən kiçikdir. Qızdırıcı kameranın və aparatın korpusunun arasında yaranan boşluqda buxar sirkulyasiya edir və qatılaşan məhsul boruların daxilində hərəkət edir. Şəkil 17.8-də şəkər sənayesində ən geniş istifadə olunan vakuum aparatlarının qızdırıcı kameraları göstərilir.

Vakuum aparatlarındakı separasiya edici qurğu buxarlandırıcı aparatlardakı kimi ikinci dərəcəli buxardan məhsulun damcılarını ayırmaq üçün nəzərdə tutulur. Vakuum aparatlarında məhsul yüksək özlülüyə malik olduğundan inersion tipli separatorlardan istifadə olunur. Separatorlar utfelin üzərində aparatın korpusunun üst hissəsində quraşdırılır. Aparatın alt hissəsinə utfel çıxarmaq üçün hidravliki və mexaniki idarə edilən qurğu qaynaq edilir. Ən yaxşılardan klapan tipli qurğular hesab olunur.

Fasiləsiz təsirli kristallaşdırıcılar konsentratordan, kristalgeneratorundan və kristalların böyüməsi kamerasından ibarətdir. Aparatın konstruksiyası istilik verməni və bərabər ölçülü kristalların alınmasını yaxşılaşdıran, kristalların çökməsinin qarşısını alan intensiv sirkulyasiyanı təmin edən olmalıdır. Şəkil 17.9-da şəkər sənayesində istifadə olunan fasiləsiz təsirli vakuum kristallaşdırıcı göstərilir. Konsentratör və kristalgenerator borulu qızdırıcı səthli həlqəvi seqmentlər şəklində hazırlanır. Konsentratör aparatın digər düyünlərindən gərmetik ayrılır ki, bu da aparatın başqa hissələrindəki təzyiqdən asılı olmayan izafi təzyiqli yaratmağa imkan verir. Kristalgeneratorun üst açıq hissəsi ilə utfelin üzərindəki kristalların böyümə kamerası birləşdirilir. Kristalların böyümə ka-

merası silindr şəklində hazırlanır. Silindrik və radial arakəsmələrlə o dörd seksiyaya bölünür.

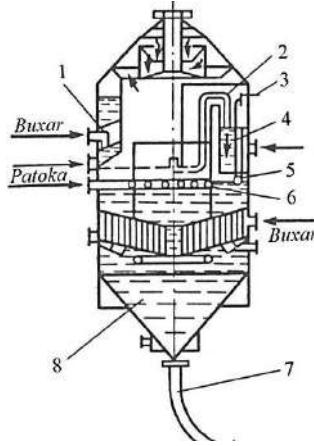


Şək.17.8. Vakuüm aparatların qızdırıcı kameralarının sxemləri:

a - konusvari borulu qəfəslı; (1- üst borulu qəfəs; 2- qızdırıcı boru; 3- alt borulu qəfəs); *b* - konusvari iki tərəfli məli formalı; (1- borulu qəfəs; 2- məhsulun verilməsi üçün boru; 3- qızdırıcı kameraların xarici hissəsi; 4- qızdırıcı kameraların daxili hissəsi; 5- kondensatın çıxarılması üçün boru; 6- kondensat üçün cib; 7- buxarın verilməsi üçün ştuser; 8- pəncərə); *c* - qəfəssiz (1- üst-lük; 2- qızdırıcı kameraların orta hissəsi; 3- utfel çıxarmaq üçün qurğu; 4- kondensat çıxarmaq üçün boru; 5- cib; 6- buxar vermək üçün ştuser)

Dayanıqlı rejimdə patoka konsentratora və kristalların böyümə kamerasına daxil olur. Konsentratorda təzyiq artdıqda patoka kristal əmələ gəlmə temperaturundan 10...15°C yuxarı temperaturda qatılaşı, kristalgeneratorda daxil olur və burada qaynayır. Bu halda həlledicinin bir qismi ayrılır və temperatur azalır, bu da çoxdoyma əmsalının artmasına gətirib çıxarır. Patokanın sirkulyasiyasında kristalların intensiv əmələ gəlməsi baş verir. Kristalların miqdarı

konsentratorda patokanın çoxdoyma kəmiyyəti və kristalgenratora verilən buxar miqdarı ilə nizamlanır.



Şək.17.9. Fasiləsiz təsirli kristallaşdırıcı:

1- konsentrator; 2- boru; 3- borunu nizamlamaq üçün sükan; 4- kristalgenrator; 5- axıdan boru; 6- barbotyor; 7- boşaldıcı qurğu; 8- kristalların böyümə kamerası

Kristalgenratorlarda alınan utfel kristalların böyümə kamerasının birinci seksiyasına fasiləsiz daxil olur və bura həmçinin patoka da daxil olur. Utfel birinci seksiyadan dördüncüyə axaraq qatışır və çıxarıcı qurğu ilə aparatdan fasiləsiz çıxarılır. Aparatın idarə edilməsi avtomatik yerinə yetirilir.

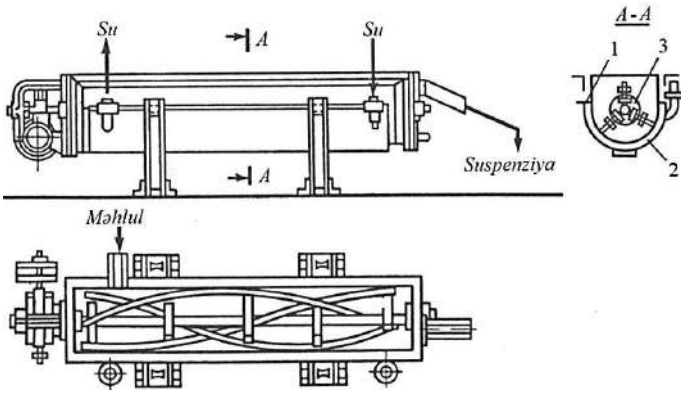
Periodik təsirli sadə kristallaşdırıcılar ilanvari borulu və mexaniki qarışdırıcıli şaquli silindrik aparatlardır.

Qida texnologiyasında əsasən iki tip təkne tipli və fırlanan barabanlı kristallaşdırıcıdan istifadə olunur.

Şəkil 17.10-da təkne tipli lentli qarışdırıcı verilmişdir. Lentli qarışdırıcı əvəzinə şnekli qarışdırıcıdan da istifadə etmək olur. Belə kristallaşdırıcılarda kristalların orta ölçüləri 0,5...0,6 mm-dən böyük olmur. Təkne tipli kristallaşdırıcılar etibarlı və asan xidmət olunduğundan sənayedə geniş yayılmışdır.

Barabanlı kristallaşdırıcılar su və ya hava ilə soyudulan olur. Hava ilə soyutmada məhlulda havaya istilik vermə əmsalı kiçik

olduğundan kristallar daha böyük alınır, lakin su ilə soyudulmaya nisbətən kristallaşdırıcıların məhsuldarlığı aşağı olur.

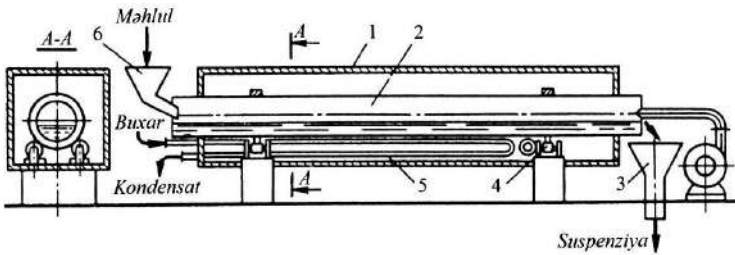


Şək.17.10. Lentli qarışdırıcı kristallaşdırıcı:

1- təkə şəkilli korpus; 2- su köynəyi; 3- qarışdırıcı

Barabanlı kristallaşdırıcı məhlulun axını boyunca maili fırlanan silindrik barabandan ibarətdir (şək.17.11).

Məhlul barabanın üst hissəsindən daxil olur və kristallar isə barabanın alt hissəsindən çıxarılır. Baraban fırlandıqda məhlul divarları isladır və beləliklə suyun buxarlanma səthini artırır.



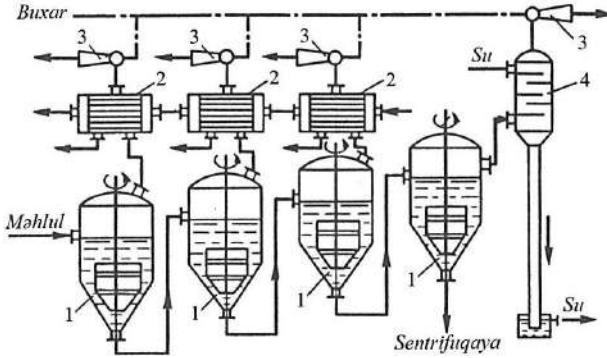
Şək.17.11. Barabanlı kristallaşdırıcı:

1- köynək; 2- baraban; 3- suspenziya qəbul edicisi;
4- diyircək; 5- ilanvari boru; 6- qıf

Baraban soyudan su və ya hava verilən köynəkdə yerləşir və burada istilik daşıyan məhlulun əksi istiqamətində hərəkət edir. Soyudan su sərfi təxminən 1 m^3 məhlulda 5 m^3 təşkil edir. Divar-

sürəti kristallaşma mərkəzlərinin əmələ gəlmə sürətindən böyük olur.

Çox korpuslu vakuüm kristallaşma qurğusu (şək.17.13) qarışdırıcılı 3...4 vakuüm aparatdan ibarətdir.



Şək.17.13. Çox korpuslu vakuüm kristallaşdırma qurğusu:

- 1- vakuüm kristallaşdırıcılar; 2- səthi kondensatorlar;
3- buxar şırnaqlı nasos; 4- barometrik kondensator

Məhlul altı yerləşən hər bir boşalma korpusundan üst korpusa sovrulur. Hər bir korpus səthi kondensatorla və buxar şırnaqlı nasosla təchiz olunur. Sonuncu korpusda vakuüm barometrik kondensatorun köməyi ilə alınır. Səthi kondensatorlar ilkin məhlulla soyudulur və suspenziya sonuncu korpusdan çıxarılır. Belə qurğular sadə və sərfəli olub iri tonnajlı istehsalatlarda istifadə olunur.

Yoxlama sualları

1. Kristallaşma prosesinin mahiyyəti nədir? 2. Kristallaşma prosesinin tarazlığına hansı faktorlar təsir edir? 3. Məhlulun çoxdoyması hansı üsullarla əldə olunur? 4. Kristallaşma metodları hansılardır? 5. Kristallaşma hansı mərhələlərdən ibarətdir? 6. Alınan kristalların keyfiyyətinə hansı faktorlar təsir edir? 7. Təsir prinsipinə görə kristallaşdırıcılar hansı tipli olurlar? 8. Asqılı qızdırıcı kameralı vakuüm aparatın hissələri hansılardır? 9. Fasiləsiz təsirli kristallaşdırıcılar nədən ibarətdir? 10. Saxta mayeləşmə laylı kristallaşdırıcıya nələr daxildir? 11. Çox korpuslu vakuüm kristallaşdırma qurğusu nədən ibarətdir?

FƏSİL 18 QURUTMA

18.1. Susuzlaşdırma üsulları

Qida məhsulları xammalının bir çox növlərində çoxlu miqdarda su olur. Texnoloji proseslərin gedişində çox vaxt istehsal olunan məhsulların nəmlənməsi baş verir. Hazır qida məhsullarının yaxşı saxlanması üçün su minimal miqdarda olmalıdır. Buna görə bütün qida məhsullarında susuzlaşdırma prosesinə rast gəlinir.

Nəmlik materialdan: mexaniki, fiziki-kimyəvi, istilik (qurutma) üsulları ilə çıxarıla bilər. Mexaniki üsulda nəmlik preslərdə və ya mərkəzdənqaçma qüvvəsi təsirli sentrifugalarda ayrılır. Mexaniki ayrıldıqdan sonra, adətən qurutma yerinə yetirilir. Qurutmanın fiziki-kimyəvi üsulları su ayırıcı vasitələrin istifadəsinə əsaslanır.

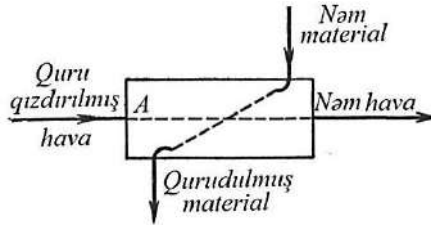
18.2. Qurutmanın ümumi xarakteristikası

Materialdan nəmliyin ayrılmasında qurutma üsulu geniş istifadə olunur. Tərkibində su olan bərk və maye materiallar qurutmaya məruz qalır.

Qurutma prosesi qurudulan cismə istiliyin verilməsi ilə bağlıdır ki, bunun hesabına nəmliyin buxarlanması baş verir. Buxarlanan nəmliyi ayırmaq üçün quruducu agentlərdən (hava, çoxqızmış buxar, dəm qazları) istifadə olunur.

Qurutma bir tərəfdən diffuziya prosesi, digər tərəfdən isə istilik prosesidir. Bu mürəkkəb texnoloji proses nəticəsində materialın xassələri dəyişir. Şəkil 18.1-də qurutma prosesinin sxemi verilmişdir.

Quruducuya daxil olan nəm material isti hava, dəm qazları və ya çoxqızmış buxarla təmasda olduğundan material üzərindən nəmliyin buxarlanması baş verir. Nəmlik havaya diffuziya edir. Deməli, sonuncu həm soyuyur, həm də nəmlənir və quruducudan çıxdıqda nəmliyi aparır.



Şək.18.1. Qurutmanın prinsipial sxemi

Buradan görünür ki, qurutma nəmliyin ayrılmasının termiki prosesidir ki, nəticədə onun buxarlanması və diffuziyası baş verir.

18.3. Nəmliyin materialla əlaqə növləri

Nəmliyin əlaqə formasının klassifikasiyasının əsasını əlaqə enerjisi təşkil edir. Əlaqə forması qurutma prosesinin texnologiyasında böyük rol oynayır. Əlaqə aşağıdakı növlərdə ola bilər:

- a) kimyəvi (ion, molekulyar);
- b) fiziki-mexaniki (adsorbsiyalı, osmotik, struktur);
- c) mexaniki (nəmlik kapilyarlarda və makrokapilyarlarda).

Ən möhkəm əlaqə kimyəvi əlaqədir.

Materialla fiziki-kimyəvi yolla əlaqədə olan nəmlik qurutma ilə ayrılabilir.

Adsorbsiyalı - əlaqəli nəmlik. Adsorbsiyalı - əlaqəli nəmlik kolloid hissəciklərinin ətraf mühitlə ayrılma səthində saxlanılır. Böyük səthə malik olmaqla kolloidli strukturların adsorbsiya qabiliyyəti yüksəkdir. Adsorbsiya nəmliyi molekulyar qüvvə sahəsi ilə saxlanılır. Materialla sıx əlaqələnən bu nəmlik su ilə əlaqəli adlanır. Nəmliyin adsorbsiyası hidratasiya istiliyi adlanan istiliyin ayrılması ilə müşahidə olunur.

Osmotik saxlanılan və struktur nəmlik. Bu nəmlik adsorbsiya nəmliyindən onunla fərqlənir ki, bu növ nəmliyin birləşməsi zamanı istilik ayrılır. Bu nəmlik materialla adsorbsiyalıdan daha zəif əlaqələnir.

Materialla daha zəif əlaqələnən mexaniki saxlanılan nəmlik. Mexaniki nəmlik cismin kapilyarlarında və onun səthində

olur. Məsaməli cisimlərin kapilyarlarının diametri müxtəlif olur. Orta radiusu 10^{-5} santimetrdən kiçik olan kapilyarlar mikrokapilyar adlanır. Orta radiusu 10^{-5} santimetrdən böyük olan kapilyarlar isə makrokapilyar adlanır.

Cismin səthində yerləşən nəmlik rütubətlənmə nəmliyi adlanır. Rütubətlənmə nəmliyi və makroməsamələr nəmliyi materialla möhkəm əlaqələnmiş və mexaniki üsulla (sıxmaqla) ayrılı bilər. Belə nəmlik sərbəst nəmlik adlanır.

18.4. Nəmliyin konsentrasiyası

Adətən, materialda nəmlik qeyri-bərabər paylanılır. Bu səbəbdən materialda orta konsentrasiya və ya müəyyən nöqtədə konsentrasiya anlayışları qəbul olunur.

Nəm materialın nəmlik tutumu (faizlə) materialın nəmliyi W adlanır:

$$W = (m_n / m)100 ,$$

burada m_n - suyun kütləsi, kq;

m - materialın kütləsidir, kq.

Bir sıra hallarda nəmliyi mütləq quru maddəyə aid edirlər, bu halda materialın nəmlik tutumu

$$\zeta = m_n / (m - m_n) .$$

18.5. Tarazlı nəmlik

Materialı hər hansı bir müəyyən parsial təzyiqli su buxar olan, nəmli hava yerləşən qapalı qaba yerləşdirək. Nəmli havanın materialla təması nəticəsində nəmlik materialdan havaya və ya havadan materiala keçəcək, bundan sonra tarazlıq yaranacaq və nəmliyin ötürülməsi dayanacaqdır.

Bu tarazlıq halında materialın nəmliyi tarazlı nəmlik adlanır.

Təcrübə yolu ilə müəyyən edilir ki, bir çox materiallar üçün tarazlı nəmlik temperaturdan asılı deyil və yalnız havanın nisbi rü-

tubətindən asılı olur. Cədvəl 18.1-də bəzi qida məhsullarının tarazlı nəmliyi verilir.

Cədvəl 18.1

Məhsullarının tarazlı nəmliyi

Material	Nisbi nəmlik								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Un	2,2	3,9	5,05	6,9	8,5	10,08	12,6	15,8	19,0
Ağ çörək	1,0	2,0	3,1	4,6	6,5	8,5	11,4	13,9	18,9
Makaron	5,0	7,1	8,75	10,6	12,2	13,75	16,6	18,85	22,4
Peçenye	2,1	2,8	3,3	3,5	5,0	6,5	8,3	10,9	14,9
Nişasta	2,2	3,8	5,2	6,4	7,4	8,3	9,2	10,6	12,7
Jelatin	-	1,6	2,8	3,8	4,9	6,1	7,6	9,3	11,4
Alma	-	-	5,0	-	11,0	18,0	25,0	40,0	60,0
Bərk buğda	-	-	9,3	-	-	13,0	-	-	24,0
Çovdar	6,0	8,4	9,5	12	12,5	14,0	16,0	19,5	26,0
Vələmir	4,6	7,0	8,60	10	11,6	13,6	15,0	18,0	22,5
Arpa	6,0	8,5	9,60	10,6	12,0	14,0	16,0	20,0	29,0

Cədvəldə göstərilənlərdən aydın olur ki, müəyyən quruducu agentin köməyi ilə materialdan bütün nəmliyi ayırmaq mümkün deyildir. Material tarazlı nəmliklə xarakterizə olunacaqdır. Bu səbəbdən “ayrılan nəmlik” W_{ay} anlayışını qəbul edək

$$W_{ay} = W - W_t, \quad (18.1)$$

burada W - materialın nəmliyi, %;

W_t - tarazlı nəmlikdir, %.

W_{ay} ayrılan nəmliyi artırmaq üçün qurutma zamanı nisbi rütübəti aşağı olan havadan istifadə etmək lazımdır.

18.6. Qurutmanın kinetikasi. Nəmlikötürmə və termonəmlikötürmə

Konvektiv ötürmədə nəmlik materialın mərkəzindən kənarlara doğru hərəkət edir və burada quruducu agentlə (hava, dəm qazları) əhatə olunur. Nəmliyin belə hərəkəti (miqrasiya) əsasən diffuzion

prosesdir, burada hərəkətedici qüvvə materialın müxtəlif nöqtələrində nəmliyin konsentrasiyalarının fərqi bərabər olur. Ancaq bu proses materiala istiliyin təsiri ilə mürəkkəbləşir. Əvvəlcə nəmliyin konsentrasiyalarının fərqi təsirindən nəmliyin hərəkətini izləyək. Burada diffuziya prosesi getdiyinə görə nəmlik ötürmənin əsas tənliyi olan Fyurje tənliyinə əsasən yazılır

$$m_w = -K_w F (dc/dx) \tau, \quad (18.2)$$

burada m_w - dc/dx temperatur qradientində τ zamanında F səthindən keçən nəmliyin miqdarıdır;

K_w - nəmliyin materialla əlaqələnməsi və materialın xarakterindən asılı olan əmsəldir.

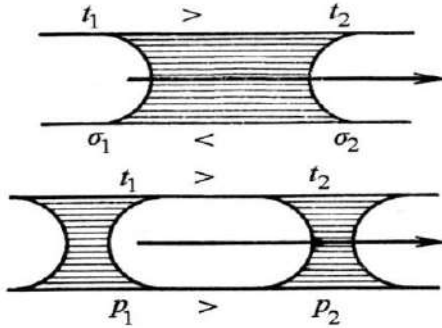
Qeyd etmək lazımdır ki, nəmlik materialda həm maye halında, həm də buxar halında hərəkət edə bilər ki, bu da əlaqə formasından və materialın xarakterindən asılıdır. Osmotik nəmlik hüceyrənin divarlarından maye halında miqrasiya edir. Adsorbsiya yolu ilə əlaqəli nəmlik buxar halında hərəkət edir. Materialın nəmliyi çox olduqda maye halında miqrasiya üstün olur, materialın nəmliyi az olduqda isə hərəkət əsasən buxar halında baş verir.

Həqiqətdə proses onunla mürəkkəbləşir ki, material eyni zamanda istilik təsirinə məruz qalır. Burada konsentrasiya qradienti ilə yanaşı temperatur qradienti də xüsusi yer tutur. Nəmli materialda bu qradient nəmliyin miqrasiya mexanizminə əhəmiyyətli təsir göstərir. Temperatur qradientinin olması nəticəsində nəmli materialda termonəmlilik ötürmə baş verir. Eksperimental yolla təyin edilmişdir ki, temperatur qradientinin təsirindən nəmli materiallarda nəmlik istilik axını istiqamətində hərəkət edir. Bu hadisənin üç əsas səbəbini göstərmək olar:

1) termodiffuziya, yəni maye və ya buxarın molekulyar hərəkəti;

2) temperaturun artması ilə səthi dartılma qüvvəsinin azalması, bunun nəticəsində (şək.18.2) məsələli cisimlərin kapilyarlarında mayenin aşağı temperatūra tərəf, yəni istilik axını istiqamətində hərəkəti baş verir;

3) əzilmiş havanın təsiri, burada kapilyarlarda olan havanın qızdırılmasında hava genişlənir və nəmliyi havanın təzyiği az olan, yəni aşağı temperaturlu istiqamətə tərəf itələyir, beləliklə, bu hadisədə nəmliyin istilik axınına tərəf hərəkətinə səbəb olur.



Şək.18.2. Kapilyar qüvvələri və əzilmiş hava effekti

Temperatur qradienti dt/dx təsirindən hərəkət edən nəmliyin ümumi miqdarı aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$m_t = -K_t F (dt/dx) \tau, \quad (18.3)$$

burada K_t - materialın xarakterindən asılı olan əmsaldır.

Hər iki qradienti olduqda nəmliyin ümumi miqdarı adi konvektiv qurutmada nəmliklərin fərqi bərabərdir:

$$m_w - m_t = m, \quad (18.4)$$

çünki istilik axını kənarlardan cismin mərkəzinə, nəmlik axını isə konsentrasiyalar fərqi olduğundan əks istiqamətdə baş verir.

18.7. Qurutma əyriləri və qurutma sürətinin əyriləri

Materialın qurudulması üç mərhələdən ibarətdir: 1) qurudulan materialın nəmliyinin daxilindən səthinə tərəf hərəkəti; 2) buxar əmələgəlmə; 3) buxarın materialın səthindən ətraf mühitə hərəkəti.

Nəmlik materialın səthində və ya daxilində buxarlanır, əmələ gələn buxar ətraf mühitə diffuziya edir və prosesin üçüncü mərhələsi baş verir. Belə ki, nəm materialın səthində hava-buxar sərhəd layı baş verir, materialın buxarı ilə tarazlıqda olur və deməli, bu lay materialın temperaturunda doymuş olacaqdır.

Plyonkanın səthindən ətraf mühitə nəmliyin diffuziyasının hərəkətedici qüvvəsi parsial təzyiqlərinin fərfinə bərabərdir:

$$\Delta p = p_H - p_B,$$

burada p_H - sərhəd layında su buxarının parsial təzyiqi;

p_B - ətraf mühitdə su buxarının parsial təzyiqidir.

Diffuziya edən buxarın miqdarı

$$m = B(p_H - p_B)F\tau, \quad (18.5)$$

burada B - buxarlanma əmsalı;

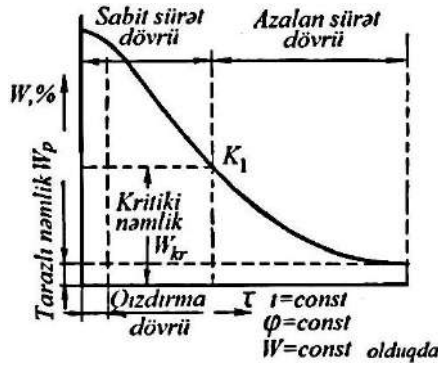
F - buxarlanma səthinin sahəsidir.

Aydındır ki, sərhəd layından ətraf mühitə keçən buxarın miqdarı materialdan bu laya ötürülən nəmliyin miqdarına bərabər olmalıdır. Qurutmanın sürəti bu proseslərlə limitləşə bilər və materialın xassələrindən və qurutma rejimindən asılı olur.

Qurutma prosesində materialın kütləsinin dəyişməsi müşahidə edilərək qurutma əyrisi qurulur. Qurutma əyrisi W (materialın nəmliyi kütlə payında) və τ (zaman, dəqiqə və ya saatla) koordinatlarında qurulur. Şəkil 18.3 - də kapilyar-məsəməli kolloid cisminin qurutma əyrisi göstərilir.

Qurutmanın əvvəlində kiçik zaman müddətində qurutma xətti əyri şəklində olur ki, bu materialın qızdırılma dövrüdür. Sonra qurutmanın sabit sürət dövrü başlayır və bu dövrdə qurutma xətti düz xətt şəklində olur. Materialın müəyyən nəmliyinə uyğun K_1 nöqtəsində qurutma xəttinin xarakteri dəyişir. O asimptotik olaraq W_p qiymətinə yaxınlaşan əyri olur (W_p - verilən qurutma şərtlərində tarazlıq nəmliyidir). İkinci dövrdə qurutma sürəti fasiləsiz olaraq azalır.

Qurutmanın iki dövrünü ayıran K_1 nöqtəsi kritik nöqtə materialın ona uyğun nəmliyi isə kritik nəmlik adlanır.



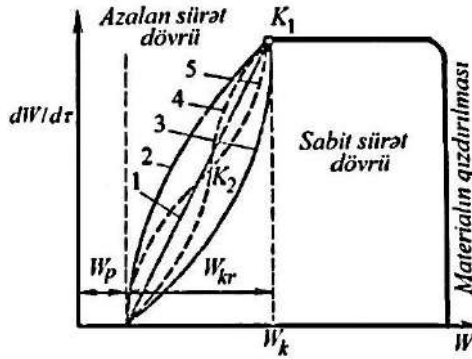
Şək.18.3. Kapilyar-məsəmli kolloid materialın quruma əyriləri

Qurutmanın birinci dövründə sərbəst nəmliyin ayrılması baş verir və bu dövrdə materialın üzərində buxar təzyiqi təmiz mayenin buxarının təzyiqinə bərabər olur.

Sərbəst nəmlik tam ayrılanda ikinci dövrü olan əlaqəli nəmliyin ayrılma dövrü başlayır. Bu dövrdə qurutma əyrisinin forması nəmliyin materialla əlaqələnmə xarakterindən və həmçinin nəmliyin hərəkət mexanizmini şərtləndirən materialın strukturundan asılıdır.

Qurutma əyrisindən başqa qurutmanın analizi üçün qurutma sürətinin əyrisi xidmət edir. Onun qurulması üçün qurutma əyrisindən istifadə olunur (şək.18.4). Əgər bu əyridə əyrinin müxtəlif nöqtələrdə toxunma bucağının mailliyini ölçsək, onda $\text{tg}\varphi$ -nin qiyməti $dW/d\tau$ törəməsinə bərabər, yəni qurutma sürətinə bərabər olacaqdır. Əgər üfüqi oxda materialda nəmlik tərkibini faizlə, şaquli oxda isə $dW/d\tau$ -nu faiz-saatla göstərsək, onda qurutma sürətinin əyrisi adlanan xətti alarıq. Sabit sürətdə xətt üfüqi olacaqdır. Azalan sürət dövründə qurutma sürəti əyrilərinin xarakteri materialın xarakterindən və onda olan nəmliyin əlaqələnməsindən asılı olaraq müxtəlif olur. Şəkil 18.4-də bu dövrdə qurutma sürəti-

nin əyriləri göstərilmişdir. Bunların hamısı materialın $dW/d\tau = 0$ olan tarazlı nəmliyinə uyğun nöqtədə qurtarır.



Şək.18.4. Quruma sürətinin əyrisi

1 tipli əyrinin sadə qurutma xətti – düz xəttidir. Belə xətləri dərin məsaməli materiallar verir (kağız, nazik karton). 2 tipli əyri xətt parçaya, nazik dəriyə, makaron xəmirinə uyğundur, 3 tipli əyri xətt məsaməli keramik materiala uyğundur. Bu əyrilərin yalnız bir kritik nöqtəsi var.

Mürəkkəb strukturlu materialların quruma əyriləri daha mürəkkəbdir. Məsələn, 5 əyrisi suxarı qurutmağa, 4 əyrisi gil qurutmağa uyğundur. Bu əyrilərdə ikinci kritik nöqtə müşahidə olunur. Bu nöqtə nəmlik sərhəddinə uyğun olub, burada materialda nəmliyin hərəkət mexanizmi dəyişir. Bir çox materiallar üçün bu nöqtə adsorbsion – əlaqəli nəmliyin ayrılmasının başlanğıcını göstərir, çünki qurutmanın azalan sürətinin birinci dövründə mikrokapilyarların nəmliyi ayrılır.

18.8. Qurutma sürətinin tənliyi

Qurutmanın birinci dövrü. Bu dövrdə sərbəst nəmlik ayrılır, bunun buxarlanmasına sərbəst səthdən suyun buxarlanması kimi baxmaq olar. Materialın nəmliyinin birinci kritiki nöqtəyə qədər azalmasında səth pilyonkasında buxarın parsial təzyiqi dəyişir.

Buna görə prosesin hərəkətedici qüvvəsi qurutmanın birinci dövründə $(p_H - p_B)$ və qurutma sürəti $(kq/(\text{saat}\cdot\text{m}^2))$ aşağıdakı tənliklə verilir:

$$U = dW / d\tau = 0,0745(v_B \rho^{0,8} (p_H - p_B)). \quad (18.6)$$

Beləliklə, birinci dövrdə vahid səthə uyğun qurutma sürəti $(p_H - p_B)$ -dən, quruducu agentin sıxlığından və onun sürətindən asılıdır.

Deməli, birinci dövrdə təyinedici faktorlar quruducu agentin parametrləridir. Materialın daxilində nəmliyin diffuziya sürəti buxarlanmanın intensivliyini təyin etmir.

Qurutmanın ikinci dövrü. Qurutmanın ikinci dövrünün kinetik qanunauyğunluqları daha mürəkkəbdir, bu qurutma sürətinin əyrilərindən görünür. Bu dövrdə əlaqəli olan su ayrılmağa başlayır. Bu zaman materialın üzərində su buxarlarının parsial təzyiqi həmin temperaturda olan təmiz suyun təzyiqindən az olur. Bu dövrdə su buxarının təzyiqi materialın temperaturunun və onun səthində nəmliyinin funksiyası olur. Sonuncu isə materialda nəmliyin hərəkət sürətindən asılıdır. Deməli, bu dövrdə qurutma sürəti yalnız nəmliyin ətraf mühitdə diffuziyasından deyil, həmçinin materialın nəmlik ötürməsindən asılıdır. Beləliklə, ikinci dövrdə qurutma sürəti materialın daxilində nəmliyin hərəkəti ilə əlaqəli hadisələrlə təyin edilir. Tutaq ki, qurutmanın ikinci dövründə qurutma prosesinin hərəkət qüvvəsi materialın nəmlik tutumu W ilə tarazlı nəmlik tutumunun W_p fərqlərinə bərabərdir. Onda ikinci dövrdə qurutma sürəti üçün ifadəni yazma bilirik:

$$dW / d\tau = K(W - W_p), \quad (18.7)$$

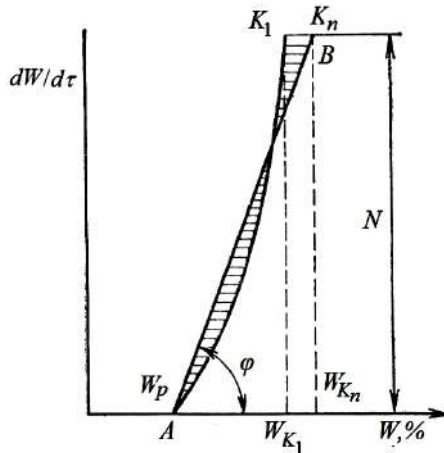
burada K - nəmlik dəyişmənin intensivləşdirilməsini xarakterizə edən qurutma əmsəlidir.

Qurutmanın ikinci dövrü üçün materialın ilkin nəmlik tutumu kritiki nəmliyə W_k (şək.18.5) və ya dəqiq olsaq, gətirilmiş kritiki nəmliyə uyğundur. Gətirilmiş kritiki nəmlik şəkil 18.5-də göstəri-

lən kimi təyin edilir. Qəbul edilir ki, ikinci dövrdə qurutma xətti düz xətdir. Bu xətti qurmaq üçün AB xətti elə çəkilir ki, o bərabər sahələri ayırsın (şək.18.5-də onlar ştrixlənib). K_n nöqtəsi K_1 nöqtəsindən sağda və ya solda yerləşə bilər. K nöqtəsinə gətirilmiş kritik nəmlik uyğundur. (18.7) tənliyini W_{kn} -dən W_2 -yə kimi inteqrallayaq:

$$\ln \left[\frac{(W_{kn} - W_p)}{(W_2 - W_p)} \right] K \tau ,$$

burada W_2 - materialın son nəmlik tutumudur.



Şək.18.5. Qurutmanın ikinci dövr müddətinin hesabat sxemi

İkinci ifadədən qurutmanın ikinci dövrünün müddətini alırıq

$$\tau_2 = 1 / K \ln \left[\frac{(W_{kn} - W_p)}{(W_2 - W_p)} \right]. \quad (18.8)$$

Qurutma əmsalı K eksperimental yolla təyin edilir. Əgər qəbul etsək ki, ikinci dövrdə qurutma əyrisi düz xətlə əvəz edilir, onda qurutma əmsalı aşağıdakı kimi verilir:

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{1/\beta + 4/\pi^2 \cdot R/a_m}, \quad (18.9)$$

burada R - qurudulan cismin təyinedici həndəsi ölçüsüdür; lövhə üçün R onun qalınlığının yarısına bərabərdir;

β - xarici nəmlikdəyişmə əmsalı, m/saat;

a_m - kütləötürmənin potensial keçirmə əmsalındır, m²/saat.

Bu əmsal temperaturkeçirmə əmsalı ilə analogidir, əsasən nəmliyin materialla əlaqələnmə formasından və materialın temperaturundan asılıdır və nəmliyin daxili ötürülməsini təyin edir.

(18.9) tənliyindən görünür ki, qurudulan cismin ölçüləri artıqca K əmsalı azalır, deməli (18.8) tənliyinə əsasən qurutma müddəti bu halda artır. Beləliklə, qurutmanın ikinci dövründə qurudulan cismin həndəsi formaları, materialın nəmliyi, onun nəmlik keçirməsi böyük rol oynayır.

18.9. Məhsulların sıxılması və deformasiyası

Demək olar ki, bütün materialların qurudulmasında onların ölçüləri kiçilir və forması dəyişir. Birincisi sıxılma adlanır. Sıxılma materialın çatlaması və deformasiyası ilə müşahidə olunur. Bu hallar bir sıra məhsullar üçün istənilməzdir, çünki onlar məmulatın formasını korlayır və keyfiyyətlərini aşağı salır, bir neçə hallarda isə onları istifadəyə yararsız edir. Müxtəlif materiallarda sıxılma yalnız birinci və ya ikinci dövrdə və yaxud hər iki dövrdə baş verir.

Birinci qrupa gil kimi materiallar, ikinci qrupa ağac, kömür, sonuncuya isə torf, dən, dəri, çörək aiddir.

Təyin olunmuşdur ki, ləng qurutmada cisimdən nəmliyin ayrılmasında cismin xətti ölçüləri düz xətt qanunu ilə dəyişir.

W nəmliyində materialın xətti ölçüləri

$$l = l_0(1 - \alpha W),$$

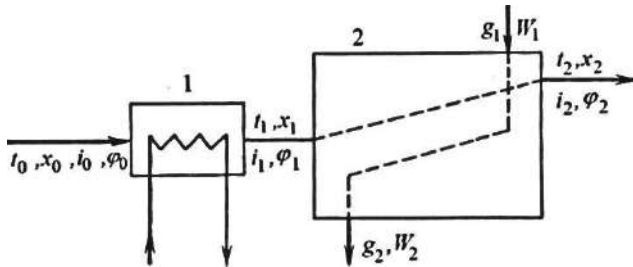
burada l_0 - sabit kəmiyyətdir, bəzi materiallar üçün mütləq quru materialın ölçüsünə, digərləri üçün isə bir qədər kiçik qəbul olunur;

α - sıxılma əmsalı olub sıxılmanın intensivliyini xarakterizə edir, yəni 1% nəmlik dəyişməsində xətti ölçülərin dəyişməsi kimi qəbul edilib ayrı - ayrı materiallar üçün müxtəlifdir: makaron üçün $\alpha = 0,0061$, çovdar çörəyi üçün $\alpha = 0,0056$, vermiş üçün $\alpha = 0,047$.

Materialın qeyri-bərabər qurudulmasında nəmlik qeyri-bərabər paylanır ki, bu da materialın qeyri-bərabər sıxılmasına, deformasiyasına və çatlamasına səbəb olur. Buna görə materialın formasının saxlanması və çatlamadan qorunması üçün materialın quruducu agentlə bərabər qurudulmasına çalışmaq lazımdır.

18.10. Quruducuların hesabı

Normal nəzəri qurutma prosesi. Şəkil 18.6 -da normal quruducu prosesli quruducu qurğu verilmişdir. Qurğu hava qızdırıcısından 1 (kaloriferdən) və quruducu kameradan 2 ibarətdir. Qızdırıcıya daxil olan havanın temperaturu t_0 , hava tutumu x_0 , xüsusi entalpiyası i_0 və nisbi nəmliyi φ_0 -a bərabərdir.



Şək.18.6. Normal quruducu prosesin sxemi

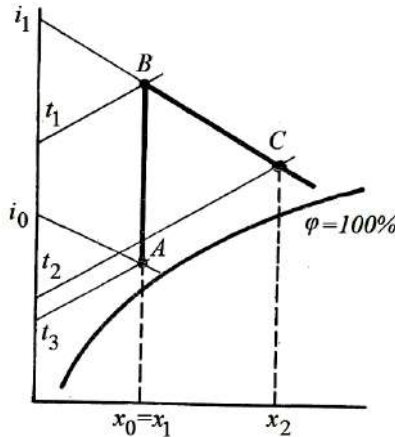
Quruducu kamerada qızdırılmış hava nəm materialla görüşür. Quruducu kameraya girişdə materialın nəmliyini W_1 , çıxışında W_2

kimi işarə edək. Quruducuda havanın materialla əlaqəli təsiri prosesi baş verir. Qurutmanın nəzəri prosesini nəzərdən keçirək. Bu proses üçün fərz edirik ki, quruducu kamerada havaya əlavə istilik verilmir və o, gətirilmiş istiliyi itirmir. Belə proses nəzəri proses adlanır.

Bu prosesi nəzərdən keçirdikdə fərz edək ki, quruducuya daxil olan hava öz istiliyini materialın qızdırılan və buxarlanan havasına verir. Əmələ gələn buxarlar havadan aldığı bütün istiliklə hava ilə qarışır. Buna görə havanın istilik tutumu sabit qalır, baxmayaraq ki, onun temperaturu düşür.

Ayrılan havanın parametləri t_2 , x_2 , i_2 və φ_2 . Ayardır ki, $x_2 > x_1$, $\varphi_2 > \varphi_1$, $t_2 < t_1$, ancaq $i_1 = i_2$.

Nəzəri qurutma prosesini nəm havanın $i-x$ diaqramının köməyi ilə göstərmək olar (şək.18.7). Fərz edək ki, A nöqtəsi havanın qızdırıcıya daxil olma halına uyğundur. Havanın qızdırılma prosesi $x_1 = x_0$ olduqda AB xətti ilə veriləcək. B nöqtəsi qızdırıcının çıxışında havanın halına uyğun olub bu havanın nəmlik tutumu $x_1 = x_0$ olur. Qurutmanın nəzəri prosesi sabit entalpiya $i = const$ xəttinə paralel BC xətti ilə verilir. C nöqtəsi quruducu kameranın çıxışında havanı xarakterizə edir.



Şək.18.7. $i-x$ diaqramında normal proses

Şəkil 18.7-də əks olan proses qurutmanın normal nəzəri prosesi adlanır. $i-x$ diaqramından quruducuda 1 kq nəmliyə sərf olunan hava və istilik miqdarını təyin etmək olur.

1 kq buxarlanmış suya quru hava sərfi

$$l = 1/(x_2 - x_1) = 1/(x_2 - x_0). \quad (18.10)$$

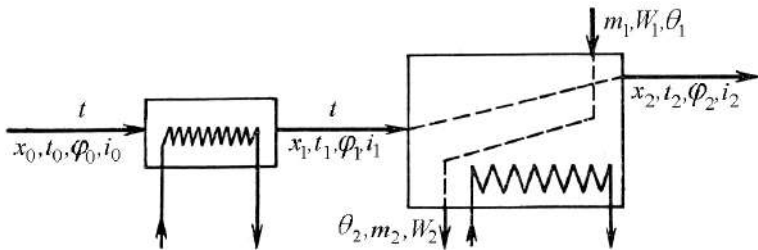
x_1 və x_2 nəmlik tutumlarını $i-x$ diaqramından asan tapmaq olar. Quruducuya daxil olan 1 kq quru havanın qızdırıcıda qızdırılmasına $i_2 - i_0$ kCoul sərf olunur. 1 kq buxarlanan nəmliyə istilik sərfi (kCoul).

$$q = l(i_1 - i_0) = (i_1 - i_0)/(x_2 - x_1). \quad (18.11)$$

18.11. Real qurutma prosesinin material və istilik balansı

İstilik itkiləri zamanı real quruducuda baş verən və ya ayrı-ayrı hallarda quruducu kameraya əlavə istiliyin daxil edilməsi zamanı baş verən prosesləri nəzərdən keçirək.

Material balansı. Quruducunun material balansını qurmaq üçün aşağıdakı işarələməni qəbul edək (şək.18.8):



Şək.18.8. Real quruducunun hesabat sxemi

burada m_1 - nəm material sərfi, kq/saat;

W_1 - onun kütləyə görə nəmliyi, %;

m_2 - qurudulmuş materialın sərfi, kq/saat;

W_2 -qurudulmuş materialın nəmliyi, kütlə payı (% kütlə);

m_w - buxarlanmış nəmliyin miqdarı, kq/saat;

L - quru hava sərfi, kq/saat;

θ_1 və θ_2 - materialın temperaturudur.

Material balansı cədvəli (cədv.18.1) qururuq (kq/saat).

Cədvəl 18.1

Material balansı

Gəlir	Sərf
Quru hava L	Quru hava L
Quru havada nəmlik miqdarı, Lx_0	Quru havada nəmlik miqdarı, Lx_2
Nəm material, m_1	Qurudulmuş material, m_2

Material balansı tənliyi aşağıdakı kimi olacaq:

$$L + Lx_0 + m_1 = L + Lx_2 + m_2.$$

Buradan

$$m_1 - m_2 = Lx_2 - Lx_0 = L(x_2 - x_0) \quad (18.12)$$

və ya

$$W = L(x_2 - x_0) \quad (18.13)$$

$$W / (x_2 - x_0) = L \quad (18.13a)$$

İstilik balansı. Real quruducu kameranın istilik balansını nəzərdən keçirək.

İstilik hava və onda olan nəmliklə, həmçinin nəm materialla; quruducuya daxil edilən avadanlıqla; qızdırıcı elementlərlə daxil olur.

İstilik: 1) hava ilə; 2) qurudulan materialla; 3) avadanlıqla; 4) ətraf mühitə istilik itkilərinə sərf olunur.

İstilik balansı cədvəlini (cədv.18.2) quraq (kCoul/saat).

Cədvəl 18.2

İstilik balansı

Gəlir	Sərf
Hava ilə daxil olan istilik $L_i = Li_0 + Q_n$ Li_0 - hava ilə qızdırıcıya daxil olan istilik Q_n - qızdırıcıya daxil olan istilik Materialla daxil olan istilik, $m_1c_1t_1$ burada c_1 - materialın istilik tutumu, kCoul/(kq·K); θ_1 - onun temperaturu	Quruducudan çıxan, hava ilə aparılan istilik Li_2 Qurudulmuş materialla aparılan istilik, $m_2c_2\theta_2$
Nəqliyyat vasitəsilə daxil olan istilik, $m_i c_i \theta'_i$	Nəqliyyat vasitəsilə aparılan istilik $m_i c_i \theta''_i$
Kameraya daxil olan əlavə istilik q_{\ominus}	Ətraf mühitə istilik itkiləri Q_{it}

İstilik balansı tənliyini quraq

$$Li_1 + m_1c_1\theta_1 + m_i c_i \theta'_i + q_{\ominus} = Li_2 + m_2c_2\theta_2 + m_i c_i \theta''_i + Q_{it}$$

Buradan

$$L(i_2 - i_0) = m_1c_1\theta_1 + m_i c_i \theta'_i + q_{\ominus} - m_2c_2\theta_2 - m_i c_i \theta''_i - Q_{it},$$

və ya

$$L(i_2 - i_1) = \sum Q. \quad (18.14)$$

Bu tənliyin sağ və sol tərəflərinin quruducuda buxarlanan 1 kq suya nisbəti

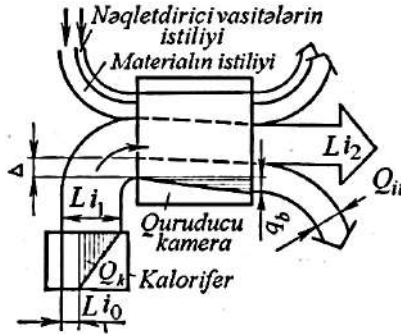
$$L/W(i_2 - i_1) = \sum Q/W ; \quad l(i_2 - i_1) = \Delta \quad (18.15)$$

Buradan i_2 (1 kq quru havaya kCoul)

$$i_2 = i_1 + \Delta/l, \quad (18.16)$$

burada Δ - quruducunun kamerasına daxil olan və ya onunla itirilən istilik miqdarıdır, l kq buxarlanan nəmliyə Coul ilə.

Δ -nın qiyməti istilik balansının tərkibindən asılı olaraq müsbət və ya mənfi ola bilər. Xüsusi hallarda mənfi kəmiyyətlərin qiyməti müsbət kəmiyyətlərin qiymətinə bərabər olduqda $\Delta=0$. Bu halda $i_2 = i_1$. Quruducunun istilik balansını qrafiki olaraq şəkil 18.9 - da verir.



Şək.18.9. Quruducunun istilik balansını qrafiki

18.12. $i-x$ diaqramında qurutmanın həqiqi normal prosesi

$i-x$ diaqramında qurutma prosesinin qurulmasını nəzərdən keçirək. $\Delta > 0$ halı üçün nəzərdən keçirək. Əvvəl quruducunun verilən iş şəraiti üçün nəzəri proses qrafikini qururuq (şək.18.10 ABC xətti).

$\Delta > 0$ olduqda quruducu kamerada havanın halı BC xəttinə uyğun olmayıb, bu xəttin üstündə yerləşən və B nöqtəsində başlayan xətlə dəyişir. Əgər hava quruducudan eyni nisbi nəmlikdə çıxarsa, onda onun istilik tutumu C_1 nöqtəsində C nöqtəsinə nisbətən çoxdur.

Yuxarıda deyilənlərə görə

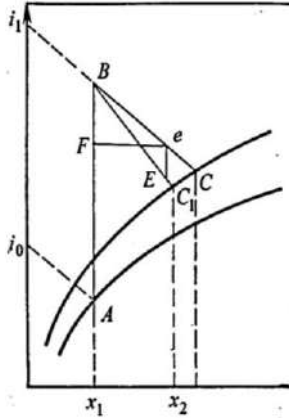
və ya

$$Ee = \frac{(i_2 - i_1)M_i}{(x_2 - x_1)M_x} eF = \frac{i_2 - i_1}{x_2 - x_1} eFn,$$

burada $n = M_i/M_x$, ancaq $(i_2 - i_1)/(x_2 - x_1) = \Delta$ olduğundan

$$Ee = \Delta nFe. \quad (18.17)$$

Beləliklə, $\Delta > 0$ olduqda həqiqi proses xəttini aşağıdakı kimi qururuq. Verilən qurutma şərtlərində nəzəri proses xəttini qururuq. BC xəttində hər hansı bir e nöqtəsindən eF xətti çəkirik və onu ölçürük (mm). (18.17) tənliyinə görə eF -ni tapırıq (mm). eE çəkirik və B və E nöqtələrindən həqiqi proses xəttini qururuq. Analogi olaraq $\Delta < 0$ olduqda qurutmanın həqiqi proses xəttini tapırıq (şək.18.11).



Şək.18.11. Qurutmanın həqiqi prosesinin qrafiki hesabı

Havanın xüsusi sərfi

$$l = 1/(x_2 - x_1).$$

Qızdırıcıda xüsusi istilik sərfi

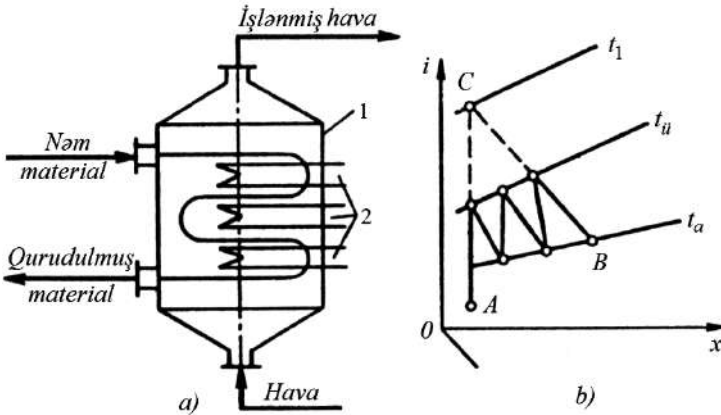
$$q = (i_1 - i_0)/(x_2 - x_1).$$

18.13. Quruducu prosesin variantları

Qida sənayesində aşağıdakı qurutma variantlarından istifadə olunur: havanın bir neçə dəfə aralıqda qızdırılması; işlənmiş havanın qismən sirkulyasiyası; havanın bir neçə dəfə aralıqda qızdırılması və ayrı-ayrı zonalarda onun qismən sirkulyasiyası; qurudulan qazın qapalı sirkulyasiyası ilə.

Havanın bir neçə dəfə aralıqda qızdırılması ilə qurudulma.

Bu qurudulmadan suxarı və makaron məmulatlarının qurudulmasında istifadə olunur (şək.18.13). Bu məmulatların qurudulmasında üst və alt sərhəd temperaturları $t_{\text{ü}}$ və t_{a} -dır. Hava əvvəlcə $t_{\text{ü}}$ temperaturuna qədər qızdırılır, sonra nəm materialla qarşılıqlı təsirdə olaraq t_{a} temperaturuna qədər soyuyur, daha sonra hava yenidən kaloriferdə $t_{\text{ü}}$ temperaturuna qədər qızdırılır və yenə də nəm materialla təmasa girərək t_{a} temperaturuna qədər soyuyur və s. Havanın son parametrləri bu halda B nöqtəsi ilə təyin edilir.



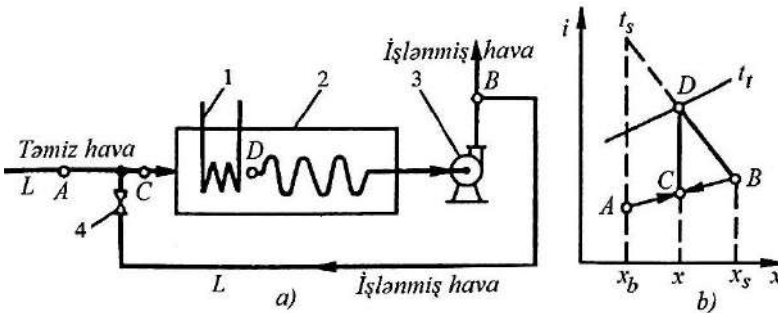
Şək.18.13. Havanın bir neçə dəfə aralıqda qızdırılması ilə qurutma (a) və prosesin $i-x$ diaqramında verilməsi (b):

1- quruducu kamera; 2- kaloriferlər

Bu qurutma variantı onunla xarakterizə olunur ki, qurudulan materiala tələb olunan istilik miqdarı havanın aşağı temperaturunda verilir. Punktir xətlər göstərir ki, aralıqda qızdırılmadan qurut-

mada havanın əvvəlcədən t_1 temperaturuna qədər qızdırılması tələb olunur (C nöqtəsi). Belə qurutma sxemindən yüksək temperatura davam gətirməyən materialların qurudulmasında istifadə olunur.

İşlənmiş havanın qismən resirkulyasiyası ilə qurutma şəkil 18.14-də verilmişdir. A nöqtəsi ilə xarakterizə edilən parametrlə təmiz (ilkin) hava işlənən havanın bir qismi ilə qarışır (AC və BC xətləri), sonra məhlul kaloriferdə t_1 qurutma temperaturuna qədər qızdırılaraq qurudulan materialla əlaqəli təsirə girir. Havanın son parametrlərini B nöqtəsi təyin edir. Bir keçidli hava qurutmaya nisbətən bu variant üçün qurutmada t_s əvəzinə t_1 aşağı temperatur, x_b əvəzinə x_c ilkin yüksək nəmlik tutumu və quruducuda qazın böyük xətti sürəti xarakterikdir.



Şək.18.14. Havanın qismən qayıtması ilə quruducu (a) və prosesin $i-x$ diaqramında verilməsi (b):

1- kalorifer; 2- quruducu kamera; 3- ventilyator; 4- qapaq.

Havanın bu parametrləri və quruducuda onun sürəti qarışma sayından $n=l/L$ asılıdır. Bu quruducuda və hava sirkulyasiyası olmayan quruducuda havanın halının eyni dəyişmə sərhədlərində istilik sərfi bərabərdir.

İşlənmiş havanın qismən resirkulyasiyası və kaloriferlərdə aralıqda qızdırılması ilə qurutma yuxarıda qeyd olunan variantların uyğunlaşmasıdır. Bu qurutma variantı üçün havanın aşağı temperaturu, ilkin yüksək nəmlik tutumu, quruducuda sirkulyasiya

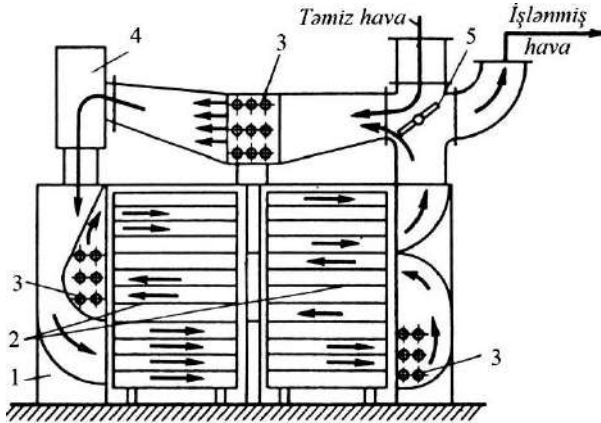
edən havanın miqdarının artması hesabına qazın yüksək xətti sürəti uyğundur.

Nəzərdən keçirilən qurutma variantları yumşaq qurutmanı və lazımi istilik miqdarının verilməsini təmin edir və bu da qida məhsullarının qurudulmasında çox vacibdir. Yumşaq qurutma şərtləri havanın ilkin temperaturunun aşağı düşməsi, nəmlik tutumunun artması və quruducuda qaz axınının xətti sürətinin artması hesabına baş verir. Bu da kütləvermə əmsalının artmasına və birinci dövrdə qurutma sürətinin artmasına gətirib çıxarır.

18.14. Quruducuların konstruksiyası

Qida sənayesində istifadə edilən quruducular konstruksiyalarının müxtəlifliyi ilə fərqlənir və istiliyin verilməsinə görə (konvektiv, kontakt və s.), istifadə edilən istilik daşıyıcının növünə görə (hava, qaz, buxar, dəm qazları), quruducuda təzyiğin qiymətinə görə (atmosfer və vakuum); prosesin təşkilinə görə (periodik və fasiləsiz təsirli), axınların təsir sxeminə görə (düzaxınlı, əksaxınlı, çarpaz axınlı və qarışıq axınlı) ayrılır.

Konvektiv quruducuların arasında ən sadəsi kameralıdır (şək.18.15).



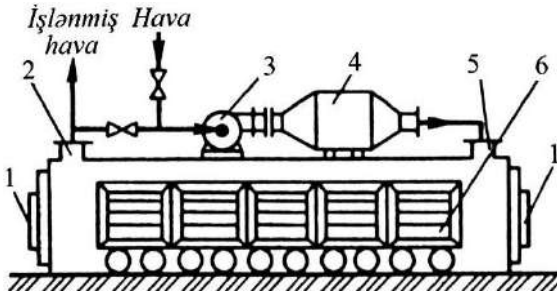
Şək.18.15. Kameralı quruducu:

1- korpus; 2- vaqonетка; 3- kaloriferlər; 4- ventilyator; 5- şiber

Kameralı quruducular daxilində vaqonетка olan korpusdan ibarətdir. Vaqonetakların rəflərində nəm material yerləşdirilir. İstilik daşıyan quruducuya ventilyatorla verilir, kaloriferdə qızdırılır və qurudulan materialın üzərindən keçir və ya material layına altından yuxarı nüfuz edir.

İşlənən havanın bir qismi yeni (təmiz) hava ilə qarışır. Bu periodik təsirli quruducular atmosfer təzyiqində işləyir. Onlar kiçik tonnajlı istehsalatda yumşaq şəraitdə, yüksək olmayan temperaturda materialların qurudulması üçün istifadə olunur. Kameralı quruducular aşağı məhsuldarlığa malik olması və məhsulun qeyri-bərabər qurudulması ilə fərqlənir.

Tunelli quruducular (şək.22.14) suxari, tərəvəz, meyvə, makaron və digər məhsulların qurudulması üçün istifadə olunur. Prosesin təşkilinə görə bu quruducular uzun dördbucaq korpusdan ibarətdir ki, burada qurudulan məhsul hərəkət edən arabacıqların rəflərində yerləşdirilərək hərəkət edir və bu halda arabacıqların quruducu kameralada qalma müddəti qurutma müddətinə bərabər olur. Materialın qurudulması arabacığın bir gedişində əldə olunur. Yeni hava ventilyatorla sovrularaq kaloriferdə qızdırılır və quruducuya daxil olur. Arabacıqların hərəkəti itələyici vasitəsilə yerinə yetirilir. Quruducu özü açılan qapılarla təchiz olunur.



Şək.18.16. Tunelli quruducu:

- 1 - qapılar; 2- qaz keçidi; 3- ventilyator; 4- kalorifer; 5- korpus;
6 - materialdaşıyan arabacıqlar

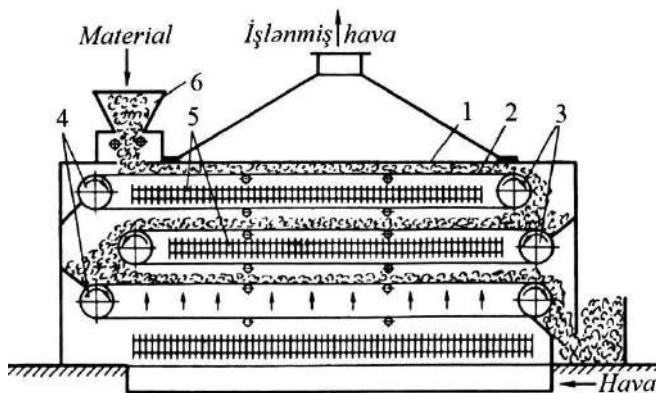
İsti hava quruducuda materialla düz axında və ya əks axında təsir edir. Bəzi hallarda tunelli quruducularda havanın resirkulya-

siyasını və onun quruducu kamerada aralıq qızdırılmasını yerinə yetirmək mümkündür. Kaloriferlər və ventilyatorlar quruducunun qapağında, yanda və ya tuneldə quruducunun altında quraşdırılır. İşlənmiş hava quruducudan qaz çıxaran vasitəsilə çıxarılır.

Lentli çoxyaruslu konveyerli quruducular makaron məmulatlarının, suxarinin, meyvənin, tərəvəzin, nişastanın və s. qurudulmasında istifadə olunur (şək.18.17). Nəm material üst yükləyici bunkerdən verilir və perforasiya edilmiş lentli üst konveyerə daxil olur, burada quruducu kamera boyunca hərəkət edir və sonra aşağıda yerləşən konveyerə tökülür. Alt konveyerdən qurudulan material boşaldıcı bunkerə və ya qəbul konveyerinə daxil olur.

Materialın lentdən lentə tökülməsi onun qarışmasına səbəb olur, bu da öz növbəsində qurutma sürətini artırır.

Materialın aşağıdakı konveyerə tökülməsi üçün istiqamətləndirici qanovlar (lotoklar) quraşdırılır.



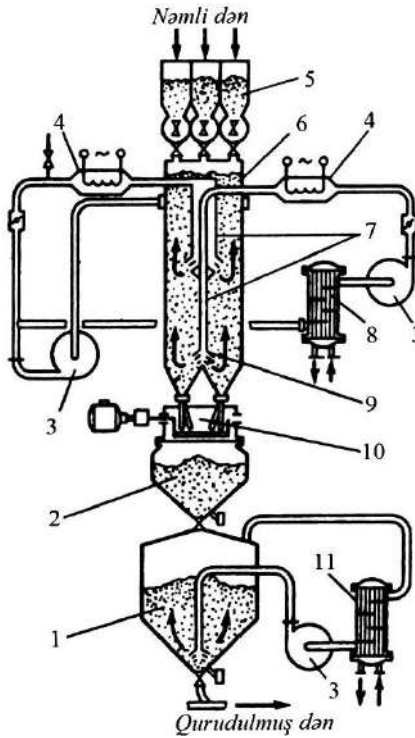
Şək.18.17. Lentli quruducu:

1- korpus; 2- lentli konveyer; 3- aparıcı barabanlar; 4- aparılan barabanlar; 5- kaloriferlər; 6- yükləyici qurğulu bunker

Hava ventilyatorla quruducuya qovulur, kaloriferdən keçərək quruducu kameraya yönəlir, burada hər bir perforasiya edilmiş lentdəki materiala nüfuz edir. Havanın arada qızdırılması üçün hər bir konveyerin lentalarının altında qabırğalı borulu kalorifer yerləşir.

Lentli quruducular düz və əks axınlı olur. Belə quruducularda havanın resirkulyasiyası nəzərdə tutula bilər. Havanın aralıq qızdırılması və resirkulyasiyası hesabına lentli quruducularda yumşaq qurutma şərtləri əldə olunur.

Hərəkət edən laylı şaxtalı quruducular (şək.18.18) səpələnən dənli materialları qurutmaq üçün istifadə olunur. Quruducunun oxu boyunca istilik daşıyıcı vermək üçün borular yerləşir. İstilik daşıyıcının quruducuda bərabər paylanması üçün boruların ucunda jalyüz yerləşir.



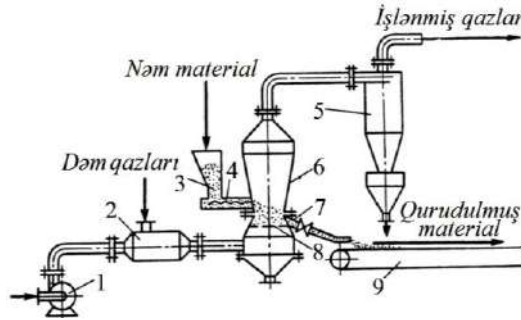
Şək.18.18. Dənli materialları qurutmaq üçün şaxtalı quruducu qurğusu:

- 1 - bunker - soyuducu; 2 - aralıq bunker; 3 - qaz üfünən; 4 - kaloriferlər; 5 - bunker; 6- şaxta; 7 - istilik daşıyıcı vermək üçün borular; 8 - soyuducu-kondensator; 9 - jalyüz; 10 - dozator; 11- soyuducu

İstilik daşıyıcının vermə və sirkulyasiya sistemi quruducunun həcmi iki zonaya ayırır. Birinci zonada ikinci zonadan çıxan istilik daşıyıcının istiliyindən istifadə olunur. Birinci zonada əsasən səthi nəmlik, ikincidə isə daxili nəmlik ayrılır.

İkinci zonaya daxil olan istilik daşıyan əvvəlcədən ikinci zonanın kondensatorunda qurudula bilər. Quruducunun üst hissəsində hər iki axın birləşərək kaloriferdə qızdırıldıqdan sonra qaz üfünən vasitəsilə quruducunun birinci zonasına verilir. Qurudulan materialın çıxarılması fasiləsiz olaraq rəfli dozator vasitəsilə yerinə yetirilir.

Saxta mayeləşmiş laylı quruducular fasiləsiz təsirli aparatlar olaraq səthi nəmliyin və zəif əlaqəli nəmliyin ayrılması üçün istifadə olunur, həmçinin xırda dənəvər və dənəvər materialların əlaqəli nəmliyini ayırmaq üçündür. Saxta mayeləşmiş laylı quruducular bir və ya bir neçə seksiyalı şaquli və üfüqi hazırlanır. Birseksiyalı quruducunun sxemi şəkil 18.19-da verilmişdir.



Şək.18.19. Birseksiyalı quruducu:

1- ventilyator; 2- kalorifer; 3- bunker; 4- şnek; 5- tsiklon; 6- quruducunun korpusu; 7- boşaldıcı qısaboru; 8- qazpaylayıcı şadara; 9- konveyer

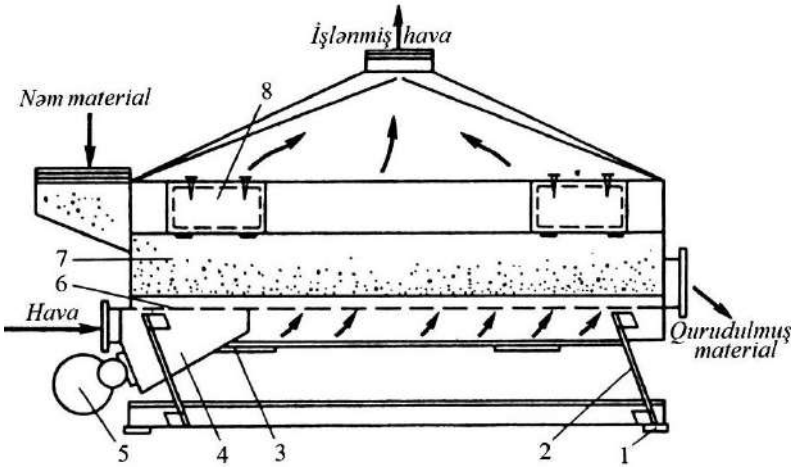
Nəm material fasiləsiz olaraq quruducuya verilir. Ventilyatorla qovulan istilik daşıyan kaloriferdə qızdırılaraq quruducuya qazpaylayıcı şadaranın altından verilir. Materialın qurudulması qazpaylayıcı şadara birləşən quruducu zonada baş verir və qurudul-

muş material quruducudan qısboru vasitəsilə çıxarılır. Quruducudan ayrılan qazlar siklonda tozdan təmizlənərək atmosfərə atılır.

Birseksiyalı quruducunun çatışmamazlığı materialın qeyri-bərabər qurudulmasıdır. Bərabər qurumanı artırmaq üçün çoxseksiyalı quruduculardan istifadə olunur. Aparatların seksiyalara ayrılması aparatın həcmnin arakəsmələrlə bölünməsi ilə əldə olunur, yəni material layının şaquli arakəsmələrlə üfüqi seksiyalara və ya üfüqi perforasiya edilmiş arakəsmələrlə şaquli seksiyalara ayrılmasıdır.

Vibroquruducular saxta mayeləşən materialların, yəni nəm narın dispersli, polidispers və s. qurudulması üçün istifadə olunur.

Vibroaerosaxta mayeləşmiş (vibroqaynayan) lay müxtəlif konstruksiyalı aparatlarda şaqulilərdə, üfüqilərdə, qanovlarda yaradıla bilər. Ən çox istifadə olunan maili qanovlu quruduculardır (şək. 22.18).



Şək.18.20. Vibroquruducu:

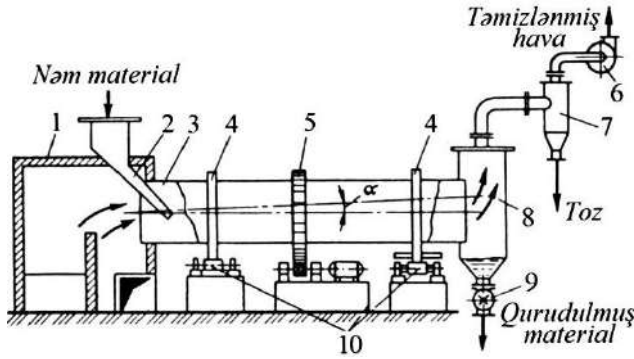
- 1- amortizator; 2- yay; 3- boşaldıcı lük; 4- vibrator; 5- mühərrik; 6- qazpaylayıcı şadara; 7- nov; 8 - nəzarət pəncərəsi

İstilik dəyişmə proseslərin aparılması üçün eyni zamanda qaz axımının laydan keçməsi və aşağı tezlikli titrəyişlərlə yaranan vibroaerosaxta mayeləşmiş lay ən çox praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Vibrasiyalı quruducular kartof emalı zavodlarında kartof yarmasını qurutmaq üçün istifadə olunur.

Barabanlı quruducular şəkər çuğunduru cecəsinin, dən-kartof əzintisinin, qarğıdalı səmənisi və əzməsinin, dənin və şəkər tozunun qurudulması üçün istifadə olunur. Barabanlı quruducular-da qurutma atmosfer təzyiği altında baş verir. İstilik daşıyıcı hava və ya dəm qazlarıdır.

Barabanlı quruducular (şək.18.21) üfüqə kiçik bucaq altında quraşdırılmış üfüqi içi boş silindrik barabandan ibarətdir. Baraban iki dayaq diyircəkləri ilə fırlanan bandajlarla təchiz olunur və dayaq diyircəkləri ilə fiksasiya edilir. Baraban elektrik intiqalından hərəkət alır.



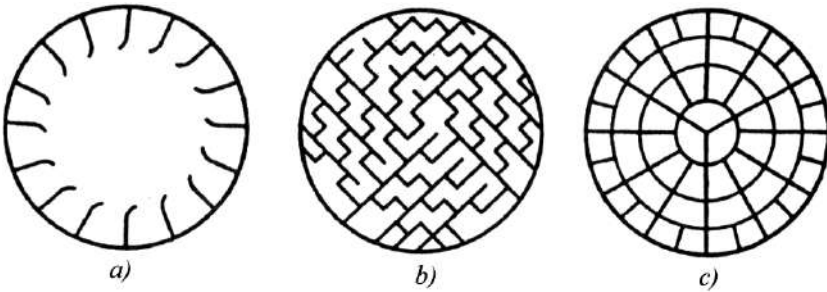
Şək.18.21. Barabanlı quruducu:

1 - odluq; 2 - bunker; 3 - baraban; 4 - bandajlar; 5 - dişli çarx; 6- ventilyator; 7 - siklon; 8 - qəbul bunkeri; 9 - şlyuzlu qidalandırıcı; 10 - dayaq diyircəkləri

Barabanın fırlanma tezliyi $5...8 \text{ dəq}^{-1}$ -dir. Nəm material qidalandırıcıdan quruducuya daxil olur. Baraban fırlandıqda material səpələnir və boşaltma pəncərəsinə tərəf hərəkət edir. Material barabanda qaldığı müddətdə istilik daşıyıcı ilə təmasa girərək qurudulur. Burada istilik daşıyıcı odluqdan barabana daxil olan dəm qazlarıdır.

Materialın quruducu agentlə kontaktını yaxşılaşdırmaq üçün barabanda daxili taxma quraşdırılır ki, baraban fırlandıqda materi-

alın hərəkətini təmin etsin və materialın quruducu agentlə əhatə olunmasını yaxşılaşdırsın. Taxma materialın xassələrindən asılı olaraq seçilir. Şəkil 18.22-də daxili taxmalar verilmişdir. Qaldırıcı-pərli taxma iki və yapışmaya meyilli materialların qurudulmasında istifadə olunur. Kiçik ölçülü və səpələnən materialların qurudulmasında isə paylayıcı taxmadan istifadə olunur. Tozlu, narın dispers materialları oyuqlu taxmalarla təchiz olunmuş barabanlarda qurudurlar.



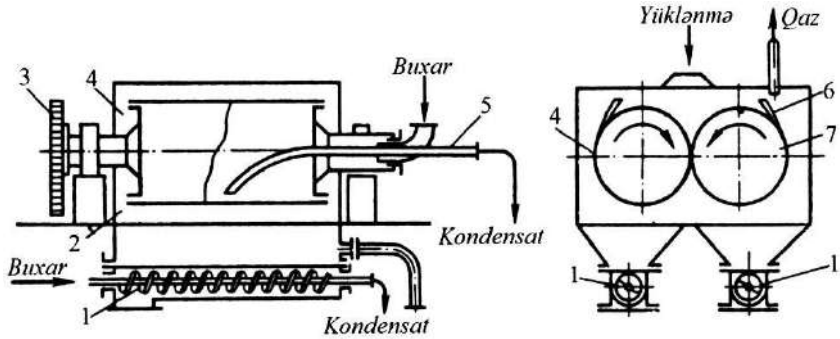
Şək.18.22. Barabanların daxili paylayıcı taxmaları:

a - qaldırıcı-pərli; *b* - paylayıcı; *c* - oyuqlu

Qazlar və materiallar düz və əks istiqamətdə hərəkət edir. Düz axında materialın çox qızmasının qarşısını almaq olar, çünki bu halda qaynar qazlar yüksək nəmli materialla təmasda olur. Tozlanmanın qarşısını almaq üçün qazlar ventilyatorla 2...3 m/san sürətlə sovrulur. Atmosferə tullanmazdan əvvəl işlənmiş qazlar siklonda təmizlənir.

Vallı quruducular (şək.18.23) maye və pastaşəkili materialların, yəni müxtəlif pastaların, yem mayalarının və digər materialların qurudulması üçün nəzərdə tutulur. Qızdırıcı buxar içi boş sapfa vasitəsilə qarşı-qarşıya 2...10 dəq⁻¹ tezliklə fırlanan vallara daxil olur və kondensat sifon borusu vasitəsilə çıxarılır. Material üstdən valların arasına daxil olaraq onları nazik plyonka ilə əhatə edir. Plyonkanın qalınlığı vallar arasına məsafə ilə nizamlanır. Materialın qurudulması nazik layda valların tam dövrü ərzində baş verir. Qurudulan material vallar boyunca bıçaqlarla çıxarılır. Ma-

materialın qurudulmasını lazım gəldikdə pərli quruducularla təchiz edirlər.



Şək.18.23. Vallı quruducular:

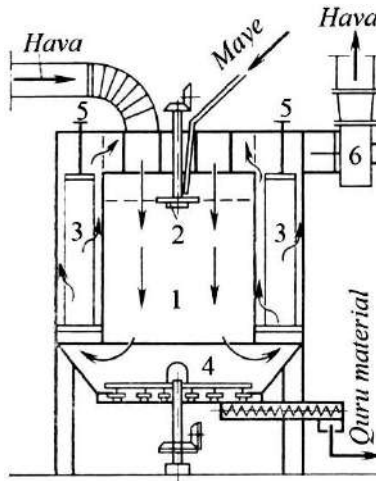
- 1- əlavə quruducu; 2- korpus; 3- intiqal; 4- aparıcı val;
5- sifon borusu; 6- bıçaq; 7- aparılan val

Belə quruducuların effektivliyi 1 m^2 səthdən 1 saat ərzində buxarlanan suyun kiloqramla ifadəsi olub səthinin gərginliyi ilə qiymətləndirilir.

Bişmiş kartofun qurudulmasında gərginlik $K = 75 \text{ kq}/(\text{m}^2 \cdot \text{saat})$, buxar təzyiqi $0,3-0,5 \text{ MPa}$ olur. Mayanın qurudulmasında $p = 0,3-0,4 \text{ MPa}$ -da $K = 35 \text{ kq}/(\text{m}^2 \cdot \text{saat})$, $p = 0,1-0,2 \text{ MPa}$ olduqda, $K = 18 \text{ kq}/(\text{m}^2 \cdot \text{saat})$ olur.

Püskürücülü quruducular qarışıqların, suspenziyaların, pastaşəkilli materialların qurudulmasında istifadə olunur. Püskürmə ilə qurutmada quru süd, süd-tərəvəz konsentratları, qida və yem mayaları, yumurta tozu, jelatin, albumin və s. məhsullar alınır. Belə quruducunun quruducu kamerası içi boş qüllədən ($D = 2-5 \text{ m}$; $H = 3-5 \text{ m}$) ibarətdir (şək.18.24). Quruducuya daxil olan material quruducunun üst hissəsindən püskürülür. Alt hissəyə çökdükcə material və quruducu agent arasında kontakt yaranır. Materialın dispersiya etməsi onun forsunkalardan püskürülməsilə və ya sıxılmış qaz vasitəsilə pnevmatiki yolla yerinə yetirilir. Materialın yüksək dispersliyi hesabına materialın quruducu agentlə təmas

səthi çox böyük olur ki, bu səbəbdən də sürəti olduqca yüksək olur. Quruducuda quruducu agentin sürətinin aşağı olmasına baxmayaraq (0,2-0,4 m/san) o materialın kiçik hissəciklərini özü ilə aparır. Onların atmosfərə aparılmaması üçün hava filtrlə təmizlənilir. Qurudulmuş material kameranın dibinə tökülür və ərsinlərlə şnekə tərəf aparılır və quruducudan çıxarılır. Materialın quruducuda qalma müddəti 50 saniyədən artıq olmur. Püskürücülü quruducular 20 kq/m^3 -ə qədər nəmliyin ayrılmasına, böyük istilik daşıma sərfinə, metal və enerji tutumuna malikdirlər.

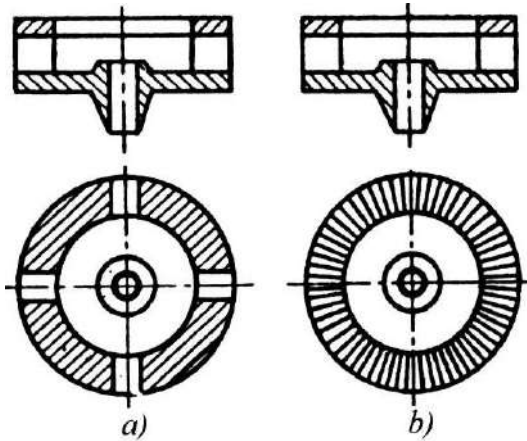


Şək.18.24. Püskürücülü quruducu:

- 1- quruducu kamera; 2- püskürücü disk; 3- filtrlər; 4- ərsinlər;
- 5- silkələyici mexanizm; 6- ventilyator

Mexaniki püskürmə metodunda 2,5...20 MPa təzyiqlə maye verən forsunkalardan istifadə olunur (şək.18.25). Püskürmənin keyfiyyəti forsunkanın ucluğundan çıxan şırnağın turbuləntlik dərəcəsiindən asılıdır. Turbuləntlik, yəni forsunkada axında burulğanlıq yaratmaq üçün tangensial yarıqlı taxma nəzərdə tutulur. Şırnaqların damcılara parçalanması maye şırnağı və qaz təsirindən, turbuləntlik nəticəsində şırnaq daxilində asimmetrik və dalğalı titrəyişlərin və səthi gərilmə qüvvələrinin təsirindən yaranır.

sunkalardan və ucluqlardan keçərək baş verir. Kanalların sayı artıqca quruducunun məhsuldarlığı artır.



Şək.18.26. Püskürücü disklər:

a – 4-pərli; *b* – 24-pərli

Mərkəzdənqaçma tipli disklərlə püskürülmə geniş yayılmışdır. Disklərin istilik daşıyan axınına fırlanma tezliyi $40\ 000\ \text{d} \cdot \text{s}^{-1}$ -ə kimidir.

Püskürmə işə qurutma şəraitində istilik dəyişənin hesabata üçün aşağıdakı tənlik tövsiyə edilir

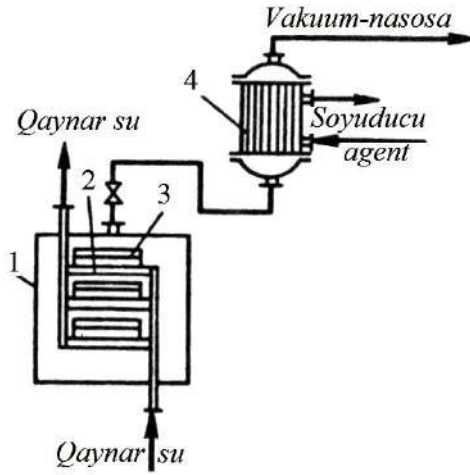
$$Nu = 2 + 0,51Re^{0,52} Pr^{0,33} \quad (18.18)$$

Sublimasiyalı quruducular qiymətli qida məhsullarının məsələn, donmuş vəziyyətdə ətin, tərəvəzin, meyvənin və digər məhsulların qurudulması üçün istifadə olunur. Sublimasiyalı qurutma dərin vakuumda, $133,3 \dots 13,3\ \text{Pa}$ ($1,0 \dots 0,1\ \text{mm c. süt.}$) izafə təzyiqdə və aşağı temperaturda yerinə yetirilir.

Dondurulmuş məhsulların sublimasiyalı qurudulmasında onların tərkibindəki buz şəklində olan nəmlik maye halına keçmədən birbaşa buxar halına keçir.

Sublimasiyalı quruducu (şək.18.27) içərisində boş plitələr olan quruducu kameradan (sublimatorndan) və kondensator – dondurucudan ibarətdir. Plitələrdə qaynar su sirkulyasiya edir. Qurudulan

material tavalarda plitələrə yerləşdirilir. Tavaların xüsusi kənarları plitələr və tavalar arasında hava qatını təmin edir. Plitələrdən tavalara istilik radiasiya hesabına ötürülür. Qurutma nəticəsində yaranan buxar–hava məhlulu sublimatordan kondensator–dondurucuya, yəni köynəkli–borulu istilik dəyişənə daxil olur. Borular arası məsafədə soyuducu agent olan ammonyak sirkulyasiya edir. Kondensatorun borularında su buxarlarının kondensasiyası və donması baş verir. Adətən, sublimasiyalı quruducular iki kondensatorla təchiz olunur: kondensatorların birində kondensasiya və donma baş verdikdə digərində isə ərimə baş verir.



Şək.18.27. Sublimasiyalı quruducu:

1- quruducu kamera; 2- plitə; 3-tava; 4- kondensator-dondurucu

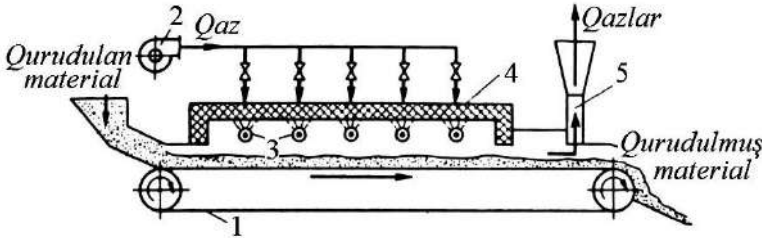
Nəmlik materialdan üç mərhələdə ayrılır. Birinci mərhələdə quruducu kamerada təzyiğin düşməsi halında nəmliyin öz-özünə donması və materialdan ayrılan istiliyin hesabına buzun sublimasiyası baş verir. Bu zaman nəmliyin 15%-i ayrılır. İkinci mərhələ - sublimasiyadır, bu zaman nəmliyin əsas hissəsi ayrılır. Üçüncü mərhələdə qalan nəmlik ayrılır.

Enerji sərfinə görə sublimasiyalı qurutma atmosfer təzyiqindəki qurutmaya yaxındır.

Termoradiasiyalı qurutmadan dənli materialların termiki emalında istifadə olunur. İnfraqırmızı şüalarla qurutmada nəmliyin ayrılması üçün istilik termoşüalanma ilə verilir. İstilik buraxan generator xüsusi lampalar və ya qızdırılmış keramiki və ya metal səthlərdir.

Termoşüalanma ilə qurutmada materialın vahid səthinə vahid zaman müddətində qızdırılmış qazlara və ya konvektiv qurutmaya nisbətən daha böyük istilik tələb olunur. Qurutma prosesi nisbətən sürətlənir. Belə ki, üç laylı materialların infraqırmızı şüalarla qurudulma müddəti 30...100 dəfə qısadır.

Şəkil 18.28-də qazlarla qızdırılan şüalandırıcı radiasiyalı quruducunun sxemi verilir.



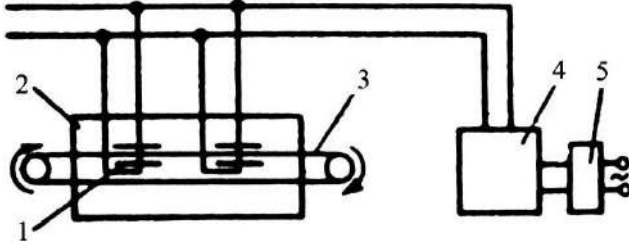
Şək.18.28. Radiasiyalı quruducu:

- 1- konveyer; 2- qaz püskürən; 3- qaz odluğu; 4- şüalandırıcı; 5- işlənmiş qaz çıxaran boru

Qazlı radiasiyalı quruducular konstruksiyasına görə lampalarla təchiz olunan quruduculardan ucuzdur. Şüalandırıcılar onların altında yandırılan və ya şüalandırıcıya daxil olan dən qazları ilə qızdırılır. Şüalandırıcıların seçilməsi qurudulan materialın xassələri ilə təyin olunur.

Yüksək tezlikli quruducular qalın məmulatların (tortların) bişirilməsində istifadə olunur. Yüksək tezlikli qurutmada temperatur və nəmliyi nəinki materialın səthində, hətta daxilində də nizamlamaq olar. Yüksək tezlikli quruducu (şək.18.29) yüksək tezlikli lampalı generatordan və daxilində lentli konveyer yerləşən quruducu kameradan ibarətdir.

50 Hs tezlikli şəbəkədən dəyişən cərəyan düzləndiriciyə, sonra generatora daxil olur. Burada o yüksək tezlikli dəyişən cərəyana çevrilir. Bu cərəyan lentli konveyerin hər iki tərəfində yerləşən generatorun lövhələrinə verilir.



Şək.18.29. Yüksək tezlikli quruducu:

1- kondensatorun lövhəsi; 2- quruducu kamera; 3- lentli konveyer; 4- yüksək tezlikli lampalı generator; 5- düzləndirici

Yüksək tezlik sahəsinin təsirindən materialın ionları və elektronları sinxron olaraq kondensatorun lövhələrinin (“+”, “-” dəyişərək) hərəkət istiqamətini dəyişir. Dipol molekullar çevrəvi hərəkət alır, onların elektrik yükünün dəyişməsi hesabına qeyri-polyarlar polyarlaşır. Bu proseslər nəticəsində materialda istilik ayrılır və material qızdırılır. Elektrik sahəsində gərginliyi dəyişərək qurutma sürətini nizamlamaq olar.

Yüksək tezlikli qurutmada yüksək xüsusi enerji sərfi tələb olunur (2,5...5 kVt:saat 1 kq buxarlanmış suya). Yüksək tezlikli quruducuların konstruksiyası konvektiv və kontakt quruduculara nisbətən daha mürəkkəb və baha olur. Buna görə də yüksək tezlikli quruducuları qiymətli qida məhsullarının termiki emalı üçün istifadə etmək məqsədəuyğundur.

Yoxlama sualları

1. Hansı proses qurutma adlanır? 2. Qida sənayesində hansı qurutma növlərindən istifadə olunur? 3. Qurutmanın hərəkətedici qüvvəsi nədir? 4. Nə vaxt materialın qurudulması, nə vaxt isə nəmləndirilməsi baş verir? 5. Nəmliyin materialla əlaqələnmə formaları hansılardır? 6. Materialla əlaqələnmə enerjisi

nədir? 7. Qurutmaya sərf olunan istiliyin ümumi sərfi nəyə bərabərdir? 8. Nəyə görə qurutma prosesi birinci və ikinci mərhələlərə ayrılır? 9. Birinci mərhələdə qurutma sürətini hansı faktorlar təyin edir? 10. İkinci mərhələdə qurutma sürətini hansı faktorlar təyin edir? 11. Konvektiv qurutmada istilik nəyə sərflənir? 12. İdeal qurutma real qurutmadan nə ilə fərqlənir? 13. Kontaktlı quruducuların hansı konstruksiyaları mövcuddur? 14. Konvektiv quruducuların hansı konstruksiyaları mövcuddur? 15. Hansı materiallar konvektiv, hansıları isə kontaktlı quruducularda qurutmaq məqsədə uyğundur? 16. Hansı materiallar püskürücülü quruducularda qurudulur? 17. Hansı xüsusi qurutma növləri məlumdur? 18. Hansı halda sublimasiyalı qurutmadan istifadə olunur? 19. Sublimasiyalı qurutma nəyə əsaslanır?

V HİSSƏ. BİOKİMYƏVİ PROSESLƏR



Mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyətinə yönələn, sürətləri biokütlənin artması və ya onların metabolizmi ilə təyin edilən proseslər biokimyəvi proseslər adlanır.

FƏSİL 19 BİOKİMYƏVİ PROSESİN ƏSASLARI

Biokimyəvi proseslər canlı orqanizmlərin köməyi ilə gedir. Onlar ətraf mühətdən – substratdan qidalı maddələr olan saxaroza, qlükoza, laktoza və digər karbohidratlar alırlar. Mikroorqanizmlər nəfəs alır, böyüyür, artır, qaz şəkilli və maye metabolizmi məhsulları ifraz edir ki, məhz bunun üçün fermentasiya prosesi aparılır. Fermentasiya zamanı biokütlə və metabolizm məhsulları toplanır. Belə ki, maya, zülal-vitamin konsentratlarının istehsalında məqsədli məhsul biokütlədir, digər hallarda, məsələn, antibiotiklərin, fermentlərin və s. istehsalında isə mikroorqanizm hüceyrələrinin sintez etdiyi metabolizm məhsullarıdır. Bu zaman mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyəti məhsulları hüceyrənin özündə toplanma bilər və ya mayeyə ayrılma bilər.

Mikrobioloji sintez kimya texnologiyasının metodları ilə mümkün olmayan və ya iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun olmayan məhsulların alınmasında istifadə olunur. Məsələn, fermentlərin bakterial preparatların, zülalların, antibiotiklərin, bir sıra vitaminlərin alınması yalnız mikrobioloji sintez yolu ilə mümkündür.

Qida sənayesində mikroorqanizmlər qıvcırma sənayesində pivə, şərab, qida spirti, limon, süd və sirkə turşularının, mayanın istehsalında və kənd təsərrüfatı xammalının emalında istifadə olunur. Maya istehsalı böyük miqdarda biokütlənin alınması ilə bağlıdır. Mayanın, həmçinin bir sıra üzvi turşuların alınmasında mikroorqanizmlərin turşu mühətdə dərin fermentasiya (suspensiyalı) üsulundan istifadə olunur. Bu halda yüksək aseptik dərəcəsi tələb

olunmur, çünki yad mikrofloranın inkişaf etmə ehtimalı azdır. Qidalı mühitlərdə və kultural mayelərdə şəkər, spirt və digər komponentlərin konsentrasiyası elə olur ki, orada bir çox mikroorqanizmlərin inkişafı çətinləşir. Bir sıra hallarda elə mikroorqanizmlər – anaeroblar istifadə olunur ki, onların kultivasiyası üçün oksigen tələb olunmur, bu da yad mikrofloranın inkişafını çətinləşdirir. Bununla bağlı böyük miqdarda mayenin, avadanlığın sterilizasiya, hermetizasiyası və havanın təmizlənməsi problemləri yaranmır. Hazır məhsul maye şəklində separatorlarda ayrılaraq sonradan püskürücülük quruducularda qurudulur.

Antibiotiklər, ferment preparatları, mayalar, gübrələr, vitaminlər, aminturşular, hormonal preparatlar və s. kimi fizioloji aktivliyi olan bakterial preparat və maddələrin alınması üçün işçi mühitin fermentasiya prosesində və digər mərhələlərində yad mikrofloranın düşməsindən qorumaq tələb olunur. Yad mikroflora işçi mühitə kultural maye, hava ilə daxil ola bilər və ya kifayət qədər sterilizasiya və hermetizasiya olmadıqda aparatın özündə yarana bilər.

Texnoloji prosesin yad mikrofloranın yaranmasına səbəb olan şəraitdə aparılmasında, avadanlığın ciddi sterilizasiya və hermetizasiya olmadıqda ($t = 25...35^{\circ}\text{C}$, pH 6,2...7,2) məqsədli məhsulun inkişafının dayanmasına və ya metabolizm məhsulunun çıxımının kəskin azalmasına gətirib çıxara bilər. Buna görə də bu proseslərdə aseptikə yüksək tələbatlar qoyulur: havanın tam təmizlənməsi, avadanlığın və əhatə edən kultural mayenin sterilizasiyası.

Sintez, fermentator adlanan aparatlarda aparılır. Məqsədli məhsul kultural mayedən filtrləmə, separasiya, ekstraksiya, buxarlanma və qurutma yolu ilə alınır. Ən geniş yayılmış qurutma metodları püskürücülük, sublimasiyalı, vakuumlu və saxta mayeləşən layda qurutmadır.

Biokimyəvi proseslərin əsas xassələrinə diri mikroorqanizmlər vasitəsilə müxtəlif məhsulların yaranması və ya parçalanması; biokütlənin böyüməsinə yönələn özünü nizamlama aiddir. Bundan başqa bütün hüceyrə daxili proseslər zülal biokatalizatorlarla, yəni fermentlərlə nizamlanaraq gedir. Hüceyrə qabığı, yəni membrana seçici nüfuz etmə qabiliyyətinə malik olub xarici təsirlərə uyğun-

laşan hüceyrənin nizamlayıcı mexanizmləri mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyətinin yaxşılaşdırılması səmtə tərəf yönəlidir.

Fermentatorların analizi və hesabatı mikroorqanizmlərin fermentasiya prosesinin mikrokinetikası barədə məlumatla, kütlə və istilikdəyişmə qanunauyğunluqlarının öyrənilməsinə əsaslanır.

19.1. Fermentasiya proseslərinin kinetikası

Sənayedə istifadə olunan mikroorqanizmlər heterotroflardır ki, onların həyat fəaliyyəti üçün təbii karbon mənbələrinin olması zəruridir.

Mikroorqanizmlər həyat fəaliyyəti prosesində müxtəlif funksiyaları yerinə yetirirlər ki, bunlar hüceyrələrin yüksək dərəcədə təşkilili və onların mürəkkəb strukturu ilə fərqlənir.

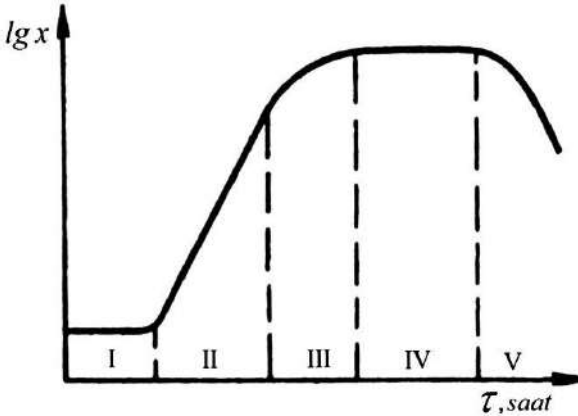
Hüceyrə divardan, sitoplazmatik membrandan, sitoplazmadan və nüvədən ibarətdir.

Mikroorqanizmlərin həyat fəaliyyəti zamanı hüceyrələr həm kəmiyyət, həm də keyfiyyət dəyişikliklərinə məruz qalaraq böyüyür, kimyəvi tərkibi, morfoloqiyası dəyişir, artması, spor əmələgəlməsi və nəhayət ölməsi baş verir.

Mikroorqanizmlərin böyümə əyrisi şəkil 19.1-də verilmişdir. Birinci faza – laq-faza olub hüceyrələrin böyüməsinin baş verməməsi ilə xarakterizə edilir. Bu fazada bitki xarici şəraitə adaptasiya edir (I mərhələ) və bu qidalı mühitdə hüceyrələrin böyüməsi üçün fermentlər yaranır. Eksponensial fazada (II mərhələdə) hüceyrələr bu şəraitdə mümkün olan maksimal sürətlə artır. Bu fazanın müddəti kultivasiya mühitində qidalı maddələr ehtiyatından, qarışdırmanın effektivliyindən və hüceyrəyə oksigenin verilmə sürətindən, yəni aerasiyanın effektivliyindən asılıdır.

Biokütlənin artması ilə qidalı maddələr tükənir, mübadilə məhsulları toplanır və hüceyrənin oksigenlə kütlədəyişmə sürəti azalır. Bu faktorlar mikroorqanizmlərin böyümə sürətinin azalmasına gətirib çıxarır (III mərhələ). Sonrakı substrat istifadəsi və metabolitlərin ixracı böyümənin dayanmasına şərait yaradır (IV

mərhələ, yəni stasionar faza). V mərhələdə (ölüm mərhələsi) hüceyrələrin sayı kəskin azalır.



Şək.19.1. Mikroorqanizmlərin böyümə əyrisi

Mikroorqanizmlərin böyümə kinetikasi üçün ümumi və xüsusi böyümə sürətlərindən istifadə olunur. Mikroorqanizmlərin biokütləsinin ümumi sürəti ($kq/(m^3 \cdot saat)$) biokütlənin artımının dM sonsuz kiçik zamana $d\tau$ nisbətidir. Bu sürət biokütlənin konsentrasiyası ilə mütənasibdir.

Mikroorqanizmlərin biokütləsinin böyümə kinetikasi aşağıdakı tənliklə ifadə olunur:

$$\frac{dM}{d\tau} = KM, \quad (19.1)$$

burada M - biokütlənin konsentrasiyası, kq/m^3 ;

τ - prosesin müddəti, saat;

K - biokütlənin xüsusi böyümə sürətidir, $saat^{-1}$.

(19.1) tənliyindən xüsusi sürət

$$K = \frac{1}{M} \cdot \frac{dM}{d\tau}.$$

Ekspensial fazada biokütlənin xüsusi böyümə sürəti sabitdir və verilən bitki və prosesin gediş şərtləri üçün mümkün olan maksimuma bərabərdir.

Biokütlənin konsentrasiyası ekspensial qanunla artır.

$$M = M_0 e^{K\tau}, \quad (19.2)$$

burada M_0 - ekspensial fazanın əvvəlində biokütlənin konsentrasiyasıdır, kg/m^3 .

(19.2) tənliyini loqarifmləsək alırıq:

$$\ln M = M_0 + K\tau. \quad (19.3)$$

Böyümənin xüsusi sürətini hesablamaq üçün iki nöqtə üçün prosesin τ_1 və τ_2 müddətinə uyğun M_1 və M_2 qiymətini tapırlar.

Onda

$$K = \frac{1}{\tau_1 - \tau_2} (\ln M_2 - \ln M_1). \quad (19.4)$$

Biokütlənin iki dəfə artma müddəti – regenerasiya müddəti

$$\tau_r = \frac{\lg 2}{K} = \frac{0,69}{K}.$$

Xammal kimi mikrobioloji sintezdə nişasta istehsalının tullantıları (melassa, hidrol), qida tullantılarının hidrolizatları, süd pıxması, qarğıdalı unu, neft emalının karbohidratları istifadə olunur.

19.2. Fermentasiya proseslərində kütlədəyişmə

Aerob mikroorqanizmlərin böyüməsi üçün üzvi substratları oksidləşdirən və hüceyrəni enerji ilə təmin edən oksigen tələb olunur. Oksigen suda pis həll olur və onun suda konsentrasiyası $8,1 \text{ mq/l}$ təşkil edir. Buna görə fermentasiya prosesini təmin etmək üçün fermentasiya mayesini hava ilə fasiləsiz aerasiya etmək lazımdır. Aerasiya zamanı iki proses baş verir: fermentasiya mayesinin oksigeninin hava qabarcıqlarından absorpsiyası və mayədə

həll olan oksigenin mikroorqanizmlərin hüceyrələri tərəfindən mənimsənilməsi. Maye faza üçün kütləvermə tənliyi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$dM = \beta_m (x_t - x) F d\tau, \quad (19.5)$$

burada M - oksigenin konsentrasiyası, kq;

β_m - maye fazada kütləvermə əmsalı, m/saat;

x_t - oksigenin tarazlı konsentrasiyaları, kq/m³;

x - oksigenin maye fazada işçi konsentrasiyası, kq/m³;

F - kütləvermə səthinin sahəsi, m²;

τ - prosesin getmə müddətidir, saat.

Barbotajlı aparatlarda faza ayırıcı səthi təyin edilmədiyindən yazmaq olar:

$$F = V_i \cdot a,$$

burada V_i - fermentatorun işçi həcmi, m³;

a - xüsusi kütləvermə sahəsidir, m²/m³.

Onda (19.5) tənliyi aşağıdakı şəkli alacaq:

$$dM = \beta_m a (x_t - x) V_i d\tau, \quad (19.6)$$

və ya

$$dM = \beta_{mv} (x_t - x) V_i d\tau \quad (19.7)$$

burada β_{mv} - kütlə vermənin həcmi əmsalıdır, saat⁻¹;

$$\beta_{mv} = \beta_m a.$$

Təcrübədə oksigenin mayədə qarışma konsentrasiyasını deyil, onun maye ilə tarazlıqda olan qaz fazasında parsial təzyiqini ölçürlər.

Henri qanununa əsasən

$$x_t = \frac{1}{E} P_{O_2},$$

burada E - Henri sabitidir, $\text{kq}/(\text{m}^3 \cdot \text{Pa})$;

P_{O_2} - fermentasiya mayesində oksigenin parsial təzyiqidir, Pa.

Hesab etsək ki, hər hansı bir zaman anında fermentasiya mayesindən mikroorqanizimlərlə mənimsənilən oksigenin sürəti W_{O_2} absorbsiya sürətinə bərabərdir, yəni $x = 0$, onda

$$W_{O_2} = \beta_{mv} x_t = \beta_{mv} \frac{1}{E} P_{O_2} . \quad (19.8)$$

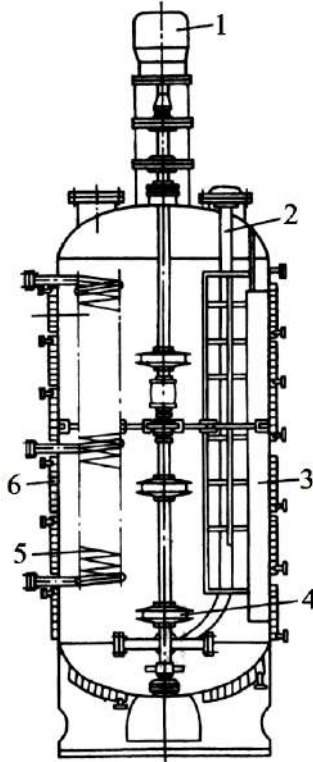
Qeyd edək ki, maye fazada kütləvermə əmsalı mühitin qarışma sürətindən və aerasiya şərtindən asılıdır. Fermentatorlardan çıxan havada oksigenin konsentrasiyası 18...20% təşkil edir.

19.3. Fermentasiya proseslərini yerinə yetirmək üçün aparatlar

Fermentatorlarda dərin fermentasiya prosesindən əvvəl laboratoriya şəraitində aparılan aşağıdakı mərhələlər yerinə yetirilir: əkilən materialın hazırlanması; qidalandırıcı mühitlərin hazırlanması; qidalandırıcı mühitlərin hazırlanması və sterilizasiyası; inokulyatorlarda əkilən materialın yetişdirilməsi. Əkilən materialın miqdarı sexdə quraşdırılan fermentatorların həcmindən asılıdır. Adətən, əkilən materialın miqdarı qidalandırıcı mühitin həcmnin 5...10%-ni təşkil edir. Qidalandırıcı mühiti və əkiləcək materialı fermentatora yükləməzdən əvvəl fermentator və bütün kommunikasiyalar sterilizə olunur. Köpüklənməni azaltmaq məqsədilə fermentatora səthi – aktiv maddələr (SAM) yüklənir. Fermentasiya aseptik şəraitdə 18...24 saat ərzində aparılır. Proses zamanı əhatə edən mayenin temperaturunu və pH-nı nəzarətdə saxlayırlar. Proses bitdikdə fermentator boşaldılır. Alınan məhsul filtrlər və ya separatorlarla mayedən ayrılaraq sonrakı emala daxil edilir.

Fermentasiya aparılmasında əsas spesifik aparat fermentatorudur. Ən geniş yayılan fermentator mexaniki qarışdırıcılı və hava püskürücülü aparatdır (şək.19.2).

Fermentasiya mayesi belə aparatda hava qarışdırıcı ilə qarışdırılır. Qarışdırıcı işlədikdə hava əlavə olaraq fermentasiya mayesində dispersiya edir. Ən geniş yayılan turbinli qarışdırıcılardır ki, onlar effektiv qarışmanı və havanın dispersiya etməsini təmin edir.



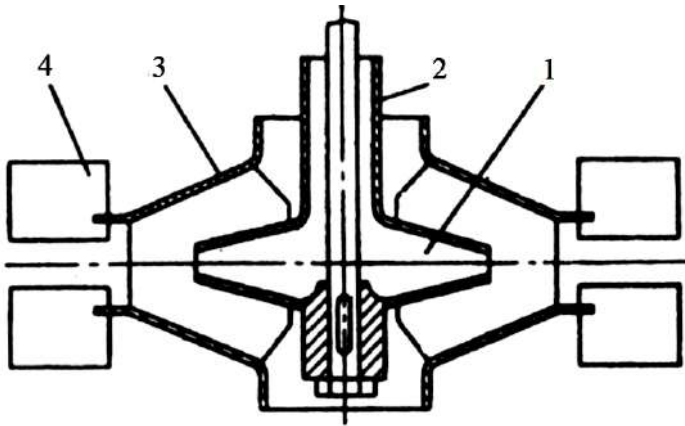
Şək.19.2. Fermentatorun sxemi:

1- mühərrik; 2- hava vermək üçün boru; 3- əksetdirici arakəsmə; 4- qarışdırıcı; 5- ilanvari boru; 6- köynək

Fermentatorun hündürlüyündən asılı olaraq aparatın hündürlüyü boyu bir neçə qarışdırıcı quraşdırıla bilər. Lazımi temperaturu saxlamaq üçün fermentatorda köynək nəzərdə tutulur ki, buraya soyuq su verilir.

Havanı özü sovuran qarışdırıcılar işlənilib hazırlanmışdır. Onlardan biri şəkil 19.3-də verilir.

Belə qarışdırıcılarda mayenin aerasiyası üçün eyni zamanda hava da verilir. Turbinin daxilində hava verən kanalla birləşən həlqəli ucluqlu boşluq yerləşir. Qarışdırıcı fırlandıqda turbinin daxilində boşluq yaranır, nəticədə hava atmosferdən qarışdırıcının daxili boşluğuna daxil olur və fermentasiya mayesində dispersiya edir.



Şək.19.3. Özü sovuran qarışdırıcı:

1- hava boşluğu; 2- hava verən qısa boru; 3- turbin; 4- kürek

Məhsulun fermentasiya mayesindən ayrılması, ekstraksiyası, buxarlandırılması – qatışdırılması və qurutması üçün avadanlıq kimya və qida sənayesində istifadə olunan avadanlıqlardan fərqlənir.

Yoxlama sualları

1. Biokimyəvi proseslər hansı proseslərdir? 2. Mikrobioloji sintez nə üçün istifadə edilir? 3. Sintez hansı aparatlarda yerinə yetirilir? 4. Biokimyəvi proseslərin əsas xüsusiyyətləri hansılardır? 5. Mikroorqanizmlərin böyüməsi neçə mərhələdən ibarətdir? 6. Bu mərhələlər hansılardır? 7. Aerasiya zamanı hansı proseslər baş verir? 8. Fermentasiya prosesində maye faza üçün kütləvermə tən-

liyi necə ifadə olunur? 9. Maye fazada kütləvermə əmsalı nədən asılıdır? 10. Fermentatorlardan çıxan havada oksigenin konsentrasiyası neçə faiz təşkil edir? 11. Dərin fermentasiyadan əvvəl hansı mərhələlər gəlir? 12. Fermentasiya aseptik şəraitdə nə qədər müddət ərzində aparılır? 13. Fermentatorun hansı hissələri vardır? 14. Fermentasiyada hansı qarışdırıcılar daha geniş yayılmışdır? 15. Özü sovuran qarışdırıcı hansı hissələrdən ibarətdir?

VI HİSSƏ. MEXANİKİ PROSESLƏR



Mexaniki proseslərə xırdalama, klassifikasiya və presləmə aiddir. Mexaniki proses zamanı materialın fiziki-kimyəvi xassələri dəyişmir, yalnız forması dəyişir.

FƏSİL 20 XIRDALAMA VƏ KLASSİFİKASIYA

20.1. Xırdalama üsulları

Xırdalama bərk materialların əzmə, qopartma, sürtmə və zərbə nəticəsində səthlərinin artması prosesinə deyilir.

Qida sənayesində xırdalanmadan bərk materialların səthini artırmaq üçün istifadə olunur ki, bu da meyvə-tərəvəzin emalında biokimyəvi və diffuziya proseslərinin sürətini artırır.

Xırdalama üsulu materialın iriliyindən və fiziki-mexaniki xassələrindən asılıdır. Təcrübədə kombinəedilmiş xırdalama üsulları tətbiq edilir. Xırdalama prosesləri parçalama (iri, orta, xırda), xırdalama (narın) və kəsmə üsullarına bölünür. Hissəciklərə xırdalayaaraq forma verilməsində kəsmədən istifadə olunur.

Xırdalayıcı maşınlarda iri kəltənlərdən başlayaraq hissəciklərin ölçüsü 0,1 mkm olan kolloid xırdalama yerinə yetirmək olar. Klassifikasiya – yekcins səpələnən materialın hissəciklərinin ölçülərinə görə ayrılma prosesidir. Xırdalama prosesi xırdalanma dərəcəsi ilə xarakterizə olunur, yəni materialın xırdalanmadan əvvəl və xırdalanmadan sonrakı ölçülərinin nisbəti ilə:

$$i = d_i / d_s . \quad (20.1)$$

Adətən, xırdalanmaya verilən və xırdalanan hissəciklər düz formada olmur. Təcrübədə hissəciklərin ölçüləri (d_i və d_s) material ələnən ələklərin ölçüləri ilə xarakterizə olunur.

Yüksək xırdalama dərəcəsi əldə etmək məqsədilə xırdalama prosesini ardıcıl quraşdırılmış maşınlarda yerinə yetirirlər.

İri hissəciklərin ilkin və son ölçülərindən asılı olaraq xırdalama aşağıdakı növlərə bölünür:

Xırdalama növləri	d_i , mm	d_s , mm
İri	1500...2000	250...25
Orta	200...25	25...5
Xırda	25...5	5...1
Narın	5...1	1...0,075
Kolloid	0,2...0,1	$1 \cdot 10^{-4}$ -ə qədər

İri və orta xırdalama quru üsulla, narın xırdalama isə yaş üsulla adətən, suda yerinə yetirilir. Yaş xırdalamada hissəciklərin ölçüləri bərabər olur. Bu zaman tozlanmanın qarşısı alınır və hazır məhsulun çıxarılması asanlaşır.

20.2. Xırdalamanın fiziki əsasları

Materialların xırdalanması əzmə, qopartma, zərbə və sürtünmə ilə yerinə yetirilir.

Xırdalanma metodunun seçilməsi xırdalanan materialların möhkəmliyindən və iriliyindən asılıdır. Möhkəm və kövrək materiallar əzmə və zərbə, möhkəm və özlü materiallar əzmə, orta möhkəmliyi olan özlü materiallar isə sürtmə, zərbə və qopartma üsulu ilə xırdalanır.

Xırdalama bir və ya bir neçə üsulla açıq və qapalı tsikllərdə (dövr) yerinə yetirilir.

Açıq tsikllə xırdalamada materialın parçaları xırdalayıcı maşından bir dəfə keçir. Əgər ilkin materialda xırda hissəciklər olarsa, onda onu əvvəlcə ələyirlər. Açıq tsikldə bir qayda olaraq iri və orta xırdalama aparılır. Qapalı tsikldə xırdalamada xırdalayıcı maşından sonra klassifikasiya qurğusu yerləşdirilir. Onun köməyi ilə son ölçüyə uyğun olmayan hissəciklər yenidən xırdalayıcı maşına verilir. Xırdalama prosesləri böyük enerji sərfinə malikdirlər. Xırdalanmaya sərf olunan enerji mövcud xırdalama nəzəriyyələrinədən təyin edilə bilər.

Səth nəzəriyyəsi ona əsaslanır ki, xırdalanmada iş materialın parçalanma səthi üzrə molekulyar cazibə qüvvəsini qət etməyə sərf olunur. Bu nəzəriyyəyə əsasən xırdalanmaya lazım olan iş xırdalanan materialın yeni yaranan səthinə mütənasibdir.

Həcm nəzəriyyəsi ona əsaslanır ki, xırdalanmada iş materialın hüdud parçalanma deformasiyası əldə edənə qədər materialın deformasiyasına sərf olunur. Burdan görünür ki, xırdalanmaya lazım olan iş parçalanmadan əvvəl materialın hissəciklərinin həcmnin azalması ilə mütənasibdir.

Xarici qüvvələrin tam işi Rebinder tənliyi ilə ifadə olunur:

$$A = A_d + A_p = K_1 \Delta V + K_2 \Delta F, \quad (20.2)$$

burada A_d - parçalanan hissəciyin həcmnin deformasiyasına sərf olunan işdir, Coul;

A_p - yeni səthin yaranmasına sərf olunan işdir, Coul;

K_1 - mütənasiblik əmsalı, cismin vahid həcmnin deformasiyasına sərf olunan işə bərabərdir;

ΔV - parçalanan cismin həcmnin dəyişməsi;

K_2 - mütənasiblik əmsalı olub, yeni vahid səthin yaranmasına sərf olunan işə bərabərdir;

ΔF - yeni yaranan səthin dəyişməsidir.

Huk qanununa əsasən sıxılmada materialın deformasiyasının işi (N·m) aşağıdakı kimi tapılır:

$$A_d = \frac{\sigma^2 \Delta V}{2E}, \quad (20.3)$$

burada σ - sıxılmanın parçalayıcı gərginliyi, N/m;

ΔV - parçalanmadan əvvəl deformasiya nəticəsində hissəciklərin həcmnin azalması, m³;

E - materialın elastiklik moduludur, N/m².

(20.3) tənliyindən görüldüyü kimi, materialın parçalanmasına sərf olunan iş parçalama gərginliyindən və elastiklik modulundan asılıdır. (20.3) nəzərə alaraq yazırıq:

$$A = \left[\sigma^2 \Delta V / (2E) \right] + K_2 \Delta F . \quad (20.4)$$

Kiçik xırdalanma dərəcəsi olan iri parçalamada yeni səthin yaranmasına sərf olunan işi nəzərə almamaq olar. Nəzərə alsaq ki, $\Delta V \sim D^3$ olarsa, onda

$$A = K_1 \Delta V = K'_1 D^3 , \quad (20.5)$$

burada D^3 - kəltənin xarakterik ölçüsüdür.

(20.5) tənliyi Kik-Kirpiçyov hipotezini ifadə edib parçalanma işi parçalanan kəltənin həcminə mütənasibdir.

Böyük xırdalanma dərəcəsi ilə parçalamada kəltənin deformasiyasına sərf olunan işi nəzərə almamaq olar, onda $\Delta F \sim D^2$ olmasını nəzərə alsaq:

$$A = K_2 \Delta F = K'_2 D^2 . \quad (20.6)$$

Bu tənlik Rettinger hipotezini ifadə edir, belə ki, parçalanma işi parçalanmada yaranan yeni səthin ölçüsünə mütənasibdir.

(20.2) tənliyindəki toplananları nəzərə almamaq mümkün olmadıqda aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$A = K_3 \sqrt{D^3 D^2} = K_3 D^{2.5} . \quad (20.7)$$

Bu tənlik Bond tənliyi adlanıb parçalanma işi onun həcmi və səthinin orta həndəsi qiymətinə mütənasibdir.

Kəsilməyə sərf olunan iş A_{tam} (Coul) (kəsilmə iki ardıcıl pillədən ibarətdir: əvvəl bıçaq materialı sıxır, sonra isə kəsir) akademik V.P.Qoryaçkinin düsturu ilə ifadə edilə bilər:

$$A_{tam} = A_{six} + A_f ,$$

burada A_{six} - materialın sıxılmasına sərf olunan iş, Coul; A_f - kəsmənin faydalı işidir, Coul.

Sıxılmaya sərf olunan iş

$$A_{six} = \mathcal{E}h_{six} ,$$

burada Θ - bıçaqla materialın sıxılmasının şərti moduludur, Coul;

$h_{sıx}$ - sıxılan layın hündürlüyü, m;

h - material layının ilkin hündürlüyüdür, m.

Faydalı iş

$$F_f = F_{kəs} (h - h_{sıx}),$$

burada $F_{kəs}$ - kəsmə qüvvəsidir.

Adətən, “xüsusi kəsmə qüvvəsi” anlayışından istifadə olunur, bu bıçağın 1 m uzunluğuna düşən qüvvədir. Belə ki, yerkökünün xüsusi kəsmə qüvvəsi 1400...1600 N/m, kartofun isə 600...700 N/m-dir. Kəsici alət kəsicilik qabiliyyəti ilə xarakterizə olunur ki, o istismar prosesində azalır.

Qida sənayesində müxtəlif formalı kəsici alətlərdən istifadə olunur: düzbucaqlı, diskli, lentli, oraş şəkili və s. Kəsici alətlər fırlanma, irəli-geri, titrəyişli hərəkətli olur, ancaq material maşın-da hərəkət etdikdə hərəkətsiz də ola bilər.

20.3. Xırdalayıcı maşınların konstruksiyaları və işi

Bütün xırdalayıcı maşınlar xırdalayanlara və dəyirmanlara bölünür. Xırdalayıcılar iri və orta xırdalanmada, dəyirmanlar isə orta, xırda, narın və kolloid xırdalanmada istifadə olunur.

Əsas xırdalayıcı maşınlar aşağıdakı tiplərə bölünür: şəkalı (yanaqlı), qırason, çəkicli və zərbə təsirli xırdalayıcılar; sürtgəc maşınlar; vallı dəyirmanlar bequnlar, kürəli oxlu dəyirmanlar, həlqəli, vibrasiyalı, kolloidli dəyirmanlar. Kəsici maşınlar lövhəli, diskli, rotorlu və simli olur. Xırdalayıcı maşınlara aşağıdakı tələbatlar qoyulur: xırdalanan materialın hissəciklərinin bərabərliyi; xırdalanan hissələrin işçi boşluqdan çıxarılması; tozlanmanın minimuma endirilməsi; fasiləsiz və avtomatik boşalma; xırdalanma dərəcəsinin nizamlanma mümkünlüyü; tez sıradan çıxan hissələrin asan əvəz edilməsi; məhsul vahidinə az enerji sərfi.

Şəkalı (yanaqlı) xırdalayıcılarda materialın xırdalanması konusvari kamerada əzmə və qoparma yolu ilə yerinə yetirilir. Hərəkət

kətli və hərəkətsiz lövhələrlə əmələ gələn konusvari kamerada lövhələr periodik olaraq yaxınlaşır. Əzilən material hərəkət edən lövhənin əks gedişində xırdalayıcıdan tökülür.

Xırdalayıcının konstruksiyası şəkil 25.1-də verilir. Xırdalayıcının yanaqları sürtünməyə davamlı poladdan hazırlanmış qabırğalı lövhələrlə təchiz olunur. Hərəkət edən yanaq hərəkətsiz oxda quraşdırılır və eksentrik valdan titrəyişli hərəkətə gətirilir. Bu hərəkət dəstəklərlə 12 yanaq və nizamlayıcı çüylərlə 8 və 11 şarnirli bağlanan sürgüqolunun köməyi ilə əldə olunur. Boltlar vasitəsilə çüyləri hərəkət etdirərək boşaldıcı deşiyin ölçüsünü və xırdalanma dərəcəsini nizamlayırlar. Dartı 13 və yay 9 vasitəsilə yanağın əks hərəkəti təmin olunur. Lövhələrlə və sürgüqolu ilə əmələ gələn dirsəkli dəstək xırdalayıcı qurğunun əsasını təşkil edir və yüksək təzyiqli əldə etməyə imkan verir.

Yanaqlı xırdalayıcı sadə və işdə etibarlıdır, ancaq onun silkələnən tarazlanmayan kütlələri onun ağır təməldə quraşdırılmasını tələb edir. Xırdalayıcının işi yüksək tozlanma və səslə, xırdalama prosesi isə kiçik hissəciklərin əmələ gəlməsi ilə müşahidə olunur.

Yanaqlı xırdalayıcının əsas iş parametrləri yanaqlar arasına bucaq, yəni ilişmə bucağı, valın fırlanma tezliyi, məhsuldarlıq və enerji sərfidir.

Xırdalanma dərəcəsi ilişmə bucağının α qiymətindən asılıdır, bucaq artdıqca xırdalanma dərəcəsi artır. Kameraya daxil olan materialın hissələri oradan xırdalanma zamanı çıxması üçün $\alpha < 2\varphi$ şərti ödənməlidir, burada φ - materialın sürtünmə bucağıdır. Adətən, ilişmə bucağı $15...22^\circ$ olur.

Yanağın soldan sağa hərəkət etmə müddəti n fırlanmada $\tau = 30/n$ olur. Bu müddətdə material xırdalayıcı kamerada

$$S = g\tau^2 / 2 = (g/2)(30/n)^2 = 450g/n^2$$

yolunu keçir. Əgər yanağın gedişi l sm olarsa, onda xırdalayıcı kamerada materialın hündürlüyü $h = l/tg\alpha$. Materialın ağırlıq qüvvəsinin təsirindən boşalması $l/tg\alpha \leq 450g/n^2$ şərtində baş verəcəkdir. Yanağın ikiqat silkələnmələrinin sayı n (dəq⁻¹):

$$n \leq \sqrt{\frac{450g \cdot \operatorname{tg} \alpha}{l}}. \quad (20.8)$$

$\alpha = 22^\circ$ olduqda xırdalayıcının məhsuldarlığı (t/saat) aşağıdakı tənliklə hesablanır:

$$Q = 0,15 \mu d_{or} l b n \rho_b, \quad (20.9)$$

burada μ - xırdalanan materialın yumşalma əmsalı

($\mu = 0,2 \dots 0,65$; adətən $0,3$);

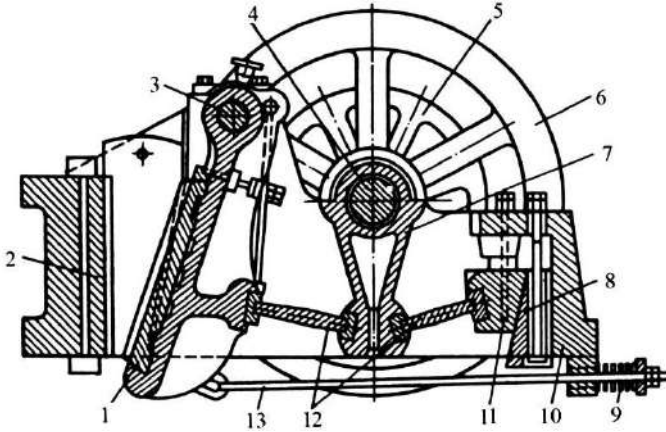
d_{or} - xırdalanan materialın hissəciklərinin orta ölçüsü, sm;

l - yanağın gedişi, sm;

b - boşaldıcı yarığın uzunluğu, sm;

n - 1 dəqiqədə ikiqat silkələnmələrin sayı;

ρ_b - materialın sıxlığıdır, kq/sm³.

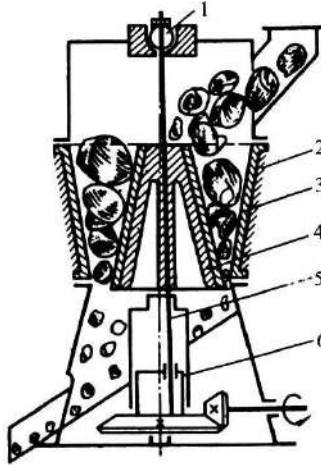


Şək.20.1. Yanaqlı xırdalayıcı:

1- hərəkət edən yanaq; 2- hərəkətsiz yanaq; 3- hərəkət edən yanağın oxu; 4- eksentrik valı; 5- qasnaq; 6- nazim çarx; 7- sür-güçölü; 8, 11- nizamlayıcı çüylər; 9- yay; 10- özül; 12- dəstək; 13- dartı

Enerji sərfi 1 t/saat məhsuldarlığında 400...1500 Vt qəbul edilir.

Qirasion (konuslu) xırdalayıcılar iri, orta və kiçik xırdalanmada istifadə olunur. Xırdalanma materialın konusvari xırdalayıcı başlığı və kəsik konus formasında olan korpusu arasında baş verir (şək. 25.2).



Şək.20.2. Qirasion xırdalayıcı:

- 1- kürəli dayaq; 2- korpus; 3- zirehli lövhə; 4- başlıq;
5- şaquli val, 6- eksentrik

Xırdalayıcı başlıq korpusda eksentrisitetlə quraşdırılıb, nəticədə o eksentriki fırlanma hərəkəti yerinə yetirir. Xırdalayıcı başlıq korpusun bir tərəfinə yaxınlaşdıqda xırdalanmış material bu zaman əks tərəfdə genişlənən korpus və başlıq arasındakı həlqəvi yarıqdan tökülür.

Çəkicli xırdalayıcılar qarışıq yem, yem istehsalında, sümüklərin xırdalanmasında istifadə olunur. Çəkicli xırdalayıcı zərbəli xırdalayıcılara aiddir. Bu xırdalayıcılarda xırdalayıcı orqan olan billər yüksək sürətlə fırlanaraq materialı xırdalayır. Materialın çıxışında ələk quraşdırılır.

Şəkil 20.3-də çəkicli xırdalayıcının sxemi verilmişdir. Bu xırdalayıcının işçi orqanları oxlarda 3 sərbəst yerləşən çəkilərdir. Xırdalayıcının vala fırlandıqda çəkilər radial vəziyyəti alır və qidalandırıcıdan yüklənən materiala zərbə endirir. Material ələk-

dən 4 boşaldılır, ələyin dəşiklərinin ölçüsü məhsulun hissəciklərinin ölçüsünü təyin edir. Çəkicli xırdalayıcının sürəti yüksək olmalıdır ki, zərbə zamanı materialın parçalanmasını təmin etsin. Bu sürət aşağıdakı bərabərlikdən tapıla bilər:

$$m(w_2 - w_1) = P\tau, \quad (20.10)$$

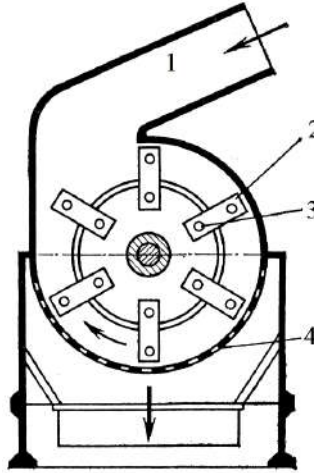
burada m - xırdalanan hissəciyin kütləsi, kq;

w_2 - hissəciyin çəkicə dəydikdən sonrakı sürəti, m/san;

w_1 - hissəciyin çəkicə dəyməzdən əvvəlki sürəti, m/san;

P - hissəciyin ilkin parçalanmasına tələb olan zərbə qüvvəsi, N;

τ - zərbənin müddəti, $\tau = 1 \cdot 10^{-5}$ san. qəbul oluna bilər.



Şək.20.3. Çəkicli xırdalayıcı:

1- qidalandırıcı; 2- çəkiclər; 3- oxlar; 4- ələk

w_1 – in qiyməti w_2 – dən nisbətən az olduğundan qəbul etmək olar ki,

$$mw^2 = P\tau.$$

Göründüyü kimi, w_2 – çəkicin çevrə sürətinə bərabərdir. Buradan

$$w_2 = P\tau / m . \quad (20.11)$$

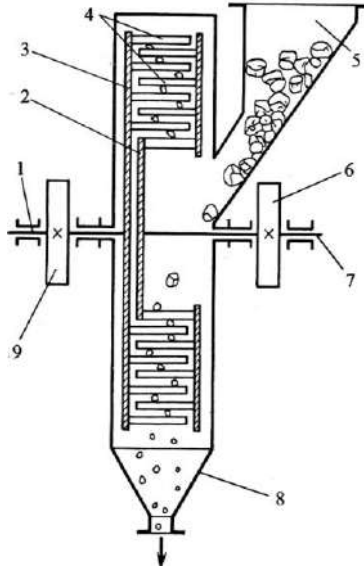
Buğda dəninin kütləsi $2,94 \cdot 10^{-5}$ kq, parçalama qüvvəsi $P = 118\text{N}$, çevrə sürəti

$$w = (118 \cdot 10^{-5}) / (2,94 \cdot 10^{-5}) = 40 \text{ m/san.}$$

Praktiki olaraq sürət bir qədər artıq 70-90 m/san qəbul olunur, çünki zərbə zamanı dənin yalnız ilkin parçalanması deyil, həm də tam parçalanması baş verməlidir.

Dezintegratorlar və dismembratorların disklərində billər-barmaqlar yerləşir. Bir diskin barmaqlarının hər bir sırası, digər diskin barmaqlarının iki sırası arasında kiçik ara məsafəsi ilə yerləşdirilir (şək.20.4).

Disklər yüksək sürətlə əks istiqamətdə fırlanır. Material qıf 5-dən daxil olaraq billərin zərbəsindən xırdalanır. Xırdalanmış material korpusdan boşaldıcı qıf 8 vasitəsilə çıxarılır.



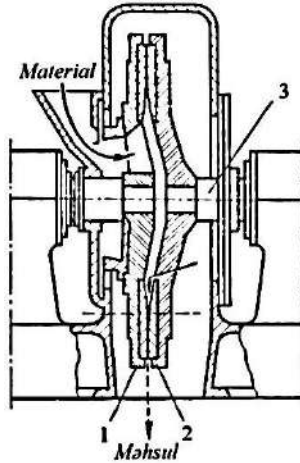
Şək.20.4. Dezintegratorun sxemi:

1, 7- vallar; 2, 3- disklər; 4- barmaqlar (billər); 5, 8- yükləyici və boşaldıcı qıflar; 6, 9- qasnaqlar

Diskin fırlanma tezliyi 200-1000 dövr/dəqiqədir. Dezinteqratorun məhsuldarlığı müxtəlif olur və saatda bir neçə tona çata bilər. Dezinteqratorlarda material güclü mexaniki təsirə məruz qalır. Zərbənin sürəti 300 m/san-yə çatır.

Dismembratorlar dezinteqratorlardan fərqli olaraq diskin biri fırlanan diskli olur. İkinci diskin üzərində barmaqlar-billər yerləşir və o dəyirmanın qapağı funksiyasını yerinə yetirir.

Diskli dəyirmanlar dənin, jmixın, suxarının narin xırdalanması üçün istifadə olunur (şək.20.5). Bu xırdalayıcıda materialın parçaları iki rifli diskin arasına daxil olur. Disklərin biri hərəkətsiz 1, digəri fırlanan 2 olur. O, üfüqi val 3 üzərində fırlanır. Fırlanan disk nizamlayıcı qurğu vasitəsilə üfüqi istiqamətdə hərəkət edə bilər və bununla da xırdalama dərəcəsini dəyişmək olar. Diskin sürəti dənin xırdalanmasında 7-8 m/san olur.

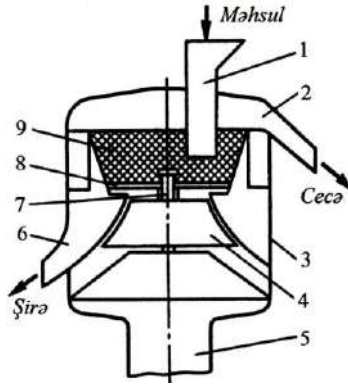


Şək.20.5. Diskli xırdalayıcı:

1, 2- disklər; 3- üfüqi val

Meyvə və giləmeyvələrin xırdalanması və sonra şirəsinin ayrılması üçün sentrifüqalı xırdalayıcı maşınlardan istifadə olunur. Onlardan birinin konstruksiyası şəkil 20.6-da verilmişdir. Korpusda vala diskli sürtgəc quraşdırılır və konusvari rotorla hərəkətə gətirilir. Xammal yükləyici qıfndan səbətə yüklənir. Səbətin divar-

ları tor şəklində hazırlanmış filtrləyici səth funksiyasını yerinə yetirir.



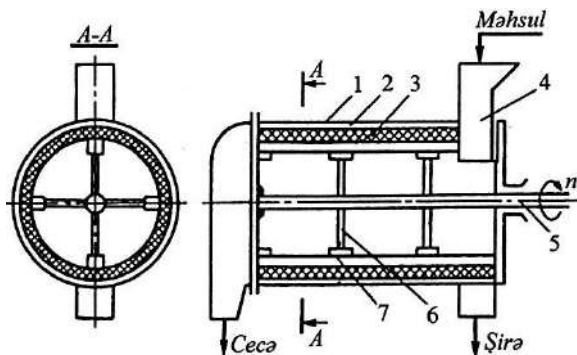
Şək.20.6. Meyvə və giləmeyvə xırdalayıcı maşın:

1- qıf; 2- cecə çıxarmaq üçün qısa boru; 3- korpus; 4- rotor; 5- mühərrik; 6- şirə çıxarmaq üçün qısa boru; 7- val; 8- xırdalayıcı disk; 9- səbət

Xırdalanmış kütlə mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən şirəyə və cecəyə ayrılır. Şirə fırlanan səbətin torlarından keçərək filtrlənir və həlqəvi məsafəyə daxil olaraq oradan çıxarıcı qısa boru vasitəsilə xırdalayıcıdan kənarlaşdırılır.

Sürtgəcli maşınlarda meyvə və tərəvəzlərin şirəsi sürtgəcli ələklərdə sürtülərək ayrılır. Sürtgəcli maşın bir və ya bir neçə sürtgəcli kameradan ibarətdir. Şəkil 20.7-də üfüqi sürtgəcli bir kameralı maşın göstərilir. Kamera daxilində perforasiya olunmuş metal şəbəkəli silindrik korpusdan ibarətdir. Şəbəkə elə quraşdırılır ki, onun və korpusun arasında həlqəvi kanal əmələ gəlir. Korpusun oxu boyu sürtgəc kürəkləri olan rotor yerləşir. Kürəklər və şəbəkə arasında olan məsafədə zərbə və sürtünmə nəticəsində materialın xırdalanması, rotorun kürəklərinin yaratdığı təzyiq hesabına sürtgəcdən keçmə baş verir.

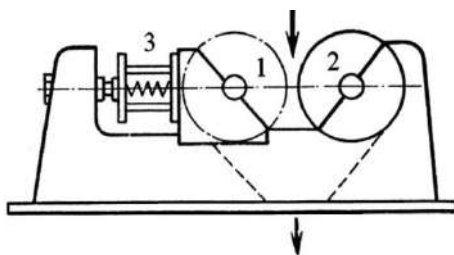
İki sürtgəcli kameralı maşınlarda xammalın daha yüksək xırdalanması əldə olunur, çünki ikinci kamerada kiçik deşikli şəbəkə quraşdırılır.



Şək.20.7. Sürtgəcli maşın:

1- korpus; 2- həlqəvi kanal; 3- şəbəkə; 4- qıf; 5- rotor;
6- ox; 7- kürək

Vallı xırdalayıcılar qida istehsalında dənin, jmixın və s. xırdalanması və üyüdülməsi üçün istifadə olunur. Vallı xırdalayıcının işçi orqanları üfüqi vallardır. Valların sayı müxtəlif ola bilər. Sadə xırdalayıcı bir vallı olaraq hərəkətsiz işçi yanağa paralel ox ətrafında fırlanır. Bu halda xırdalanma hərəkətsiz yanaq və fırlanan val arasında baş verir. Cüt vallı xırdalayıcılarda vallar qarşı-qarşıya fırlanır ki, xırdalama onların arasında yerinə yetirilir. Valların səthləri hamar, rifli və dişli olur. Şəkil 20.8-də vallı xırdalayıcının sxemi verilir.



Şək.20.8. Vallı xırdalayıcı:

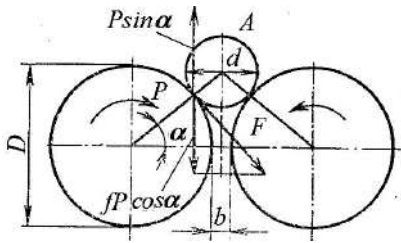
1, 2- vallar; 3- yay

Val 2-nin yastıqları hərəkətsizdir, val 1-in yastıqları isə hərəkətlidir və yay 3-ün köməyi ilə xırdalayıcıya bərk cisimlər daxil

olduqda val 1-ə hərəkət etməyə imkan verir. Məhsulun hissəciklərinin ölçüləri valların ara məsafəsi ilə təyin olunur. Xırdalayıcı bilavasitə bunkerdən qidalanır.

Vallar fırlandıqda materialın hissəcikləri onlarla tutulmalı və parçalanmalıdır. Materialın tutulması üçün valların diametri və hissəciyin ölçüləri arasında müəyyən uyğunluq olmalıdır.

Fərz edək ki, vallar hamar olmaqla eyni fırlanma tezliyinə malikdir (şək.20.9). A hissəciyi tərəfindən vala P qüvvəsi təsir edir – ağırlıq qüvvəsi; val tərəfindən isə hissəciyə uyğun olaraq P qüvvəsi təsir edir.



Şək.20.9. Vallı xırdalayıcının iş sxemi

Bu qüvvənin şaquli toplananı $P \sin \alpha$ hissəciyi üstədən itələyərək çıxarır. Belə bir qüvvə ikinci val tərəfindən də təsir edir, demək itələyən qüvvələr $2P \sin \alpha$ -ya bərabərdir. Sürtünmə qüvvəsi $2fP$ təşkil edəcək, onun şaquli proyeksiyası isə $2fP \cos \alpha$ olacaqdır, burada f - sürtünmə əmsalıdır. Bu qüvvə aşağı yönəlib hissəcikləri vallar arasına çəkir. Hissəciyin vallar arasına keçməsi üçün aşağıdakı şərt yerinə yetirilməlidir.

$$2P \sin \alpha < 2fP \cos \alpha \text{ və ya } \operatorname{tg} \alpha < f . \quad (20.12)$$

Ancaq sürtünmə əmsalı f sürtünmə bucağının tangensinə bərabər olduğu üçün $\operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi$, burada φ - xırdalanan məhsulun valın materialına sürtünmə bucağıdır.

Xırdalanan dən materialları üçün sürtünmə bucağı $\varphi = 12 - 21^\circ$, sürtünmə əmsalı 0,213-0,384 (çuqun vallarda) olur.

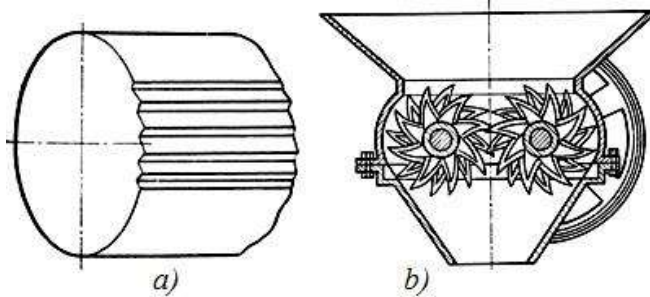
Şəkil 20.9-dan görünür ki, α qiyməti valın diametrindən D , materialın ölçüsündən d və yarığın enindən b asılıdır. Qəbul etmək olar ki,

$$D_{\min} = (d - b)(1 - \cos \varphi). \quad (20.13)$$

Təcrübədə dən əzən hamar valların diametri 250-350 mm olur. Əgər cüt valların fırlanma tezliyi eyni olarsa, onda material yalnız əzilir və yastılanır. Xırdalanma baş verməsi üçün valların fırlanma tezlikləri 1/1,3-1/2,5 nisbətlərində müxtəlif olmalıdır. Dənin xırdalanmasında valların çevrə sürəti 2,5-5 m/san olur.

Dənin üyüdülməsində riflənmiş səthli vallardan istifadə olunur (şək.20.10,*a*). Belə vallar materialı sıxaraq parçalayır. Hamar vallardan fərqli olaraq onların ilişmə bucağı başqadır. Əgər hamar vallarda $D/d = 20 \div 25$, riflilərdə isə $D/d = 10 \div 12$ olur.

Xırdalanmada riflilərdən başqa dişli vallardan da istifadə olunur. Şəkil 20.10,*b*-də dişli valları olan xırdalayıcı verilir. Bu xırdalayıcılarda $D/d = 2 \div 5$.



Şək.20.10. Riflənmiş (oyuqlu) val (a) dişli valı xırdalayıcı (b)

Vallı xırdalayıcının məhsuldarlığı aşağıdakı kimi təyin edilə bilər. Xırdalayıcının yarığından çıxan materialın həcmi (m^3 /saat),

$$V = bl \cdot \pi Dn \cdot 60, \quad (20.14)$$

burada l - yarığın və ya xırdalayıcının valının uzunluğu, m;

D - valın diametri, m;

n - fırlanma tezliyi, dövr/dəq;

b - yarığın enidir, m.

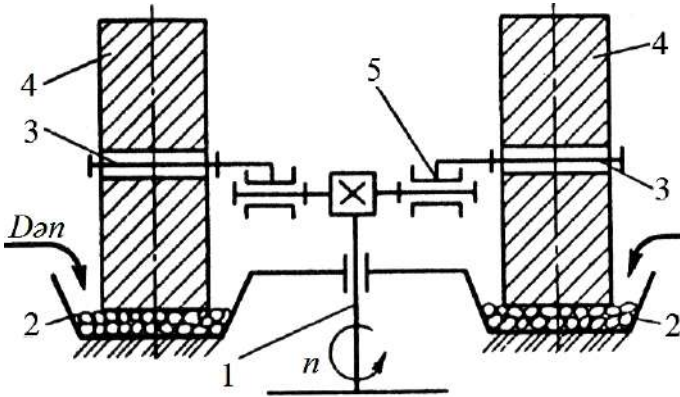
Xırdalayıcının saatlıq məhsuldarlığı

$$m_s = bl \cdot \pi Dn \cdot 60 \rho \varphi, \quad (20.15)$$

burada ρ - materialın sıxlığı, kq/m³;

φ - qidalanmanın bərabərsizliyini nəzərə alan əmsaldır
(dənlər üçün 0,5...0,7 qəbul edilir).

Vərdənəli dəyirman iki vərdənədən və dən yüklənən çəndən ibarətdir (şək.20.11). Vərdənələr şaquli vala bərkidilir və onunla birgə fırlanırlar. Bundan başqa vərdənələr çəndə olan materialın və vərdənələrin səthinin arasında yaranan sürtünmə hesabına üfüqi oxların ətrafında fırlanır. Dənin üzərində vərdənə hərəkət etdikdə üyüdülmə baş verir.



Şək.20.11. Vərdənəli dəyirman:

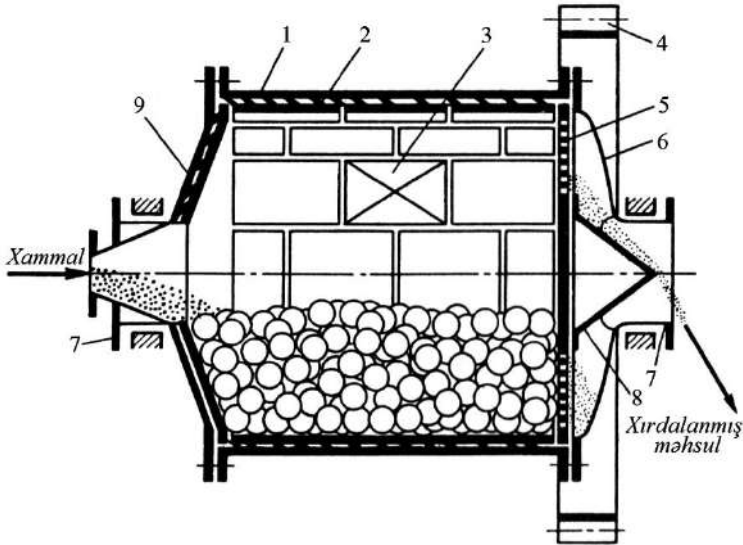
- 1- şaquli val; 2- çən; 3- üfüqi oxlar; 4- vərdənələr;
5 - sürgüqolu

Vərdənəli dəyirmanlar hərəkəti intiqaldan alaraq fırlanan çənli və sərbəst fırlanan vərdənəli, fırlanmayan çənli və intiqaldan hərəkət alan vərdənəli olur.

Fırlanan çənli vərdənəli dəyirmanların sürəti 20...50 dəq⁻¹-dir.

Xırdalanmış materialın boşaldılması mərkəzdənqaçma qüvvəsi hesabına avtomatik olaraq yerinə yetirilir.

Kürəli və oxlu dəyirmanlar yalnız narın xırdalamada istifadə olunur. Xırdalanma dəyirmanının korpusuna doldurulmuş kürələrin və ya oxların materialla arasında yaranan zərbə və sürtünmə nəticəsində baş verir. Dəyirmanın korpusu fırlandıqda kürələr müəyyən hündürlüyə qalxaraq mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə korpusa sıxılır. Kürələr düşdükdə arada qalan material xırdalanır. Kürəli dəyirmanı kürələr və material eyni vaxtda yüklənir (şək.20.12).



Şək.20.12. Kürəli dəyirman:

1- barabanın korpusu; 2- zirehli lövhə; 3- lyuk; 4- ötürücü çarx; 5- şadara; 6- qapaq; 7- içi boş sapfa; 8- istiqamətləndirici konus; 9- qapaq

Kürələr poladdan, farfordan və başqa möhkəm materiallardan hazırlanır. Kürələrin ölçüləri xırdalanan materialın ölçülərindən asılıdır. Polad kürələrin diametri 35...175 mm olur. Dəyirmanın korpusunun həcmi 30...35% kürələrlə doldurulur. Kürə dəyirmanının korpusu ilə fırlanmaması və ondan qopması üçün onun ağırlıq

qüvvəsi və ya çəkisi mərkəzdənqaçma qüvvəsindən böyük olmalıdır.

$$P < G$$

$$P = m\omega^2 r,$$

burada m - kürənin kütləsi, kq;

ω - xırdalayıcının barabanının fırlanmasının bucaq sürəti, rad/san;

r - kürənin fırlanma radiusudur, m.

Fırlanma tezliyi n (dövr/dəq) olduqda

$$\omega = \pi n / 30.$$

Onda mərkəzdənqaçma qüvvəsi

$$P = m(\pi n / 30)^2 r.$$

$P < G$ olduğundan

$$m = (\pi n / 30)^2 r < G,$$

buradan $r = D/2$ qəbul etsək, alarıq

$$m(\pi n / 30)^2 D/2 < G,$$

burada D - barabanın diametridir.

$G/m = 9,81$ qəbul etsək

$$n < 42,4 / \sqrt{D} \quad (20.16)$$

Demək, kürənin barabanla birgə fırlanmaması üçün fırlanma tezliyi $42,4 / \sqrt{D}$ dövr/dəq-dən az olmamalıdır.

Praktiki olaraq $n = 32 / \sqrt{D}$ dövr/dəq qəbul olunur.

Kürələrlə yanaşı silindrik oxlardan da istifadə olunur. Onları korpusda elə yerləşdirirlər ki, onların oxları korpusun oxuna paralel olsun. Kürəli dəyirmanlara daxil olan material əvvəlcədən 50-60 mm ölçüyə kimi xırdalanmalıdır.

Dəyirmanın məhsuldarlığı Q (t/saat) aşağıdakı təxmini düsturla təyin edilir:

$$Q = VKD^{0,6} \quad (20.17)$$

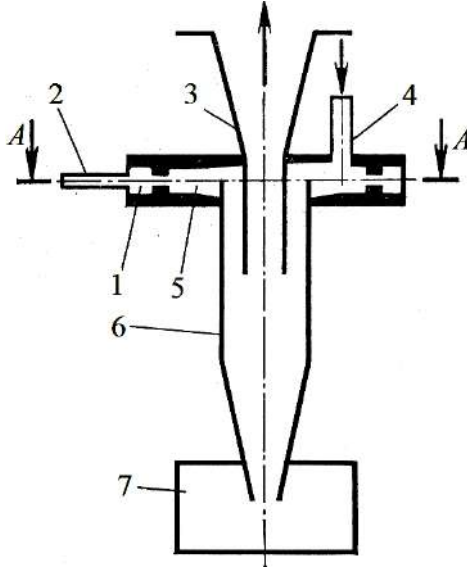
burada V - barabanın həcmi, m^3 ;

K - ilkin materialın orta ölçülərindən asılı olan mütənasiblik əmsəlidir, $K = 0,41 \dots 1,31$ və xırdalanmış materialın orta ölçüsü artdıqca K artır.

Şırnaqlı xırdalayıcılar narın və çox narın xırdalamada istifadə olunur. Xırdalanma yüksək sürətlə verilən hava şırnağının, çox doymuş buxarın və təsirsiz qazın enerjisi hesabına baş verir. Ucluqdan yüksək sürətlə verildikdə material hissəciklərini özləri ilə apararaq radial lövhələrə zərbə ilə vuraraq xırdalayır. Şəkil 20.13-də şırnaqlı xırdalayıcının sxemi verilir. Enerji daşıyıcı boru 2 ilə həlqəvi paylayıcı kollektora 1 daxil olur. Kollektora birləşdirilmiş ucluqlardan 5 qaz (buxar) şırnaqları səs sürətinə bərabər olan sürətlə üyüdücü —ayırıcı kameraya 7 axır. Ucluqların oxları kameranın radiusuna nisbətən bucaq altında yerləşir. Xırdalanmış material üyütmə kamerasına ejetor vasitəsilə boru 4-dən keçərək daxil olur.

Üyütmə kamerasına daxil olan hissəciklər şırnağın enerjili təsirinə məruz qalır, bir-birinə dəyərək xırdalanır. Xırdalanmış material siklona daxil olur, oradan da qəbul kamerasına yığılır. Qəbul kamerasına xırdalanmış materialın 80% daxil olur, qalan 20% siklondan aparılır və onların tutulması üçün toz tutucuları olan siklonlar və filtrlər quraşdırılır.

Şırnaqlı dəyirmanların aşağıdakı üstünlükləri var: yüksək effektivli xırdalama, fırlanan hissələrin olmaması, xırdalanma prosesinin digər proseslərlə, yəni qurutma, köçürmə, ekstraksiya ilə eyni vaxtda yerinə yetirilməsi.



Şək.20.13. Şırnaqlı dəyirman:

1- paylayıcı kollektor; 2, 4- xırdalanacaq materialı vermək üçün borular; 3- işlənmiş enerji daşıyıcısını çıxarmaq üçün boru; 5- ucluq; 6- siklon; 7- xırdalanmış material üçün qəbul kamerası

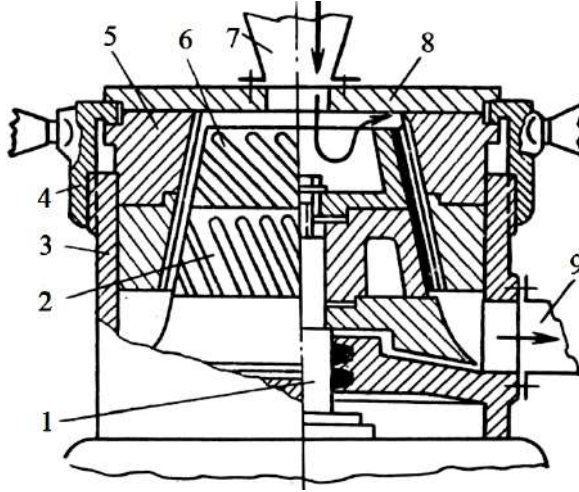
Ancaq şırnaqlı xırdalanma nisbətən çox enerji sərfinin və dayanıqlı aerodinamiki iş rejiminin yaranmasını tələb edir. Qida sənayesində efir yağı xammalının emalında uçucu komponentlərin ondan ayrılmasında istifadə edilməsi tövsiyə edilir.

Vibrasiyalı dəyirmanlar narın xırdalanma üçün nəzərdə tutulur. Dəyirman 70% xırdalayıcı cisimlərlə (məsələn, kürələrlə) doldurulmuş barabandan ibarətdir. Barabanın daxilində kürələrə və xırdalanan məhsula vibrasiya ötürən vibrator yerləşir. Belə dəyirmanın işləmə intensivliyi titrəyişlərin tezliyindən və amplitudundan asılıdır. Adətən, titrəyişlərin tezliyi $1500...2500 \text{ dəq}^{-1}$, amplitudu 2...4 mm təşkil edir.

Kolloidli dəyirman suspenziyaların çox narın xırdalanması üçün istifadə olunur. Xırdalanmış hissəciklərin yapışması baş verməsinə deyərək xırdalanma dispersiya edən mühitdə aparılır, məsələn,

maye və qaz. Bu dəyirmanlar pasta və emulsiya hazırlanmasında istifadə olunur.

Şəkil 20.14-də konuslu kolloidli dəyirman verilib. Bu aparatın əsas hissələri korpusta 3 yerləşən stator 5 və konuslu rotordur.



Şək.20.14. Konuslu kolloidli dəyirman:

1-val; 2-rotor; 3- korpusta; 4- qayka; 5- stator; 6- yarıqlar;
7- qəbul qıfı; 8- qapaq; 9- çıxaran ştuser

Rotor və statorun üzərində maili yarıqlar 6 olur. Rotor və statorun yarıqları əks istiqamətə yönəlir. Stator korpusta qayka 4 ilə bərkidilir. Material aparata qapaq 8-də yerləşən qıfdan 7 daxil olur. O rotor və stator arasındakı yarığa daxil olur və xırdalandıqdan sonra ştuserdən 9 çıxarılır. Rotor və statorun arasındakı yarıq qayka 4 ilə dəyişə bilər. Yarığın ölçüsü çox kiçik – 0,05 mm-ə qədər olur və rotor 105 m/san çevrə sürəti ilə fırlanır.

Yoxlama sualları

1. Mexaniki proseslərə hansı proseslər aiddir? 2. Mexaniki proses zamanı materialın hansı xassəsi dəyişir? 3. Xırdalanma hansı məqsədlə yerinə yetirilir? 4. Xırdalama üsulu materialın hansı xassələrindən asılıdır? 5. Klassifikasiya

nədir? 6. Xırdalama hansı növlərə bölünür? 7. Xırdalanmada hansı nəzəriyyə-
lərdən istifadə olunur? 8. Xarici qüvvələrin tam işi hansı tənlik ilə ifadə olunur?
9. Sıxılmada materialın deformasiyasının işi hansı qanuna əsasən tapılır? 10.
Materialın parçalanmasına sərf olunan iş nədən asılıdır? 11. Kik-Kirpiçyov hi-
potezi necə ifadə olunur? 12. Rettinger hipotezini ifadə edən tənlik necə ya-
zılır? 13. Bond tənliyi necə ifadə olunur? 14. Qida sənayesində hansı xırdalama
sxemlərindən istifadə olunur? 15. Qida sənayesində hansı xırdalayıcılardan isti-
fadə olunur? 16. Xırdalayıcı maşınlar hansı tiplərə bölünür? 17. Xırdalayıcı
maşınlara hansı tələbatlar qoyulur? 18. Dənin xırdalanması və üyüdülməsi üçün
hansı dəyirmanlardan istifadə olunur?

FƏSİL 21

KƏSMƏ

Kəsmə - qida sənayesinin əsas texnoloji proseslərindən biridir. Müxtəlif materiallar kəsməyə məruz qalır: qənnadı sənayesində konfet kütləsi, çörək bişirmə istehsalında xəmir kütləsi; konserv istehsalında meyvə və tərəvəz; şəkər istehsalında şəkər çuğunduru, ət sənayesində ət və s.

Bu materialların fiziki-mexaniki xassələri müxtəlif olduğundan kəsmə metodları, kəsici alətlər, kəsmə sürəti, kəsici qurğular da müxtəlifdir.

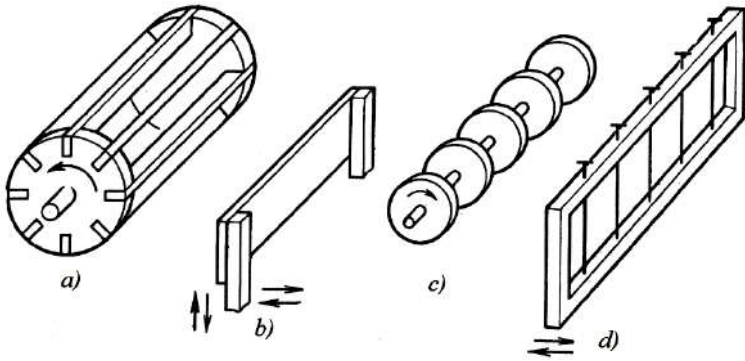
Kəsən maşınlarla olan əsas tələbatlar aşağıdakılardır:

- onlar yüksək məhsuldarlığa malik olmalı;
- məhsulun yüksək məhsuldarlığını və dayanıqlığını təmin etməli;
- asan istismar, minimal enerji sərfi və yaxşı sanitariya halını təmin etməli, kiçik qabaritli olmalıdır.

21.1. Kəsici qurğuların təsnifatı

Qida materiallarını kəsən qurğular aşağıdakı xassələrə görə qruplara bölünür:

1. Təyinatına görə:
 - kövrək, bərk, elastik – özlü – plastiki və qeyri-yekcins materialları kəsmək üçün;
2. Təsir prinsipinə görə:
 - periodik, fasiləsiz və kombinə edilmiş;
3. Kəsici alətin növünə görə:
 - lövhəli, diskli, simli, rotorlu, şırnaqlı, ultrasəsli, lazerli;
4. Kəsici alətin hərəkətinin xarakterinə görə:
 - fırlanan, irəli-geri, səthi paralel, çevrilən, vibrasiyalı;
5. Materialın hərəkətinə və onun bərkidilməsinə görə.
Şəkil 21.1-də kəsici alətlərin bəzi növləri verilir (rotorlu, gilotinli, diskli, simli).



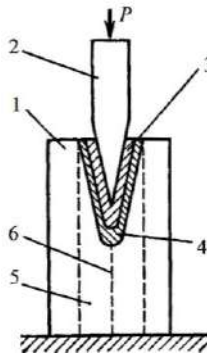
Şək.21.1. Kəsici alətlərin növləri:

a- rotor; *b*- gilotinli bıçaq; *c*- diskli bıçaq; *d*- simli

21.2. Kəsmə nəzəriyyəsi

Kəsmənin təyinatı materiala ayırma yolu ilə verilən forma, ölçü və keyfiyyətli səth verməkdir.

Şəkil 21.2-də materialın kəsilmə sxemi verilir.



Şək.21.2. Materialın kəsilmə sxemi:

1- kəsilmə materialı; 2- kəsici alət; 3- plastik deformasiya zonası; 4- elastik deformasiya zonası; 5- sərhəd zonası; 6- parçalanma xətti

Kəsmə zamanı sərhəd layının parçalanması nəticəsində material hissələrə ayrılır. Parçalanmadan əvvəl elastik və plastik defor-

masiya baş verir. Bu deformasiya növləri kəsici alətə qüvvə tətbiq edilməsi səbəbindən baş verir. Gərginlik materialın müvəqqəti müqavimətinə bərabər olduqda baş verir.

Kəsmədə iş elastik və plastik deformasiyaların yaranmasına, həmçinin alətin kəsilən məhsula sürtünməsinə fəth etməsinə sərf olur.

Kəsmədə işi nəzəri olaraq aşağıdakı kimi tapmaq olar.

Uzunluğu 1 m olan bıçağa tətbiq edilən lazım olan qüvvəni P (N/m) kimi qəbul edək. Sahəsi $l \times l$ olan materialın kəsilməsinə sərf olunan iş (Coul)

$$A = (Pl)l = Pl^2.$$

İşi 1 m²-ə görə qəbul etsək, xüsusi kəsmə işini alırıq (Coul/m²).

Cədvəl 21.1-də P -nın qiymətinə uyğun bəzi materialların xüsusi kəsmə işinin qiyməti verilir.

Cədvəl 21.1

Müxtəlif materiallar üçün P və A_{xus} qiymətləri

Material	P , N/m	A_{xus} , Coul/m ²
Yerkökü	1380-1570	1380-1570
Çuğundur	885-1580	885-1580
Kartof	690-685	590-685

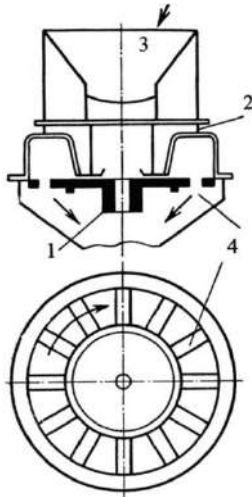
21.3. Əsas doğrayıcıların tipləri

Çuğundur və tərəvəz doğrayan. Şəkər zavodlarında çuğundur doğrayaraq nov və ya lövhə şəkilli yonqarlar əldə edirlər. Konserv istehsalında yerkökü, çuğundur, kartof və s. doğranır.

Doğrayıcıların təsiri kəsici alətlərin, yəni bıçaqların və materialın nisbi hərəkətinə əsaslanır. Bu nisbi hərəkət müxtəlif üsullarla baş verir.

Əsas doğrayıcılar diskli və mərkəzdənqaçma tipli olurlar. Çuğunduru kəsmək üçün diskli doğrayıcı şəkil 21.3-də verilir. O üzə-

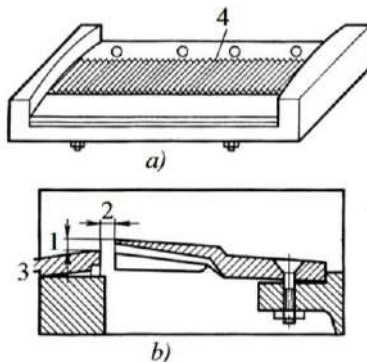
rində yarıqları olan üfüqi fırlanan diskdən və onun üzərində yerləşən hərəkətsiz barabandan ibarətdir.



Şək.21.3. Diskli doğrayanın sxemi:

1- disk; 2- hərəkətsiz baraban; 3- örtük; 4- bıçaq çərçivələri

Diskin yarıqlarında bıçaqlı çərçivələr quraşdırılır (şək.21.4) və disk şaquli valda 70 dövr/dəq tezliklə fırlanır. Bıçaqların orta xətti sürəti 8 m/san-dir.



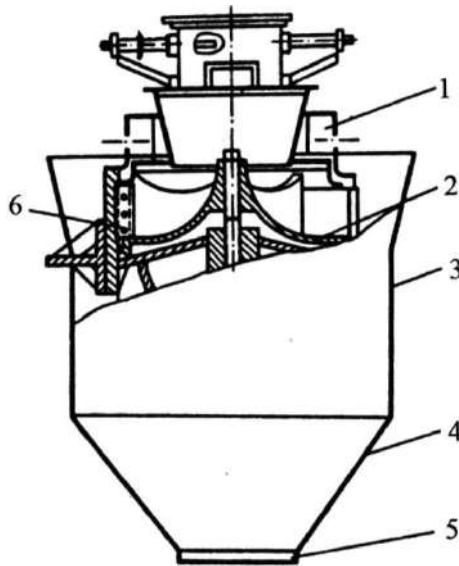
Şək.21.4. Bıçaqlı çərçivə:

a- bıçaq çərçivəsi; *b*- bıçağın çərçivədə yerləşmə sxemi:

1- bıçağın qalxması; 2- araboşluğu; 3- lövhə; 4- bıçaq

Baraban çuğundurla doldurulur. Diskin fırlanması zamanı çuğundur ağırlıq qüvvəsinin təsirindən bıçaqlara sıxılaraq yonqarlar şəklində doğranır. Yonqarların forması bıçaqların formasından asılı olur.

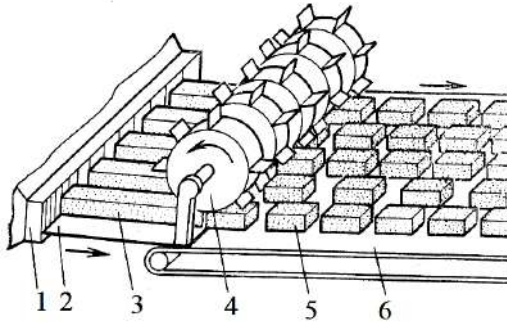
Disklilərdən başqa mərkəzdənqaçma tipli doğrayıcılardan da istifadə olunur (şək.21.5). Bu doğrayıcılarda bıçaqlar şaquli hərəkətsiz silindrin divarlarının yarıqlarında yerləşir. Doğranan material barabanın daxilində fırlanan ilbiz şəkilli pərlər ilə hərəkətə gətirilir. Mərkəzdənqaçma qüvvəsi məhsulu bıçaqlara sıxır. Beləliklə, doğranma baş verir.



Şək.21.5. Çərçivəli mərkəzdənqaçma tipli çuğundur doğrayan:

- 1- qəbul çəni; 2- bıçaq çərçivəsi; 3- korpus; 4- dib;
5- lyuk; 6- üçpərli ilbiz

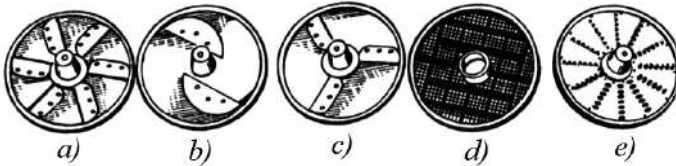
Şəkil 21.6-da qida sənayesində qənnadı məlumatlarını doğramaq üçün rotorlu doğrayan verilir. Konfet kütləsi 3 matrisa 1-dən qəbul tabağına 22 daxil olur və oradan da kəsici alətə verilir. Kəsici alət rotorun oxunda 4 bərkidilən fırlanan bıçaqlardan ibarətdir. Rotor kəsilən konfeti 5 konveyerin lentinə 6 verilir.



Şək.21.6. Rotorlu doğrayanın sxemi:

1 - matrisa; 2 - qəbul tabağı; 3 - konfet kütləsi; 4- fırlanan bıçaqlar; 5 - kəsilmiş konfet, 6 - konfeyer

Şaquli tərəvəz doğrayan tərəvəzləri doğramaq üçün istifadə olunur. Tərəvəz doğrayan yükləyici qıfdan, xırdalayıcı kameradan və intiqaşdan ibarətdir. Kəsici alət şaquli vala oturdulan və elektrik mühərrikindən hərəkətə gətirilən üfüqi diskdir. Maşın poliamid layı ilə emal edilən yüksək keyfiyyətli əlvan metaldan hazırlanır. Doğrayanın tərəvəzin forması bıçaqların formasından asılı olaraq dəyişir. Şəkil 21.7-də kəsici disklərin müxtəlif formaları verilir.



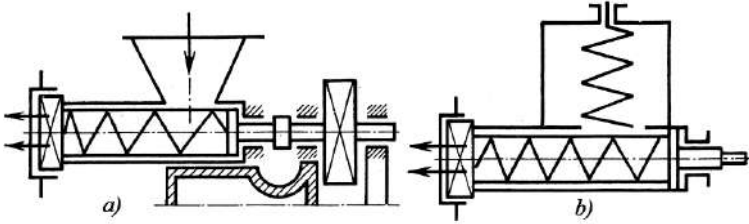
Şək.21.7. Tərəvəz doğrayanın kəsici diskləri:

a - standart dilimləyən; *b* - nazik-yumşaq və şirəli məhsullar üçün; *c* - dalğalı dilim kəsmək üçün; *d* - kub şəkilli kəsmək üçün; *e*- sütrgəc

Şəkil 21.8-də dondurulmuş və donmamış ətin, çörəyin, kartofun, çuğundurun və s. doğranması üçün iki tip maşın – volçok (xırdalayıcı) verilir. Volçokların konstruksiyası məişətdə məlum olan ətçəkən maşınlardan götürülmüşdür. Volçoklarda üç növ

kəsici alətlərdən istifadə olunur: hərəkətsiz kəsən bıçaqlar, kəsici şadara və hərəkət edən səthi bıçaqlar.

Doğrama kəsici cütüklə, yəni səthi fırlanan bıçaqla və kəsici şadara ilə yerinə yetirilir. Material şneklə verilir, kəsici şadara sızılaraq şadaranın deşiklərindən çıxır, şadara sızılan fasiləsiz fırlanan səthi bıçaqlar materialı kəsir.

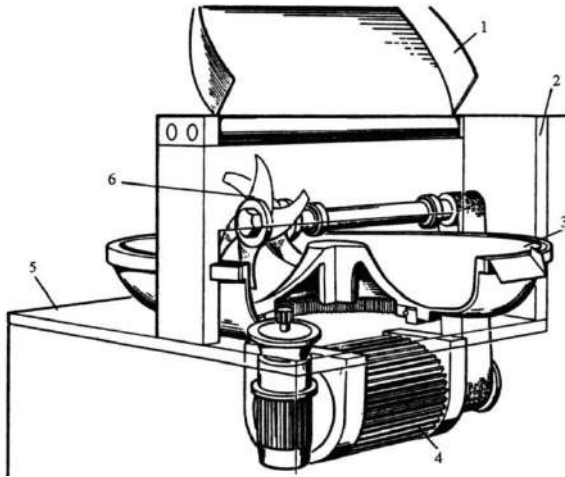


Şək.21.8. Volçok:

a - materialın öz axımı ilə verilməsi;

b - materialın məcburi verilməsi

Ət xırdalayıcısı – kutter (şək.21.9) aşağıdakı kimi işləyir. Ət avtomatik olaraq paslanmayan poladdan hazırlanan çənə yükləni və orada quraşdırılan kəsici alətlə xırdalanır.



Şək.21.9. Ət xırdalayıcısı – kutter:

1- qapaq; 2- divar; 3- çən; 4- intiqal; 5- özül; 6- kəsici alət

Xırdalanma surəti 130 m/san təşkil edir. Proses vakuum altında aparılır, korpusun və qapağın materialı xırdalanma prosesini səsiz edir. Farş (qiymə) periodik olaraq avtomatik maili tutucu ilə boşaldılır.

Kəsici alətin dəyişdirilməsi 3 dəqiqədən az vaxt aparır.

Yoxlama sualları

1. Qida sənayesinin hansı sahələrində kəsmə prosesindən istifadə olunur? 2. Kəsici qurğuların təsnifatı hansılardır? 3. Kəsən maşınlarla hansı tələbatlar qoyulur? 4. Kəsici alətlər hansı növlərə ayrılır? 5. Nəzəri olaraq kəsmənin işini necə təyin etmək olar. 6. Əsas doğrayıcıların tipləri hansılardır? 7. Ət məhsulları xırdalamaq üçün hansı maşınlardan istifadə olunur?

FƏSİL 22 SORTLAŞDIRMA

22.1. Dənəvər materialların klassifikasiyası

Qida sənayesində səpələnən materialların emalında hər hansı xassələrinə görə səpələnən qarışıqları forması və ölçüləri, maye və ya qaz mühitində çökmə sürəti, elektrik və ya maqnit xassələri ilə fərqlənən fraksiyalara ayırmaq tələb olunur. Belə ki, pivə və spirt istehsalında emala daxil olmazdan əvvəl dən qarışıqlardan təmizlənir. Un sənayesində üyüdülmə dən una və kəpəyə ayrılır, bəzi hallarda səpələnən qarışıqdan metal qırıntılarını ayırmaq zərurəti yaranır. Səpələnən qarışığın ayrı-ayrı fraksiyalara ayırma prosesi sortlaşdırma və ya klassifikasiya (separasiya) adlanır.

Ayrılan fraksiyaların xassələrinə uyğun səpələnən materialların sortlaşdırılmasında aşağıdakı metodlardan istifadə edilir:

- hissəciklərin ölçü və formasına görə ələyən maşın və triyerlərin istifadəsi ilə ayırma;
- hissəciklərin çökmə sürətinə görə maye və qaz mühitdə ayırma;
- elektromaqnit xassələrinə görə maqnitli separatorda ayırma;
- digər ayırma metodları (elektrostatik, flotasiya).

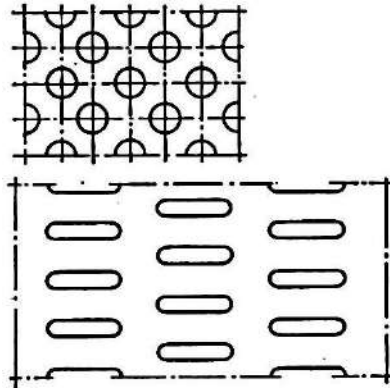
22.2. Hissəciklərin ölçülərinə görə ayırma (ələmə)

Ələmə ondan ibarətdir ki, ələnəcək məhsul ələklərə verilir, onların dəşikləri qarışığın bir hissəsini buraxır (keçən), digəri isə (tökülən) saxlanılır. Beləliklə, ələyən aparatların əsas hissəsi ələklərdir.

Ələklər. Qida sənayesində istifadə edilən ələklər hazırlanma üsuluna və materiala görə fərqlənir:

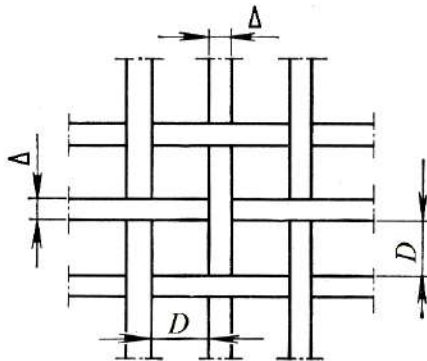
- 1) nazik polad vərəqdən ştamplanmış dəşikli;
 - 2) toxunma ilə (məftildən) hazırlanan;
 - 3) ipək, kapron, neylon, perlon liflərdən toxunmuş.
 - 4) kvadrat və ya dördbucaq formada toxunmuş ələklər olur.
- Ştamplanmış ələklərin dəşiklərinin forması təyinatından asılı ola-

raq müxtəlif olur. Dənin yad qarışıqlardan təmizlənməsi üçün əsasən yumru və uzunsov deşikli ələklərdən istifadə olunur (şək.22.1).



Şək.22.1. Ştamplanmış ələklərin yarıqlarının forması

Ələyin buraxma qabiliyyəti onun həqiqi işçi (canlı) en kəsiyi ilə xarakterizə olunur. Ştamplanmış ələklərin canlı en kəsiyi $\varphi = (F_0 / F)100$ adətən 50%-dən çox olmur (F_0 -deşiklərin sahəsi; F -ələyin sahəsi). Toxunmuş ələklərin canlı en kəsiyi 70% olur. Toxunan (məftilli) ələklər (şək.22.2) poladdan, latundan və ya bürüncdən hazırlanır.



Şək.22.2. Məftildən toxunmuş ələk

Ölçüsündən asılı olaraq ələklər nömrələrinə görə fərqlənir. Kvadrat yarıqlı ələklərin nömrəsi yarığın tərəfinin ölçüsünün mm-lə qiymətinə bərabərdir. Məsələn, 4№-li ələyin yarığı 4 mm, 0,4№-li ələyinki isə 0,4 mm-dir.

Kvadrat yarıqlı məftil ələyin canlı en kəsiyi

$$\varphi = \left[D^2 / (D + \Delta)^2 \right] 100 ,$$

burada D - yarığın tərəfinin ölçüsüdür, mm;

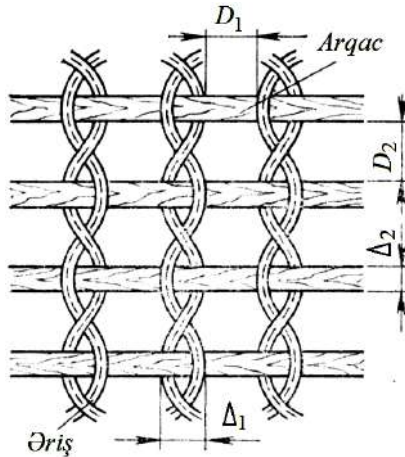
Δ - məftilin enidir, mm.

Toxunmuş ələklərin standartı hər bir növbəti ələyin ölçülərini 1,959 dəfə artmasını nəzərdə tutur. Bu kəmiyyət ələklərin modulu adlanır.

Belə ələklər iki növdə, yüngülləşdirilmiş və ağırlaşdırılmış hazırlanır. Yüngülləşdirilmiş ələklər 1 sm-də yarıqların sayına görə fərqlənir, ağırlaşdırılmış isə 1 dm yarıqların sayına görə fərqlənir. Yarıqların sayı ələyin nömrəsi ilə uyğun gəlir.

Hərdən kiçik yarıqlı ələklər (1 mm²-dən kiçik) meş sayı ilə, yəni 1 düyümdə yarıqların sayı ilə xarakterizə olunur.

İpək ələklər onlara möhkəmlik, parıltı vermək və hiqroskopikliyini azaltmaq (suya davamlı) üçün emal edilir (şək.22.3).



Şək.22.3. İpək ələk

İpək ələyin canlı en kəsiyinin əmsalı

$$\varphi = [D_1 D_2] / [(D_1 + \Delta_1)(D_2 + \Delta_2)] 100, \quad (22.1)$$

burada D_1 - uzununa liflərin ara məsafəsi,

Δ_1 - uzununa lifin eni;

D_2 - eninə liflərin ara məsafəsi;

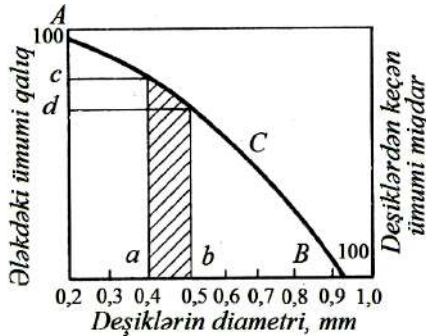
Δ_2 - eninə lifin eni.

Ələyin nömrəsini təyin etmək üçün şkalalı lupa vasitəsilə ələyin uzunluq vahidinə düşən liflərin sayını təyin edirlər.

22.3. Ələk analizi

Səpələnən qarışıqın dispersliyini xarakterizə etmək üçün ələk analizindən istifadə olunur. Tətbiq edilən qarışıq ölçüləri tədricən kiçilən bir sıra ələklərdən keçir və ələklərdə qalan məhsulun miqdarını təyin edib qarışıqın iriliyinə görə xarakteristikasını qururlar.

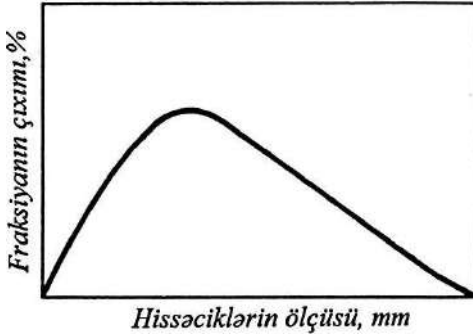
Üfüqi oxda ardıcıl yerləşən ələklərin ölçülərini qeyd edək (şək.22.4).



Şək.22.4. Ələk analizinin nəticələri

Şaquli oxda ələkdə qalan fraksiyanın çəkisini (ilkin çəkiyə görə faizlə), şaquli oxun sağ tərəfində isə ümumi keçidi qeyd edək. Alınan nöqtələri birləşdirərək tətbiq edilən qarışıqın dispersliyini

xarakterizə edən əyrini alırıq. $a-b$ sahəsindən görünür ki, ölçüləri 0,4 mm-dən böyük 0,5 mm-dən kiçik hissəciklər ilkin məhsulun n faizini təşkil edir, $n = cd$. Bu ölçülər intervalını azaltsaq müəyyən ölçülü hissəciklərin kütləsi haqda təsəvvür yaratmaq olar. Bu iriliyinə görə ayrı-ayrı fraksiyaların çıxımını göstərən differensial əyri qurmağa imkan verir (şək.22.5).



Şək.22.5. Qarışıqın hissəciklərinə görə xarakteristikası

Ələklərin faydalı iş əmsalı (f.i.ə). İlkin qarışıqın kütləsini m_0 (kq) qəbul edək. Tutaq ki, bu qarışıqda ölçüləri ələyin ölçüsündən D kiçik olan hissəciklər a (%) təşkil edir. Onda maksimal mümkün keçidin miqdarı $m_a a/100$ (kq) olacaqdır. Həqiqətdə keçidin miqdarı az olacaq, çünki onun bir hissəsi ələkdə qalaraq çıxarılır. Əgər keçidin həqiqi miqdarı m_1 kq olarsa, onda ələyin f.i.ə. (%)

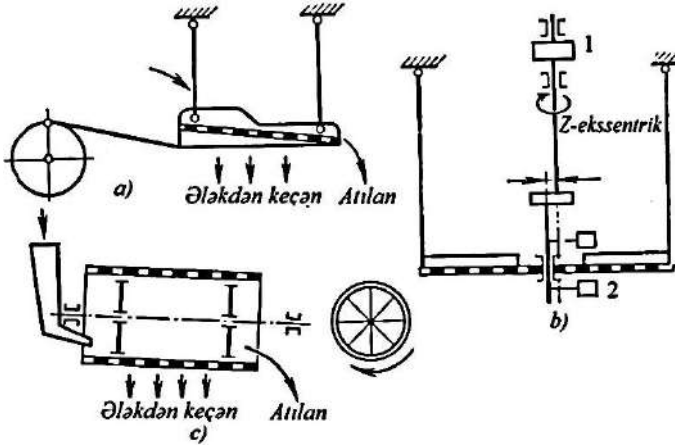
$$K = m_1 \cdot 100 / (m \cdot a / 100). \quad (22.2)$$

Ələyin f.i.ə. yarıqların və hissəciklərin formasından, nəmliyindən, hərəkət sürətindən və ələkdə olan materialın qalınlığından asılıdır. Adətən, $K < 90\%$ qəbul edilir.

22.4. Ələyən maşınların klassifikasiyası

Səpələnən materialın ələnməsi üçün o ələyin üzəri ilə hərəkət etməlidir. Bunun üçün onu hərəkətə gətirmək lazımdır.

Ələklərin yerləşməsinə görə ələyən maşınlar iki qrupa bölünür: səthi və silindrik ələkli. Səpələnən materialı hərəkətə gətirmək üçün birincilər irəli-geri, dairəvi və vibrasiyalı hərəkət edir, ikincilər isə ox ətrafında fırlanır. Şəkil 22.6-da ələyən maşınların əsas tipləri verilir.

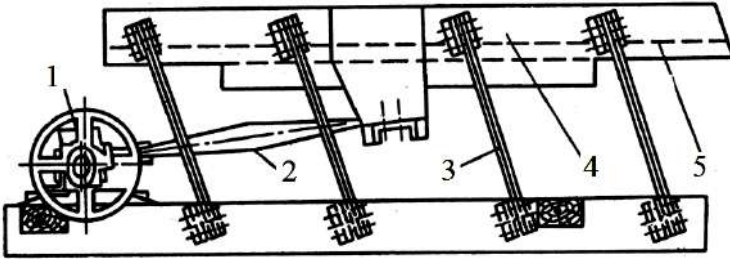


Şək.22.6. Ələyən maşınların sxemləri:

a- irəli-geri hərəkət edən; b- dairəvi hərəkət edən: 1- şki (qasnaq), 2- tarazlayıcı yüklər; c- rotorlu ələk

Klassifikasiya bir və bir neçə dəfəlik olur. Bir dəfəlik klassifikasiyada material bir ələkdən, bir neçə dəfəlikdə isə bir neçə ələkdən keçir.

Şəkil 22.7-də silkələnən qroxot ələk verilir. Ələk çarxqolu mexanizmi ilə titrəyişli hərəkətə gətirilir. Ələk silkələndikdə keçən material yarıqlardan keçir, qalan material isə bilavasitə xırdalanmaya verilir. Bir neçə fraksiyaya ayırmaq üçün silkələnən ələkləri çox yaruslu hazırlayırlar. Bu ələklərdə material ən böyük yarıqları olan üst ələyə verilir. İri hissəciklər bu ələkdən ayrılır, keçənlər isə kiçik yarıqlı alt ələyə düşür. Bu ələkdə qalan material çıxarılır, yarıqlardan keçən isə daha kiçik yarıqlı ələyə tökülür. Səthi silkələnən ələklərin üstünlükləri yüksək məhsuldarlığa və ələmə effektivinə, yığcamlığa, asan istifadəyə malik olması və yararlığıdır. Çatışmamazlığı isə konstruksiyanın nataraz olmasıdır.



Şək.22.7. Silkələnən ələk (qroxot):

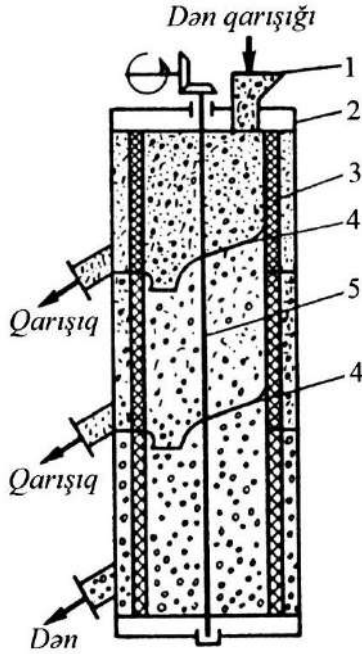
1- eksentrik; 2- çarxqolu; 3- yay; 4- korpus; 5- ələk

Barabanlı ələk (qroxot) üfüqə nəzərən $4...7^\circ$ bucaq altında qarşdırılan barabandan ibarətdir. Baraban tordan və ya perforasiya olunmuş polad vərəqlərdən hazırlanır, o mərkəzi valda və ya dayaq diyircəklərində fırlanır. Material barabanın açıq tərəfindən yüklənir. Material barabanın perforasiya olunan divarından keçir, qalan material isə barabanın əks tərəfindən çıxır. Bu ələklərin çatışmamazlığı qabaritinin çox böyük, ayırma effektinin aşağı və kiçik məhsuldarlığa malik olmasıdır.

Dənin müxtəlif qarışıqlardan təmizlənməsi üçün şaquli və ya üfüqi silindrik dən təmizləyən separatorlardan istifadə olunur. Qarışıq bir-birindən şaquli separatorlarda mərkəzdənqaçma qüvvəsinin və ya üfüqi separatorlarda materialın vibrasiyalı titrəyişlərinin təsirindən ayrılır.

Şəkil 22.8-də mərkəzdənqaçma tipli separatorun barabanının sxemi verilir. Baraban bir neçə seksiyadan ibarətdir. Təmizlənəcək dən üst seksiyaya daxil olur və mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən dən qarışığı barabanın perforasiya olunan divarına atılır. Kiçik ölçülü qarışıqlar yarıqlardan keçərək separatoradan çıxarılır, dən isə alt seksiyaya daxil olur. Bu seksiyadakı barabanın divarlarındakı yarıqlarının diametri daha böyükdür və buradan dən keçərək separatoradan çıxarılır.

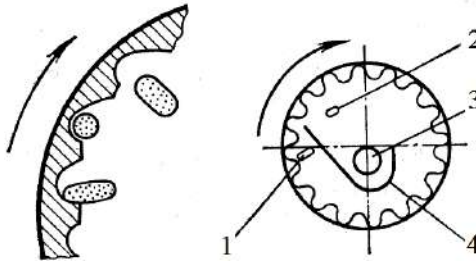
En kəsiyi eyni, uzunlu müxtəlif olan dən qarışıqlarını ayırmaq üçün ələklər yaramır. Bunun üçün triyerlər adlanan maşınlardan istifadə olunur. Triyerlərin iş prinsipi şəkil 22.9-da göstərilir. Triyerin işçi orqanı yuvalar ştampllanmış disk və ya barabandır.



Şək.22.8. Barabanlı separator:

1- qıf; 2- korpus; 3- baraban; 4- kanallı arakəsmə; 5- val

Emal olunan dən silindrin içərisinə daxil olur, bu zaman uzun dənələr yuvalardan qısa dənələrə nisbətən əvvəl, sonra qırıq və dairəvi dənələr düşür. Onların qəbulu üçün silindrin daxilində novcuq quraşdırılır.



Şək.22.9. Triyerlərin iş prinsipi:

1- uzun dənələr; 2- qısa (gödək) dənələr; 3- şnek; 4- novcuq

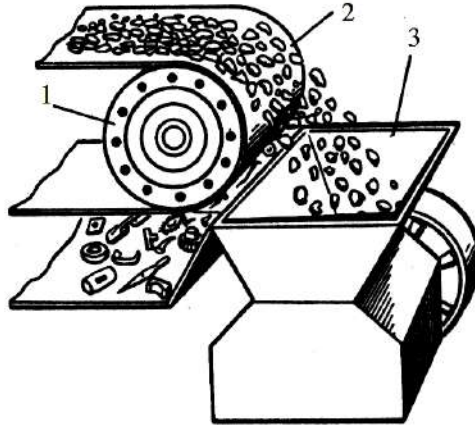
Triyerin fırlanma tezliyi və mərkəzdənqaçma qüvvəsi elə olmalıdır ki, dənələr silindrlə birgə fırlanmasın. Dənələri silindrlə birgə fırlanan triyerin fırlanma tezliyi kritiki adlanır və $30/\sqrt{R}$ -ə bərabərdir, burada R - silindrin radiusudur (m).

Diskli triyerlərin iş prinsipi də silindrik triyerlərininki kimidir. Burada işçi səth disklərin səthidir.

Maqnitli (elektromaqnitli) separatorlar səpələnən material kütləsindən polad, çuqun qarışıqların çıxarılması üçündür. Barabanlı elektromaqnit separatorlarda (şək.22.10) eksentrik yerləşən sabit cərəyanla işləyən tərpənməyən elektromaqnit yerləşir. Baraban fırlandıqda onun səthi elektromaqnitin qütblərinə çox yaxın olur.

Qüvvəli maqnit zonasına daxil olan polad və çuqun əşyalar barabanın üzərində tutulur, səpələnən material isə barabanın üzərindən qəbul bunkerinə tökülür.

Maqnitli separatorlar müxtəlif maşınlarda, məsələn, xırdalayıcılarda və quruducularda bərk materiallar yüklənən yerdə quraşdırılır.



Şək.22.10. Maqnitli separator:

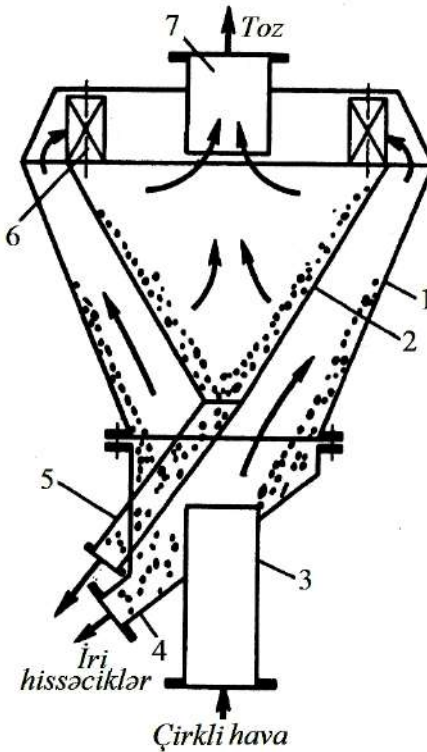
1- separator; 2- konveyer; 3- bunker

Hidravliki klassifikasiya – bərk hissəciklərin mayədə çökmə sürətinə əsaslanır və bərk hissəciklərin ümumi çökmə qanunlarına

tabedir. Hidravliki klassifikasiya üföqi və ya yüksələn su axınında baş verir. Axın sürəti elə seçilir ki, klassifikatordan yalnız müəyyən ölçüdən kiçik olan hissəciklər, yəni üst məhsul aparılır, klassifikatorda çökmə sürəti böyük olan iri hissəciklər, yəni alt məhsul çökür. Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən klassifikasiya üçün hidrosiklonlardan istifadə olunur.

Hava ilə separasiya hidravlikdən onunla fərqlənir ki, havada hissəciklərin çökmə sürəti suda çökmə sürətindən çox böyük olur. Hava ilə separasiya siklonlarda yerinə yetirilir.

Şəkil 22.11-də mərkəzdənqaçma tipli hava separatoru verilir.



Şək.22.11. Mərkəzdənqaçma separatorun sxemi:

1- korpus (gövdə); 2- daxili konus; 3- ilkin məhsulu daxil etmək üçün qısa boru; 4, 5- iri hissəcikləri çıxarmaq üçün qısa boru; 6- istiqamətləndirici kürək; 7- toz çıxaran qısa boru

Adətən, bu separatorlar dəyirmandan çıxan hava axını xəttində quraşdırılır. İri hissəciklər həlqəvi kanalda və konusda ayrılır. Burada onlar mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə konusun divarlarına atılır. İri hissəciklər konusun divarlarından sürüşərək qısa boru 4 və 5 vasitəsilə çıxarılır. Hava ayrılmayan kiçik hissəciklərlə siklondakı qısa borudan çıxarılır.

Flotasiya (hava qabarcığı) ayrılan sistemin hissəciklərinin maye səthinin ayrıcına yapışma qabiliyyətinə əsaslanır. Yapışan hissəciklər köpüklə mayenin üzərinə çıxarılır, qalanları isə çənin dibinə çökür. Bu proses maye istehsalında istifadə olunur.

Elektrostatik separasiyada səpələnən materialın hissəcikləri elektrik yükünü alır. Hissəciklər yüklü elektrodlarla təmasda olduqda və yaxud havanın taclı yükdən alınan ionlaşmış molekullarından keçən yüklə yüklənir. Yüklənmiş hissəciklər taclı yük zonasından çıxarılaraq öz yükünü fırlanan torpaqlanmış barabana verir. Əgər hissəciklər elektrik ötürücülüyü ilə fərqlənərsə, onda elektrik ötürücülüyü kiçik olan hissəciklər barabanın üzərində saxlanılır və fırça ilə çıxarılır, yüksək keçiricilik qabiliyyəti olan hissəciklər isə öz yükünü barabana verir və mərkəzdənqaçma qüvvəsi ilə tullanılır. Elektrostatik ayırma metodunda dənələrin üyüdülməsindən alınan məhsulları ayırmaq üçün istifadə edilir.

Yoxlama sualları

1. Qida sənayesində səpələnən materialların emalında hansı xassələrinə görə səpələnən qarışıqları fərqlənən fraksiyalara ayırmaq tələb olunur? 2. Sortlaşdırma nəyə deyilir? 3. Səpələnən materialların hansı sortlaşdırma metodları vardır? 4. Hissəciklərin ölçülərinə görə ayrılması nə adlanır? 5. Qida sənayesində istifadə edilən ələklər hansı parametrlərə görə fərqlənir? 6. Dənin yad qarışıqlardan təmizlənməsi üçün hansı tip ələklərdən istifadə olunur? 7. Ələyin buraxma qabiliyyəti nə ilə xarakterizə olunur? 8. Ştamplanmış ələklərin canlı en kəsiyi və toxunmuş ələklərin canlı en kəsiyi dəyişklərin sahəsinə görə hansı nisbətdə olurlar? 9. Toxunan (məftili) ələklər hansı materiallardan hazırlanır? 10. Nədən asılı olaraq ələklər nömrələrinə görə fərqlənirlər? 11. Kvadrat yarıqlı məftil ələyin canlı en kəsiyi necə təyin olunur? 12. İpək ələyin canlı en kəsiyinin əmsalı necə təyin olunur? 13. Səpələnən qarışığın dispersliyini xarakterizə etmək üçün nədən istifadə olunur? 14. Ələklərin faydalı iş əmsalı necə təyin olunur? 15. Ələyin faydalı iş əmsalı nədən asılıdır? 16. Ələklərin yerləşməsinə

görə ələyən maşınlar hansı qrupa bölünür? 17. Ələyən maşınların əsas tipləri hansılardır? 18. Klassifikasiya nə çür olur və hansı sayda ələkdən keçir? 19. Silikədən qoxot ələyin quruluşu və işi necədir? 20. Separatorların əsas işçi orqanı hansıdır? 21. Triyerlər necə işləyir? 22. Hidravliki və hava ilə klassifikasiya nəyə əsaslanır? 23. Hava ilə separasiya hidravliki separasiyadan nə ilə fərqlənir? 24. Hava ilə klassifikasiya hansı aparatlarda yerinə yetirilir? 25. Mərkəzdənqaçma tipli hava separatorunun hissələri hansılardır? 26. Flotasiya nəyə deyilir və harada istifadə olunur? 27. Elektrostatik separasiya necə aparılır? 28. Elektrostatik ayırma metodundan hansı məhsulları ayırmaq üçün istifadə edilir?

FƏSİL 23 PRESLƏMƏ

Presləmə (təzyiqlə emal) – qida sənayesində geniş yayılmış mexaniki proseslərdən biri olub mahiyyəti ondan ibarətdir ki, emal edilən material xüsusi mexaniki qurğular, yəni preslər vasitəsilə xarici təzyiqlə məruz qalır. Bu halda aşağıdakı məqsədlər nəzərdə tutulur:

1) bərk cisimdən mayenin ayrılması. Bu proses sıxılan məhsulun qalığının kapilyarlarından mayenin filtrasiyası ilə sıx bağlıdır. Mayenin çıxarılması ilə eyni vaxtda qalığın kipləşməsi və briketləşməsi baş verir;

2) plastik materiallara müəyyən həndəsi forma verilməsi (formalaşdırma və ştamplanma). Bu halda mürəkkəb sistemdən maye ayrılmaz, ancaq emal olunan kütlə texnoloji şərtlərə uyğun lazımı forma alır;

3) səpələnən dənəvər materialların hissəciklərinin bağlayan maye ilə və uyğun təzyiqlə (presləmə) müəyyən formalı daha böyük aqreqatlara çevrilməsi.

Sıxma yüksək təzyiqlə mayenin sıxılması olub şərəbçilikdə üzumdən şirənin, likor-araq istehsalında meyvə və giləmeyvələrdən sıxılaraq şirə alınmasında istifadə olunur. Təzyiqin köməyi ilə bitki yağı, şəkər çuğundurundan şirə və s. alınır.

Formalaşdırma (ştamplama) plastiki materialların formalaşdırılması olub qənnadı və makaron istehsalında xəmirə müəyyən forma vermək üçün istifadə olunur.

Presləmə (briketləmə) şəkər-rafinat istehsalında, şəkər zavodlarında və qida konsentratları zavodlarında geniş yayılmışdır.

23.1. Qida məhsullarının təzyiqlə emal nəzəriyyəsinin elementləri

Susuzlaşdırma. Bərk qalıqdan təzyiqlə sıxaraq mayeni çıxarma iki halda tətbiq olunur: 1) maye qalıqdan daha qiymətli olduğu

halda (üzüm şirəsi, bitki yağı); 2) maye qalıqda qaldıqda, bu onun dəyərini azaldır (cecədə suyun qalması).

Nəzərə almaq lazımdır ki, qida sənayesində təzyiqə məruz qalan kütlə (toxumlar, meyvə, giləmeyvə, bitki gövdələri, heyvani toxumalar) mürəkkəb hüceyrə strukturuna malikdir. Onlardan maye fazanı ayırmadan əvvəl, müqaviməti azaltmaq məqsədilə onları mexaniki, hidrotermiki, istilik, fermentativ və elektriki emal edirlər. Mexaniki emal hüceyrə örtüyünü dağıtmaqla hüceyrələrdən mayeni ayırmağa xidmət edir. İstilik, hidrotermiki və elektriki emallarda daha mürəkkəb proseslər baş verir.

Sıxılmada mayenin ayrılmasına təsir edən faktorları nəzərdən keçirək:

- sıxılmanı təmin edən təzyiq p ;

- sıxılmaya daxil olan məhsulun keyfiyyəti, yəni onun hüceyrə strukturu və ilkin emalda onun parçalanma dərəcəsi. Bu göstəricilər C konstantı ilə xarakterizə olunur, bu kəmiyyət materialın növündən və ilkin emal üsulundan asılıdır;

- sıxılacaq mürəkkəb strukturda maye fazanın x_0 kütlə fazası;

- presləmə müddəti və təzyiqin dəyişmə ardıcılığı;

- sıxılma baş verən termiki şərtlər;

- sıxılan material layının qalınlığı.

Sıxılmanın və xammalın ilkin emalının mürəkkəbliyi lazımı təzyiqi hesablamaq üçün vahid tənlik təklif etməyə imkan vermir. Sıxaraq bitki yağını ayırmaq üçün aşağıdakı empirik tənlik təklif olunur:

$$W = CW_0 \frac{\sqrt{p} \sqrt[6]{\tau}}{\nu^a}, \quad (23.1)$$

burada W - yağın çıxımı, %;

C - materialın növündən asılı konstanta;

W_0 - ilkin materialda yağın miqdarı, %;

p - yağın çıxması baş verən təzyiq, Pa;

τ - sıxma müddəti, san;

ν - yağın kinematik özlülüyü, m^2/san ;
 a - yağın növündən asılı olan göstəricidir.

Tənlikdən görünür ki, mayenin çıxımı bir çox faktorlardan asılıdır, xüsusilə də sıxma müddətindən.

Sıxılan maye kütlədə en kəsikləri sıxılma prosesi zamanı dəyişən mürəkkəb kapilyarlar sistemində uzun və ya qısa yol keçməlidir. Buna görə sıxılma prosesi zamanı filtrləmə prosesinə məxsus hadisələr baş verir və mayenin kapilyarlarda axması üçün Puazeyl tənliyindən istifadə olunur:

$$V = \Delta p d^2 n F \tau / (32 \mu l), \quad (23.2)$$

burada V - τ müddətində axan mayenin həcmi, m^3 ;
 Δp - kapilyarlarda təzyiq itkisi, Pa;
 d - kapilyarın diametri, m;
 n - material layının vahid sahəsində kapilyarların sayı;
 F - kapilyarın en kəsiyi, m^2 ;
 μ - mayenin özlülüyü, Pa·san;
 l - kapilyarın uzunluğudur, m.

Puazeyl tənliyi ilə ifadə olunan sıxma kapilyarlarla mayenin axmasından daha mürəkkəbdir. Mayenin materialın məsamələrində filtrlənməsini nəzərə alsaq Puazeyl tənliyi əsasında vacib təcrübə nəticələrinə gəlmək olar: 1) sıxılan layın qalınlığını artırmaq, deməli, sıxılan kütlənin həcmi artırmaq məqsədəuyğun deyil; 2) istehsal texnologiyası imkan verirsə məhsulu sıxdıqda qızdırmaq məqsədəuyğundur. Hər bir hazırlanan məhsul müəyyən temperatur və təzyiqdə sıxıldıqda son nəmliklə xarakterizə olunur və tarazlıq nəmliyi adlanır. Nəzərə almaq lazımdır ki, tarazlıq nəmliyi preslənən materialın həcmindən və təzyiqin tətbiq etmə ardıcılığından asılıdır.

Plastiki materialların formalaşdırılması. Bu növ emaldan qənnadı, çörək və makaron istehsalında xəmir məmulatlarının formalaşdırılması üçün istifadə olunur.

Xəmir müəyyən həddə kimi elastik deformasiyaya məruz qala bilər, bu həddən sonra xəmir özlü maye kimi axmağa başlayır.

Plastiki özlü cisimlərin axması yalnız həqiqi özlü mayelər üçün Nyuton tərəfindən təklif edilən qanuna tabe olmur. Bu cisimlər üçün Binqam aşağıdakı tənliyi təklif edir:

$$P / F = \eta(dw / dy) + \tau_0, \quad (23.3)$$

burada $P - F$ sahəli iki toxunan layların nisbi sürüşməsinə yaranan tangensial qüvvədir, N;

τ_0 - sürüşmənin həddü gərginliyi (axma həddü),
N/m²;

dw / dy - sürət qradienti, m/san;

η - özlülük əmsəlidir, Pa·san.

(23.3) tənliyindən görünür ki, plastiki özlü cisimlərin axmasında relaksasiya baş verir. Relaksasiya (sovrulma) – sabit, fiksasiya olunmuş deformasiya zamanı cisimdə gərginliyin azalmasına deyilir.

Müəyyən olunmuşdur ki, ideal elastik cisimdə elastik sürüşmə deformasiyası hədsiz müddət ərzində mövcud olub mayelərdə onlar özlülüyə tərs mütənəsb surətdə sovrulur. Su kimi mayelərdə sovrulma müddəti praktiki olaraq sifira bərabərdir. Xəmir kimi plastiki özlü cisimlər üçün cismin mexaniki xassələrini xarakterizə edən relaksasiya müddəti müəyyən müddət davam edir. Relaksasiya dövrü θ_1 dedikdə sabit deformasiyada gərginliyin e dəfə düşmə müddətidir (e - natural loqarifmin əsasıdır). Müəyyən olunmuşdur ki, biskvit xəmirinin bir neçə növü üçün $\theta_1 = 1, 2 \dots 6$ san. olur. Həmçinin məlumdur ki, biskvit məmulatlarının ştamplanmasında bir ştamplama müddəti bu növ xəmirin relaksasiya dövründən çox olmamalıdır. Bu halda ştamplamada əmələ gələn şəkil sıxılmağa vaxt tapmır və relyefli olur.

Müxtəlif xəmir növləri müxtəlif fiziki-kimyəvi xassələrə malikdir. Belə ki, buğda xəmiri içərisi şişmiş nişasta dənələri ilə dolu süngərli yapışqanlı skeletdən ibarət kolloid sistemdir. O yüksək özlülüyə, kiçik yapışma qabiliyyətinə (adzeziya) və böyük elastikliyə malikdir. Bu xassələr buğda xəmirini ştamplanmaya və ona müxtəlif forma verilməsini yararlı edir.

Arpa (çovdar) unu yapışqan quruluşa malik deyil və kiçik öz-lülüyə və böyük yapışma qabiliyyətinə malikdir.

O.Q.Lunin təyin etmişdir ki, ştamplama zamanı materialda ya-radılacaq gərginlik σ (Pa) aşağıdakı tənlikdən tapıla bilər:

$$\sigma = (\varepsilon_q / \tau) \eta, \quad (23.4)$$

burada τ - ştamplama müddəti, san.;

η - baxılan məhsul üçün sabit kəmiyyətdir, Pa-san; η qiyməti təcrübədən tapılır; müxtəlif növ buğda, qənnadı xəmiri üçün η -nın qiyməti 1,26-dan 9,9 -a qədər dəyişir.

ε_q - qalıq deformasiyası,

$$\varepsilon_q = \delta / H,$$

burada δ - ştamplanan şəklin dərinliyi;

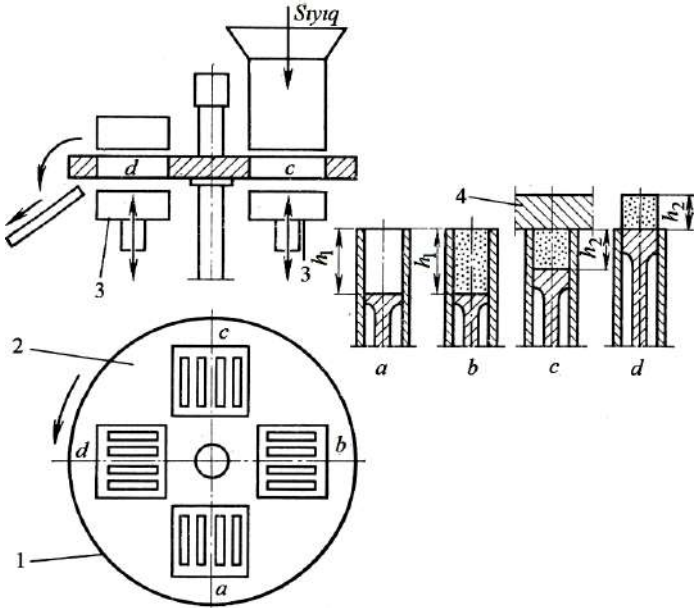
H - ştamplanan məmulatın qalınlığıdır.

Presləmə. Bu proses şəkər rafinat istehsalında geniş istifadə edilir. Ayrı-ayrı kristallardan ibarət nəm rafinat sıyığı preslənmə-yə məruz qalır. Kristalların tərəfləri nazik şəkər plyonkası ilə örtü-lür.

Presləmə xüsusi formalarda (matrisalarda) puason vasitəsilə yerinə yetirilir. Şəkil 23.1-də şəkər sıyığının üfüqi dairəvi presdə preslənməsi sxemi verilir. Fırlanan dairə 1 matrisaları 4 daşıyır.

Matrisalar uzununa arakəsmələrlə elə ayrılırlar ki, alınan pres-lənmiş rafinat tir formasında olsun. Hər matrisanın öz puasonu var, o dib kimi xidmət edir və onunla birgə irəli-geri hərəkət edir. Dairənin tam dövrü müddətində dairə matrisalarla birgə dörd dəfə qısa müddətdə dayanır. Bu səbəbdən hər bir matrisa və uyğun puason növbə ilə a, b, c, d vəziyyətlərində 1-1,5 san. müddətində dayanır. a vəziyyətində puason h_1 dərinliyinə düşür, b vəziyyə-tində matrisa h_1 qalınlığında sıyıqla doldurulur və c vəziyyətində puason sıyığı sıxır. Bu halda matrisanın üzərində plitə 4 quraşdı-

rılır, sıyıq layının qalınlığı h_2 -yə qədər azalır. Nəhayət, d vəziyyətində puason preslənmiş rafinatı matrisadan itələyərək çıxarır. Xüsusi qurğu ilə rafinatlar nəqletdirici tərtibata itələnir.



Şək.23.1. İrəli-geri hərəkət edən puasonlu karusel tipli pres

Presin məhsuldarlığı dairənin fırlanma tezliyi və matrisaların sayı ilə təyin edilir.

Rafinat sıyığının preslənməsində kristalların hərəkəti və onların arasındakı məsələrin həcmnin azalması baş verir. Bu zaman kristalların bir hissəsi parçalanaraq məsələri doldurur. Bu halda kütlənin məsəməliliyi azalır.

Kütlənin kipləşməsi presləmə əmsalı ilə xarakterizə olunur:

$$\beta = \left[\frac{(V_1 - V_2)}{V_1} \right] 100, \quad (23.5)$$

burada V_1 - kütlənin presləmədən əvvəl həcmi;

V_2 - kütlənin presləmədən sonra həcmidir.

Eksperimental olaraq təyin olunub ki, β -nin ən böyük qiyməti briketin təzyiqlik altında artıq saxlanması və təkrar yüklənmələrdə əldə olunur. Təkrar yüklənmə sayı artdıqda briketin sıxlığı maksimal kritiki qiymətə sürətlə yaxınlaşır.

Kütlənin kiplənmə dərəcəsi tətbiq edilən təzyiqdən, kütlənin xassələrindən, presin konstruktiv xüsusiyyətlərindən və presləmə rejimindən asılıdır. Presin konstruksiyası presləmə prosesinə artıq dərəcədə təsir edir. Şəkil 23.1-də bir tərəfli sıxılmada presləmə prosesi göstərilir. D.Z.Novikov göstərmişdir ki, şəkərin matrisada iki tərəfli sıxılmasında tələb olunan təzyiqlik azala bilər, briket isə daha bərabər sıxlıqlı və möhkəm alınabilir.

23.2. Məhsulların emalı üçün preslər

Qida sənayesində istifadə edilən preslər iki qrupa bölünür: hidravliki və mexaniki preslər.

Hidravliki preslər hidravlika qanunları ilə işləyir. Presin əsas hissəsi hərəkətli plitə ilə birləşmiş plunjerli işçi silindiridir. Silindrin daxilində olan plunjer yüksək təzyiqlik maye ilə hərəkətə gətirilir. Preslənmə materialı hərəkət edən və hərəkət etməyən plitələr arasında yerləşir.

Porşenlə materiala təsir edən təzyiqlik qüvvəsi onun sahəsi ilə düz mütənasibdir:

$$P = pF ,$$

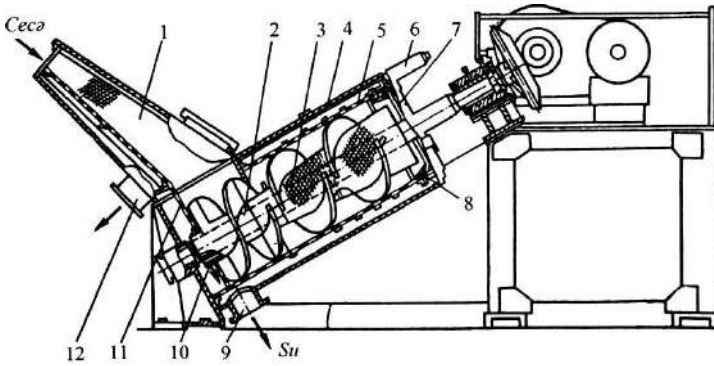
burada p - hidrosistemdə təzyiqlik, N/m^2 ;

F - porşenin sahəsidir, m^2 .

Hidravliki preslər meyvə, tərəvəz emalında şirə, likör və sirkə (essensiya) istehsalında istifadə olunur.

Şəkər sənayesində cecənin susuzlaşdırılması üçün maili üfüqi və şaquli şəkli preslərdən istifadə olunur. İki tərəfli sıxıcı preslər birtərəfililərə nisbətən daha məhsuldar olub cecəni daha aşağı nəmliyə kimi sıxmağa imkan verir.

Maili şəkli pres cecənin sıxılması üçün nəzərdə tutulur (şək.23.2).



Şək.23.2. Maili şneki pres:

1- separator; 2- şnekin valı; 3- ələk; 4- sıxıcı şnek; 5- silindrik ələk; 6- nizamlayıcı; 7- cecəni çıxarmaq üçün yarıq; 8- konusvari ələk; 9- ştuser; 10- su çıxarmaq üçün yarıq; 11- əlavə filtrləyici səth; 12- su çıxarmaq üçün ştuser

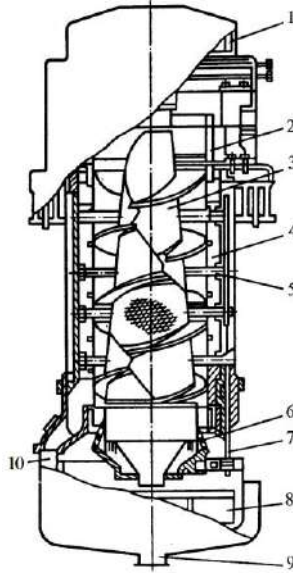
Sıxılan suyun bir hissəsi silindrik ələkdən keçərək ştuser 9-dan çıxarılır, qalan hissəsi isə ələk 3-dən şnekin valının içi boş hissəsinə keçərək yarıq 10-dan və ştuser 9-dan çıxarılır. Sıxılmış cecə konusvari ələk və sıxıcı şnekin korpusu arasındakı həlqəvi yarıqdan çıxarılır. Yarığın ölçüsü cecənin presdə qalma müddətinə və sıxılma dərəcəsinə təsir edir və nizamlayıcı 6 ilə nizamlanır.

Üfüqi və maili preslər analoji konstruksiyaya malikdir. Üfüqi preslərdən fərqli olaraq maililərdə sıxılan cecənin ayrılan maye ilə qismən qarışması baş vermir.

Şaquli şneki presin əsas hissəsi xüsusi traverslərdə quraşdırılan içi boş şaquli şnekdir (şək.23.3). Şnekin köynəyində əks tərəflərdən şnekin pərlərinin arasına girən və materialın şneklə birgə fırlanmasına mane olan kontrpərlər yerləşir. Kontrpərlərdə yarıqlar nəzərdə tutulur ki, boru kəməri ilə daxil olan buxar oradan keçə bilsin.

Presin üst hissəsində materialı yükləmək üçün qıf, onun altında isə konusvari yarıqlı silindrik sökülən ələklər yerləşir. Nəm cecə qıfdan preslənməyə verilir və şnekin üst pərləri ilə suyun sıxılması üçün kiçik en kəsikli zonaya istiqamətlənir. Sıxılan suyun bir hissəsi silindrik ələyin yarıqlarından, qalanı isə

şnekin içi boş valından çıxır. Ayrılan su kanal 10 və ştuser 9-la presdən ayrılır.



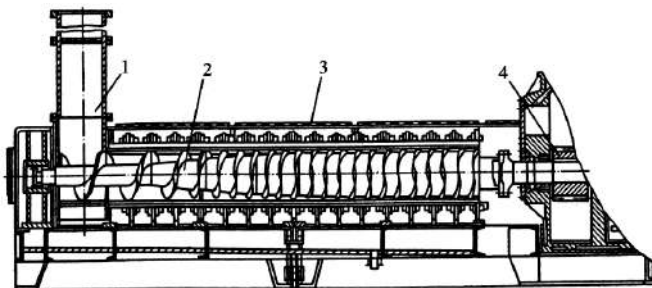
Şək.23.3. Şaquli şneklı pres:

1- intıqal çarxı; 2- yükləyıcı qıf; 3- şnek; 4- sökülən ələk; 5- kontrpər; 6- konusvari ələk; 7- bolt; 8- ərsin; 9- ştuser; 10- kanal

Silindrik ələyin alt hissəsində boltlar 7 vasitəsilə qaldırılan və aşağı salınan hərəkətli konusvari ələk yerləşir. Bu ələklə silindrik ələyin alt hissəsindəki yarığın ölçülərini dəyişməklə cecənin sıxılma dərəcəsi nizamlanır. Sıxılmış cecə şnekdən boşaldılır.

İki şneklı pres iki qarşı-qarşıya fırlanan paralel şneklərlə təchiz olunur (şək.23.4). Şnekin korpusunda və qapaqlarında paslanmayan poladdan hazırlanmış konusvari yarıqlı silindrik filtrləyıcı ələklər yerləşir.

Presin konstruksiyası susuzlaşdırma prosesini tez yerinə yetirməyə imkan verir. Şneklərin fırlanma tezliyi hidromufta vasitəsilə 1,45 dəq⁻¹-dən 3 dəq⁻¹ qədər nizamlanır. Şnekin fırlanma tezliyindən onun məhsuldarlığı, sıxılmış cecənin nəmliyi və enerji sərfi də asılıdır.



Şək.23.4. İki şnekli pres:

1- yükləyici bunker; 2- ştuser; 3- qapaq; 4- intiqaal

Presin iş göstəriciləri onun cecə ilə bərabər qidalanmasından asılıdır. Pres kifayət qədər dolmadıqda cecənin nəmliyi artır.

Sıxılmış cecəyə görə preslərin məhsuldarlığı

$$Q = \rho\varphi Ft(n/60), \quad (23.6)$$

burada ρ - sıxılmış cecənin sıxlığı, kg/m^3 ;

φ - şnekin bütöv olmayan burulma sahəsinin şnekin vintlərinin səthinin sahəsinə nisbəti;

F - çıxış yarığının sahəsi və ya perforasiya olunmuş diskdə diskin sərbəst kəsiyinin sahələrinin cəmi, m^2 ;

t - çıxış yarığına doğru şnekin addımı, m;

n - şnekin fırlanma tezliyidir, dəq^{-1} .

Presin intiqaalının gücü

$$N = (N_C + N_K + N_B + N_{sıx} + N_n) / \eta_{in}, \quad (23.7)$$

burada $N_C, N_K, N_B, N_{sıx}, N_n$ - məhsulların uyğun olaraq ələyin korpusuna, korpusun səthinə, şnekin vintlərinin səthinə, cecənin sıxılmasına, cecənin hərəkətinə sür-tünmə qüvvəsini fəth etmək üçün tələb olunan güc;

η_{in} - intiqaalın f.i.ə.

Cecənin sıxılma dərəcəsinə əsas təsiri presin keçid hissəsinin forması və cecənin presdə qalma müddəti təsir edir.

Ştempelli və rotorlu preslər quru cecəni briketləşdirmək üçün istifadə olunur. Rotorlu preslər yastı və ya silindrik matrisalı olur. Ştempelli preslərdə matrisa hərəkətsiz olur, puason (ştempel) isə irəli-geri hərəkət edir. Belə preslərdə presləmədə böyük ətalət qüvvələri müşahidə olunur və bu səbəbdən də onları massiv təməldə quraşdırırlar. Üfüqi yastı matrisalı rotorlu presin konstruksiyası 23.5,a - da verilir. Presin əsas hissəsi – matrisa və presləyici vallardan, qranul kəsən qurğudan və içi boş valdan ibarət presləyici düyündən (dəst) ibarətdir. Matrisa içi boş valda quraşdırılır və onunla birgə fırlanır. Konusvari paylayıcı quru materialı valların altına yönəltmək üçün nəzərdə tutulur.

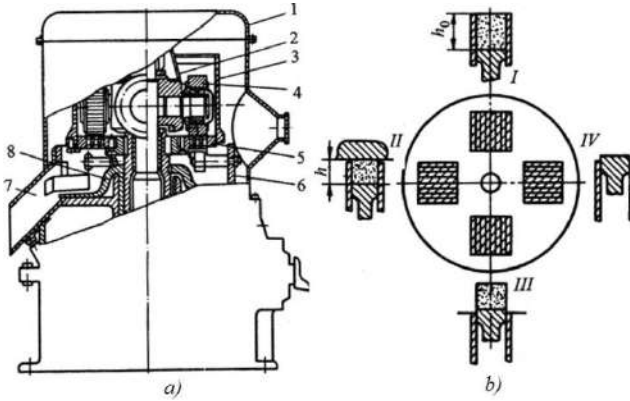
Preslənmiş material matrisanın yarığının çıxışında bıçaqla kəsilir və pərlə boşaldıcı nova yönəlir. Matrisa və bıçağın arasındakı məsafə 0,5 mm-dən böyük olmamalıdır. Bıçaq matrisanın işçi enini örtməlidir və bıçağın ülgücü matrisanın alt səthinə paralel yerləşməlidir. Bıçağın üfüqə nisbətən mailliyi 30° təşkil edir.

Briketi kəsmək üçün dörd bıçaq quraşdırılır. Daha iri briketlər əldə etmək üçün bıçaqların sayını azaldırlar.

Diskli pres sıxılmış rafinat istehsalında istifadə olunur və aşağıdakı əsas düyünlərdən ibarətdir: rafinat sıyığı üçün doldurma qutusu; matrisa və puasonlar olan disk; rafinatları presləmək üçün dayaq; şəkəri matrisalara vermə mexanizmi; preslənmiş rafinatı itələmək üçün mexanizm; diskin, intiqalın və özülün çevrilməsi üçün mexanizm. Presin stolu üfüqi səthdə saat əqrəbinin əks istiqamətində dairəvi hərəkət edir (şək.23.5,b).

Tabletləyici maşınlardan qida sənayesində ən geniş yayılmış rotorlu maşınlardır. Bu maşınlarda material puasonlarla preslənir. Puasonlar dairə boyu iki səviyyədə rotora yerləşdirilir. İş zamanı puasonlar şaquli ox boyu kopirlər və presləyici diyircəklər hesabına hərəkət edir. Rotor fırlandıqda tabletlənən materialla doldurulmuş matrisada puasonlar hərəkət etdikdə iki əks istiqamətdən materialı sıxır. Tablet matrisadan alt puasonla çıxarılır. Rotorlu tabletləyici maşınlar iki sinfə bölünür. Birincilərdə puasonlar kopirlərdə diyirlənir, ikincilərdə isə sürüşürlər. Maşınlar bir və ya bir

neçə dəfə təsirlidir, bunlarda hər puason cütü rotorun bir dövründə uyğun olaraq bir və ya bir neçə tablet formalaşdırır.



Şək.23.5. Rotorlu (a) və diskli (b) presin iş sxemi:

Rotorlu tabletləyici maşının məhsuldarlığı (kq/saat)

$$Q = 60(P/p)h\rho Nmkn, \quad (23.8)$$

burada P - presləmə qüvvəsi, N;

p - presləmə təzyiqi, MPa;

h - preslənmədən əvvəl matrisada materialın hündürlüyü, m;

ρ - preslənən kütlənin sıxlığı, kq/m³;

N - rotorda matrisaların miqdarı;

m - matrisanın yuvalarının sayı;

k - çox pozisiyalılıq əmsalı ($k = 1, 2, 3, 4$);

n - rotorun fırlanma tezliyidir, dəq⁻¹.

Yoxlama sualları

1. Qida sənayesində presləmə nə üçün tətbiq olunur? 2. Məhsulların susuzlaşdırılması ilə briketləşdirilməsinin fərqi nədədir? 3. Presləmə təzyiqi nədən ibarətdir? 4. Briketin orta kipləşmə əmsalı nədən asılıdır? 5. Məhsulların preslənməsində hansı avadanlıqdan istifadə edilir? 6. Susuzlaşdırıcı şəkli preslərin iş prinsipi necədir? 7. Potorlu preslərin iş prinsipi necədir?

FƏSİL 24 QRANULLAŞDIRMA

24.1. Qranullaşdırma üsulları

Yuvarlamaq – kiçik dispersli kütlədən sferik qranulların hazırlama metodudur. Hissəciklərin yuvarlanması ya passiv işçi səthlərində, yaxud maddə layında baraban (silindrik, konusvari) və boşqab tipli qranulyatorlarda yerinə yetirilir.

Qranullaşdırılmış məhsulun aşağıdakı növləri mövcuddur: briketlər (en kəsiyinin ölçüləri 100-200 mm), yuvarlaqlar (20-40 mm), qranullar (1-20 mm), tabletlər (kütləsi 0,5-8,0 q, ölçüsü 12-50 mm).

Briketləmə üçün ilkin material kimi şəkər tozu, şəkər çuğunduru istehsalında cecə, qida konsentratları, kombinə edilmiş yem (qarışıq yem), qida və bir çox başqa istehsalatların tullantıları istifadə olunur.

İlkin materialdan asılı olaraq aşağıdakı qranullaşdırma üsulları mövcuddur: presləmə ilə qranullaşdırma; yuvarlamaqla qranullaşdırma; toz şəkilli maddələrin, qarışıqların və suspenziyaların dispers axınlarda qranullaşdırılması.

24.2. Presləmə ilə qranullaşdırma

Presləmə ilə qranullaşdırma nəmlik vasitəsilə yerinə yetirilir, yəni səpələnən material pastaya çevrilir, mexaniki emal yolu ilə həndəsi formaya itələnilir və matrisanın deşiklərindən (kanal, filtr) jəqut şəklində çıxarılır və kəsilərək hissələrə ayrılır (qranul).

Presləmə ilə qranullaşdırmanın bir növü tabletləmədir (briketləmə).

Tabletləmə müəyyən formaya yığılan materialın təzyiqlə yaratma yolu ilə qranullaşdırma metodudur. Briket – iri tabletdir. Tabletləmə əczaçılıqda, plastiki kütlələrin hazırlanmasında, qida sənayesində yaşıl çay, həlim (bulyon) kubikləri, konfetlər, şəkər, quru

cecə briketləri, əridilmiş pendir, kombikorm, qida konsentratları, qida sənayesinin tullantıları üçün istifadə olunur.

Tabletlər (briketlər) tozdan (poroşokdan) və ya əvvəlcədən qranullaşdırılmış kütlədən preslənir. Qranullaşdırılmış kütlədən hazırlanan məhsul daha möhkəm və yüksək keyfiyyətli alınır, məşinin məhsuldarlığı artır.

Presləyici qranullaşdırma üçün texnoloji avadanlıq müxtəlif olur. Presləyici aqreqatlarda qranulların alınmasının bütün mərhələləri yerinə yetirilir. Tabletləyici məşinlərin üç növündən istifadə olunur: çarxqollu (eksentrikli), hidravliki və rotorlu məşinlər. Presləyici orqanları porşenlər (puasonlar), içərisi boş fırlanan val-lar, deşikli filtrləyici barabanlar, şneklər, sonsuz vint qurğularıdır.

Presləmədə yaranan maksimal təzyiq 80 MPa-a qədər (aşağı təzyiqli məşinlər), 80-dən 120 MPa-a qədər (orta təzyiqli), 120 MPa-dan yuxarı (yüksək təzyiqli) olurlar. Proses fasiləsiz və ya periodik olaraq avtomatik rejimlərdə yerinə yetirilir.

Rotorlu tabletləyici məşinlər iki sinfə bölünür. Birinci sinif məşinlərdə puasonlar kopir üzrə fırlanır, ikinci sinif məşinlərdə sürüşür. Məşinlər bir və çox təsirli olur, burada hər puason cütü rotorun bir dövründə uyğun olaraq bir və ya bir neçə tablet hazırlanır.

Çarxqollu tabletləyici məşinin saatlıq məhsuldarlığı (kq/saat)

$$Q = 60gmn, \quad (24.1)$$

burada g - bir tabletin kütləsi, kq;

m - matrisada yuvaların miqdarı;

n - məşinin bir dəqiqədə gedişidir.

24.3. Yuvarlanma ilə qranullaşdırma

Qranullaşma yolu ilə kənd təsərrüfatı üçün mineral gübrələr istehsal edirlər. Draje noğullar hazırlanma qranullaşmanın bir növüdür. Qənnadı sənayesində nüvə və örtükdən ibarət konfetlər istehsal olunur. Nüvə kimi şəkər kristalları, qozlar, kişmiş, sukatlar (quru meyvələr) və ya xüsusi hazırlanmış konfet kütləsi, gil-

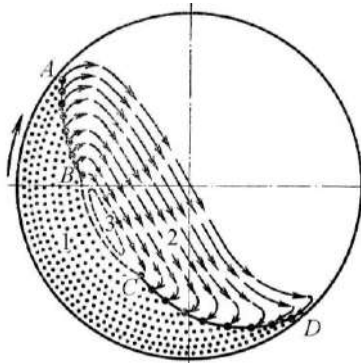
meyvələr, jeleləyici maddələr istifadə olunur. Örtük şəkər tozundan, kakao tozundan və başqa maddələrdən ibarət olur. Örtüyün nüvəyə yapışması noğul hazırlanan çənlərdə, barabanlı və boşqablı qranulyatorlarda baş verir.

Əczaçılıq sənayesinin drajesi dərman maddələri və vitaminlərdən ibarətdir. Bundan kənd təsərrüfatında toxumların əkin qabağı emalında istifadə olunur. Toxumun üzərindəki örtüyə bitkilərin qidalanması və böyüməsinin stimullaşdırılması üçün maddələr daxildir.

Sənaye şəraitində qranullaşma üçün hazırlanan səpələnən maddələr qeyri-bərabər olur. Yuvarlanma ilə qranullaşma prosesində iri hissəciklər yaranan qranulların nüvəsi olur. Əgər belə hazırlanan hissəciklər, yəni nüvələr daha dispers səpələnən maddədə xüsusi olaraq emal olunarsa, onda proses drajelənmə adlanacaq.

Drajeləmədə öz-özünə qranul yaranma baş vermir, drajelənmiş hissəciklərin miqdarı və ölçüləri emala verilən ilkin nüvələrin miqdarı və ölçülərindən asılıdır. Drajeləmə qranulyatora ardıcıl olaraq aparata bir neçə dəfə və nəmləndirici maye daxil etməklə (tökmə) baş verir.

Barabanlı və kasa şəkilli qranulyatorlarda emal olunan hissəciklərin hərəkəti şəkil 24.1-də göstərilir.

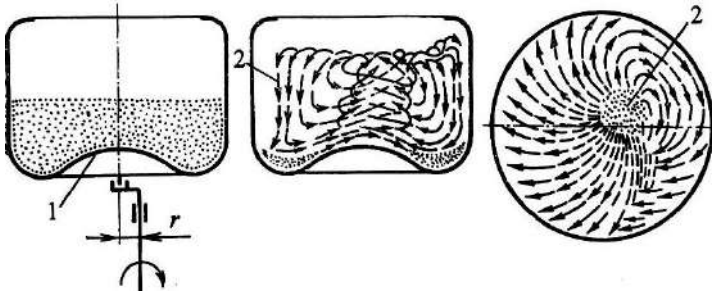


Şək.24.1. Passiv işçi səthli adgeziyalı qranulyatorada hissəciklərin hərəkətinin sxemi:

1 və 2- passiv və aktiv zonalar; 3- qomların yaranma ehtimalı olan zona

Fırılanan aparatda olan səpələnən maddənin iki zonası görünür. Zona 1 barabanın iŐi səthi ilə təmasda olur və passiv adlanır. *D* nöqtəsindən *A* nöqtəsinə kimi hissəciklərin nisbi hərəkəti praktiki olaraq yoxdur. Hissəciklərin aktivliyi *ABCD* xəttindən kənarında, xüsusən də maddənin sərbəst səthində zona 2-də baŐ verir və qranullaŐma prosesi də məhz burada yerinə yetirilir. Bu zona yüklənən həcmi 50%-n  yaxın faizi t Őkil edir. Zona 3-də qomların yaranması baŐ verə bilər.

Őekil 24.2-də aktiv iŐi səthli, periodik təsirli adgeziyalı qranulyatorda hissəciklərin prinsipial sxemi g st rilmiŐdir.  enin dibində boŐluq (batıq) 1 var. Emal prosesində maddənin ayrılması artır.  enin titr yiŐli hərəkəti iŐi həcmi ortasında maddənin artan pulsasiya edən vintvari axınını yaradır. Belə aparatda bütün yüklənən həcm aktiv olur və eyni vaxtda səpələnən maddənin bütün kütləsi qranullaŐır.

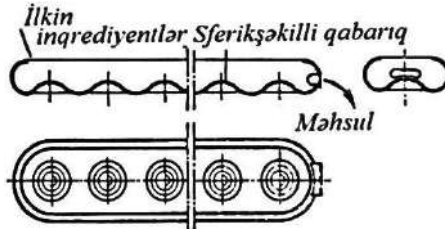


Őek.24.2. Aktiv iŐi səthli, periodik təsirli adgeziyalı qranulyatorda hissəciklərin hərəkət sxemi:
1- batıq dibli; 2- maddənin artan (qalxan) axını

Hissəciklər diskret hərəkət alır. Qomların yaranması baŐ verir. Qranulyatorun m hsuldarlıđı v  məhsulun keyfiyyəti yüksəlir. Őekil 24.3-də fasiləsiz təsirli qranulyatorun qabarıq sistemli iŐi orqanı olan tabaq verilir.

Qənnadı sənayesində draje istehsalında diametri 1 m olan 30-50° bucaq altında fırlanan, istehsal olunan məhsulun hazırlanma mərhələsindən asılı olaraq bucaq sürəti 1,9-2,7 rad/san olan  en-

lərdən istifadə olunur. Diametri 2-2,5 m olan analoji aparatlarda şəkər çuğunduru toxumları drajelənir.



Şək.24.3. Aktiv işçi səthli fasiləsiz təsirli adgeziyalı granulyatorun tabağının sxemi

Batıq dibli çənin və ya tabağın dairəvi irəli-geri hərəkətə malik granulyatorlarda sferik qranullar daha səmərəli yaranır.

Çənin diametri 0,5-0,8 m olduqda eksentritet uyğun olaraq 0,06-1 m, titrəyişlərin tezliyi 16-21 rad/san təşkil edir.

24.4. Dispers axınlarda səpələnən maddələrin, qarışıqların və suspenziyaların qranullaşdırılması

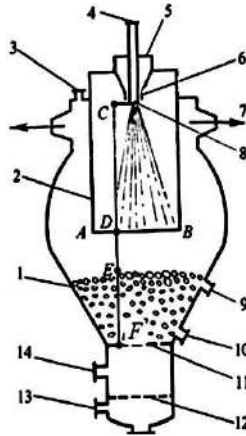
Suspenziya və qarışıqlardan qranullaşdırma prosesi sürəti faza kontaktının qiymətinə mütənasib, böyük faza səthi ilə xarakterizə olunan dispers axınlarda daha səmərəli olur.

Dispers axınların bir növü “qaynayan laydır”. “Qaynayan laylı” aparatlar qida sənayesində geniş yayılmışdır.

Şəkil 24.4-də superfosfat əsasında üzvi mineral gübrə qranullarını yaradan aparatın sxemi verilmişdir. Aparatın üç zonası vardır. Birincidə (CD həcmində silindr 2), asılı haldan maddənin 80% nəmliyi ayrılır.

Orta zona (DE həcmində) pulpanın qurudulmuş hissəciklərinin qaynayan laydan daxil olan quru qranulları əhatə etməsi hesabına baş verir. Qaynayan lay zonasında şadaranın üzərində (EF hündürlüyü boyunca) əmələ gələn qranullar verilən nəmliyə qədər qurudulur. Aparat boşalma altında işləyir. Belə aparatlarda texnoloji proses retsiklsiz və retsiklin maddənin işçi həcminə verməklə baş

verir. Pulpa dispersiya olunmuş halda layın üzərinə verilir, lakin bilavasitə qaynayan laya da daxil edilə bilər.



Şək.24.4. Qaynayan laylı qranulyator:

1- aparatın korpusu; 2- silindr; 3- rotorun girişi; 4- pulpanın girişi; 5 və 13- dəm qazları; 6- qaz ucluğu; 7- ayrılan qazlar; 8- püskürücü; 9- tozun girişi; 10- məhsul; 11- qaynayan lay şadarası; 12- alt şadara; 14- hava

Qranullaşdırılmış maddənin hidrodinamikasına təsir edən qaz-paylayıcı şadaranın konstruksiyası böyük əhəmiyyət kəsb edir. Şadaranın altına verilən “mayələşdirən” agent (istilik daşıyan) “qaynayan layı” formalaşdırır.

Yoxlama sualları

1. Yuvarlamaq nədir? 2. Hissəciklərin yuvarlanması harada yerinə yetirilir? 3. Qranullaşdırılmış məhsulun hansı növləri mövcuddur? 4. Tabletləmə nədir? 5. Rotorlu tabletləyici maşınlar hansı sinfə bölünür? 6. Məhsulların presslənməsində hansı avadanlıqdan istifadə olunur? 7. Qranullaşdırıcı qurğunun iş prinsipi necədir? 8. Yuvarlanma ilə qranullaşdırma necə baş verir? 9. Dispers axınlarda qranullaşdırma necə baş verir? 10. Qaynayan laylı qranulyatorun hissələri hansılardır?

ƏDƏBİYYAT

1. **Abasov İ.D.** Ərzaq təhlükəsizliyi və kənd təsərrüfatının prioritet istiqamətləri. – Bakı: Elm və təhsil, 2011. – 640 s.
2. **Fətəliyev H.K.** Bitkiçilik məhsullarının saxlanması və emalı texnologiyası. – Bakı: Elm, 2010. – 432 s.
3. **Fətəliyev H.K., Mikayılov V.Ş.** Tünd şərabların texnologiyası. – Bakı: Elm, 2007. – 172 s.
4. **Məmmədov Q.B.** Kənd təsərrüfatı məhsullarının emal maşınları və avadanlıqları. – Bakı: Elm, 2005. – 120 s.
5. **Məmmədov Q.B.** Yeyinti istehsalının prosesləri və aparatları. – Bakı: Elm, 2005. – 112 s.
6. **Məmmədov Q.B.** Soyuduculuq texnikası. – Bakı: Elm, 2007. – 284 s.
7. **Məmmədov Q.B., Allahverdiyeva Q.M.** İstilik və soyutma texnikası. – Bakı: Elm, 2011. – 492 s.
8. **Məmmədov Q.B., Allahverdiyeva Q.M., Cəfərov M.H.** İstilik və soyutma texnikası üzrə praktikum. – Bakı: Elm, 2011. – 148 s.
9. **Nəbiyev Ə.Ə.** Şərabın kimyası. – Bakı: Elm, 2010. – 472 s.
10. **Nəbiyev Ə.Ə., Həsənova N.R., Tağıyev M.M., Abadov M.K., Əhmədova M.İ.** Qida məhsullarının texnologiyasının nəzəri əsasları. – Bakı: Elm, 2008. – 248 s.
11. **Rənahov T.M.** Azərbaycan şərabçılıq məhsullarının texnologiyası. – Bakı: Nurlan, 2013. – 457 s.
12. **Qurbanov X.H.** Heyvandarlıqda texnoloji maşınlar. – Gəncə: AKTA, 2005. – 450 s.
13. **Галицкий Р.Р.** Оборудование зерно – перерабатывающих предприятий. – М.: Колос, 1982. – 288 с.
14. **Гинзбург А.С.** Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.
15. **Гинзбург А.С.** Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.
16. **Гребенюк С.М.** Технологическое оборудование сахарных заводов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 520 с.
17. **Жужжиков В.Д.** Фильтрование. – М.: Химия, 1971. – 420 с.
18. **Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В.** Процессы и аппараты пищевой технологии. – М.: Колос, 2000. – 551 с.

19. **Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В.** Процессы и аппараты пищевой технологии. – М.: Колос, 2000. – 551 с.
20. **Кавецкий Г.Д., Королев А.В.** Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1991. – 432 с.
21. **Кельцев Н.В.** Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
22. **Коба В.Г., Брагинец Н.В., Мурусидзе Д.Н., Некрашевич В.Ф.** Механизация и технология производства продукции животноводства. – М.: Колос, 2000. – 528 с.
23. **Крусь Г.Н., Тиняков В.Г., Фофанов Ю.Ф.** Технология молока и оборудование предприятий молочной промышленности. – М.: Агропромиздат, 1990. – 284 с.
24. **Кук Г.Д.** Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1984. – 768 с.
25. **Куликов В.Н., Миловидов М.Е.** Оборудование предприятий элеваторной и зерно – перерабатывающей промышленности. – М.: Колос, 1984. – 336 с.
26. **Курочкин А.А., Ляшенко В.В.** Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства / Под ред. В.М.Баутина. – М.: Колос, 2001. – 440 с.
27. **Лыков А.В.** Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
28. **Магеррамов М.А.** Теплофизические свойства натуральных и концентрированных плодовоовощных соков. – Баку: Элм, 2006. – 274 с.
29. **Марценюк А.С., Стабников В.Н.** Пленочные тепло – и массообменные аппараты пищевой промышленности. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 160 стр.
30. **Михеев М.А., Михеева И.М.** Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 319 с.
31. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / Под ред. **С.М.Гребенюка и И.М.Михеевой.** – М.: Агропромиздат, 1987. – 304 с.
32. **Стабников В.Н., Лысянский В.М., Попов В.Д.** Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат, 1985. – 503 с.
33. **Стабников Н. В.** Перегонка и ректификация спирта. – М.: Пищепромиздат, 1962. – 373 с.

MÜNDƏRİCAT

Giriş.....	3
1. Qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları elminin yaranması və inkişafı.....	7
2. Qida məhsulları texnologiyalarının proses və aparatları elminin əsasları.....	8
I Hissə. Ümumi qanunlar.....	9
Fəsil 1.	9
1.1. Qida məhsullarının və xammalın əsas xassələri.....	9
1.2. Qida texnologiyasının əsas proseslərinin kinetik asılılıqları.....	16
1.3. Maşın və aparatların ümumi hesabat prinsipləri.....	18
1.4. Maşın və aparatlara tələbatlar.....	20
1.5. Qida sənayesinin maşın və aparatlarında istifadə olunan materiallar və onların seçimi.....	21
1.6. Qida texnologiyası proseslərinin modelləşdirilməsi və oxşarlığı.....	24
II Hissə. Hidromexaniki proseslər.....	31
Fəsil 2. Müxtəlifcinsli sistemlərin ayrılması.....	31
2.1. Müxtəlifcinsli sistemlərin təsnifatı.....	31
2.2. Ayırma metodları.....	32
2.3. Ayırma proseslərinin material balansı.....	32
2.4. Müxtəlifcinsli sistemlərin ayırma kinetikasi. Çökdürmə kinetikasi.....	34
2.5. Qravitasiya qüvvəsinin təsirindən çökdürmə.....	42
2.6. Mərkəzdənqaçma qüvvəsinin təsirindən çökdürmə.....	44
2.7. Çökdürmə avadanlıqları.....	46
Fəsil 3. Filtrləmə.....	51
3.1. Filtrləmə proseslərinin tipləri.....	51
3.2. Çöküntülü filtrləmə nəzəriyyəsi.....	52
3.3. Çöküntülü filtrləmənin iki rejimi.....	54
3.4. Çöküntüsüz filtrləmənin əsas qanunları (tıxaclı filtrləmə).....	58
3.5. Filtrləmə aparatları.....	60
3.6. Mərkəzdənqaçma filtrləmə.....	68
3.7. Periodik və fasiləsiz təsirli filtrləyici sentrifugalalar.....	70
3.8. Sentrifuganın valında gücün təyini.....	72
3.9. Fasiləsiz təsirli filtrləyici sentrifugalalar.....	75
Fəsil 4. Qeyri-yekcins qaz sistemlərinin ayrılması.....	79
4.1. Qazların qravitasiyalı təmizlənməsi.....	79

4.2. Qazların inersiya (ətalət) və mərkəzdənqaçma qüvvələrinin təsirindən təməzlənməsi.....	81
4.3. Qazların məsəməli arakəsmələrdən keçərək filtrlənməsi.....	86
4.4. Qazların nəmli təməzlənməsi.....	89
4.5. Köpüklü barbotajlı toztutucular.....	90
4.6. Elektrik sahəsinin təsirindən çökdürmə.....	92
Fəsil 5. Saxta mayeləşmə (qaynayan lay).....	97
5.1. Qaynayan layda qarışma intensivliyi.....	97
5.2. Saxta mayeləşmənin fiziki əsasları və hesabat düsturları.....	99
5.3. Saxta mayeləşən laylı (qaynayan laylı) aparatlar.....	105
Fəsil 6. Qarışdırma.....	109
6.1. Qarışdırma üsulları.....	109
6.2. Mexaniki qarışdırma.....	109
6.3. Mexaniki qarışdırmada enerji sərfi.....	111
6.4. Qarışdırıcı qurğular.....	112
6.5. Səpələnən kütlələrin qarışdırılması.....	115
6.6. Plastik kütlələrin qarışdırılması.....	117
Fəsil 7. Əks osmos və ultrafiltrasiya.....	119
7.1. Əks osmos və ultrafiltrasiya ilə ayırmanın nəzəri əsasları.....	120
7.2. Membranlı aparatların quruluşu.....	125
7.3. Axınlı aparatların hesabatı.....	130
III Hissə. İstilikdəyişmə prosesləri.....	133
Fəsil 8. İstilikötürmənin əsas tənlikləri.....	135
8.1. İstilik axını (seli).....	135
8.2. İstilik şüalanması.....	136
8.3. Konvektiv istilikdəyişmə (istilikvermə).....	139
8.4. İstilikvermənin əsas qanunu – Nyuton qanunu.....	140
8.5. Bırfazlı mühitdə istilikvermə.....	142
8.6. Faza dəyişməsində istilikvermə.....	145
8.7. İstilikötürmə əmsalı və ümumi termiki müqavimət.....	147
8.8. İstilikötürmə əmsallarının hesabatı.....	150
8.9. İstilikdəyişənlər.....	153
8.9.1. Köynəkli borulu istilikdəyişənlər.....	155
8.9.2. Elementli istilikdəyişənlər.....	157
8.9.3. Daldırılan borulu istilikdəyişənlər.....	157
8.9.4. Suvarıcı istilikdəyişənlər.....	158
8.9.5. Səthi istilikdəyişənlər.....	159
Fəsil 9. Buxarlanma (qatlaşma).....	161
9.1. Buxarlanma prosesi.....	161

9.2. Qatılşmada qarışıqın xassələrinin dəyişməsi.....	161
9.3. Buxarlandırma metodları.....	163
9.4. Buxarlandırmanın material balansı.....	167
9.5. Buxarlanmanın istilik balansı.....	170
9.5.1. Tək buxarlandırıcı aparatda buxarlandırma.....	170
9.5.2. Çox korpuslu qurğuda buxarlanma.....	174
9.6. Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun işinin analizi.....	177
9.6.1. Korpusların yüklənməsinin əsas tənlikləri.....	177
9.6.2. Korpusların yüklənmə tənliklərinin analizi.....	180
9.7. Buxarlandırıcı aparatların və qurğuların istilik hesabı.....	183
9.8. Bir korpuslu buxarlandırıcı aparatın hesabı.....	184
9.9. Çox korpuslu buxarlandırıcı qurğunun hesabı.....	187
9.10. Buxarlandırıcı aparatların konstruktiv sxemləri.....	190
Fəsil 10. Kondensasiya.....	197
10.1. Səthli kondensatorlar.....	197
10.2. Səthli kondensatorlarda buxarın kondensasiyası və onların hesabı.....	200
10.3. Qarışdırıcı kondensatorlar.....	204
10.4. Kaskadlı kondensatorlarda iş prosesi.....	207
10.5. Barometrik kondensatorun hesabı.....	209
IV Hissə. Kütləyəşmə prosesləri.....	213
Fəsil 11. Kütləyəşmənin əsasları.....	213
11.1. Kütləyəşmə proseslərinin təsnifatı.....	213
11.2. Qazın tərkibini ifadə etmə üsulları.....	215
11.3. Fazaların tarazlığı.....	217
11.4. Kütləyəşmə prosesinin material balansı.....	220
11.5. Kütləötürmə prosesinin mexanizmi.....	222
11.6. Kütləvermə.....	224
11.7. Bərk fazası olmayan sistemdə kütləötürmə.....	226
11.8. Bərk fazalı sistemdə kütləötürmə.....	233
Fəsil 12. Sorbsiya prosesləri.....	239
12.1. Sorbsiya proseslərinin təsnifatı.....	239
Fəsil 13. Absorbsiya.....	241
13.1. Absorbsiyanın material balansı.....	241
13.2. Absorbsiya prosesinin işçi xətti.....	242
13.3. Absorbsiya prosesinin hərəkətedici qüvvəsi.....	243
13.4. Absorbsiyanın əsas tənliyi.....	245
13.5. Absorbsiya əmsallarının təyin edilməsi.....	247
13.6. Absorberlər.....	248
13.7. Taxmalı absorberlərin əsas ölçülərinin təyini.....	251

Fəsil 14. Adsorbsiya	255
14.1. Əsas anlayışlar.....	255
14.2. Adsorbentlər.....	256
14.3. Adsorbsiyada tarazlıq.....	259
14.4. Desorbsiya.....	260
14.5. Adsorbsiya prosesinin hesabat metodları.....	261
14.6. Adsorberlər.....	266
14.7. İon mübadiləsi.....	271
Fəsil 15. Qovma	275
15.1. Qovma nəzəriyyəsinin əsasları.....	275
15.2. Binar qarışıqların təsnifatı.....	275
15.3. Qovmanın əsas qanunları.....	277
15.4. Tarazlıq ayrılması.....	278
15.5. M.S.Vrevskinin qanunları.....	280
15.6. Temperaturlar və istilik diaqramı.....	281
15.7. Defleqmasiya haqqında anlayış.....	283
15.8. Qovma proseslərinin klassifikasiyası.....	283
15.9. Adi qovma prosesi.....	284
15.10. Vakuum altında adi qovma. Su buxarı ilə qovma.....	288
15.11. Mürəkkəb qovma (rektifikasiya).....	290
15.12. Sütunlu aparatlar.....	293
15.13. Boşqablarda baş verən proseslər.....	294
15.14. Rektifikasiya sütununun boşqablarının sayının təyini.....	297
15.15. Rektifikasiya aparatlarının işinin analizi.....	304
15.16. Optimal fleqma ədədinin seçimi.....	306
15.17. Daxil olan qarışığın temperaturunun qovmanın gedişinə təsiri.....	308
15.18. Rektifikasiya aparatlarının material və istilik balansları.....	309
15.19. Rektifikasiya aparatlarının konstruksiyası.....	312
15.19.1. Boşqablı aparatlar.....	312
15.19.2. Taxmalı sütunlar.....	317
15.19.3. Plyonkalı sütunlar.....	318
15.19.4. Rotorlu aparatlar.....	319
15.20. Rektifikasiya qurğularının sxemi.....	321
Fəsil 16. Ekstraksiya prosesləri	325
16.1. Maye – maye sistemində ekstraksiya.....	325
16.2. Maye – maye sistemində tarazlıq.....	326
16.3. Ekstraksiyada kütlədəyişmə.....	330
16.4. Ekstraksiya proseslərinin hesabatı və sxemləri.....	331
16.5. Ekstraktorların konstruksiyası və hesabatı.....	337
16.6. Bərk cisim – maye sistemində ekstraksiya.....	350
16.7. Yuyulmanın statikası və kinetikası.....	351

16.8. Ekstraksiya aparatlarının hesabı.....	354
16.9. Yuyulma üçün ekstraksiya aparatlarının quruluşu.....	357
Fəsil 17. Kristallaşma.....	365
17.1. Kristallaşma üsulları.....	365
17.2. Kristallaşma nəzəriyyəsinin əsas anlayışları.....	366
17.3. Kristal yaranma (əmələ gəlmə) prosesinin əsas parametrləri.....	366
17.4. Çoxdoyma sürətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi.....	367
17.5. Kristalların yaranma sürəti ilə böyümə sürəti arasındakı asılılıq.....	369
17.6. Kristallaşma prosesinin optimallaşdırılmasının əsas şərtləri.....	371
17.6.1. Dayanıqlı nizamlanan kristalların yaranması.....	371
17.6.2. Kristalların böyüməsinin nizamlanması.....	372
17.7. Kristallaşma prosesinin statikası.....	373
17.8. Kristallaşdırmanın kinetikası və şərtləri.....	374
17.9. Kristallaşma üsulları.....	378
17.10. Kristallaşmanın material və istilik balansı.....	379
17.11. Kristallaşdırıcıların quruluşu.....	381
Fəsil 18. Qurutma.....	389
18.1. Susuzlaşdırma üsulları.....	389
18.2. Qurutmanın ümumi xarakteristikası.....	389
18.3. Nəmliyin materialla əlaqə növləri.....	390
18.4. Nəmliyin konsentrasiyası.....	391
18.5. Tarazlı nəmlik.....	391
18.6. Qurutmanın kinetikası. Nəmlikötürmə və termonəmlikötürmə.....	392
18.7. Qurutma əyriləri və qurutma sürətinin əyriləri.....	394
18.8. Qurutma sürətinin tənliyi.....	397
18.9. Məhsulların sıxılması və deformasiyası.....	100
18.10. Quruducuların hesabı.....	401
18.11. Real qurutma prosesinin material və istilik balansı.....	403
18.12. $i-x$ diaqramında qurutmanın həqiqi normal prosesi.....	406
18.13. Quruducu prosesin variantları.....	409
18.14. Quruducuların konstruksiyası.....	411
V Hissə. Biokimyəvi proseslər.....	427
FƏSİL 19. Biokimyəvi prosesin əsasları.....	427
19.1. Fermentasiya proseslərinin kinetikası.....	429
19.2. Fermentasiya proseslərində kütlədəyişmə.....	431
19.3. Fermentasiya proseslərini yerinə yetirmək üçün aparatlar.....	433
VI Hissə. Mexaniki proseslər.....	437
Fəsil 20. Xırdalama və klassifikasiya.....	437
20.1. Xırdalama üsulları.....	437

20.2. Xırdalamanın fiziki əsasları.....	438
20.3. Xırdalayıcı maşınların konstruksiyaları və işi.....	441
Fəsil 21. Kəsmə.....	459
21.1. Kəsici qurğuların təsnifatı.....	459
21.2. Kəsmə nəzəriyyəsi.....	460
21.3. Əsas doğrayıcıların tipləri.....	461
Fəsil 22. Sortlaşdırma.....	467
22.1. Dənəvər materialların klassifikasiyası.....	467
22.2. Hissəciklərin ölçülərinə görə ayırma (ələmə).....	467
22.3. Ələk analizi.....	470
22.4. Ələyən maşınların klassifikasiyası.....	471
Fəsil 23. Presləmə.....	479
23.1. Qida məhsullarının təzyiqlə emal nəzəriyyəsinin elementləri.....	479
23.2. Məhsulların emalı üçün preslər.....	485
Fəsil 24. Qranullaşdırma.....	491
24.1. Qranullaşdırma üsulları.....	491
24.2. Presləmə ilə qranullaşdırma.....	491
24.3. Yuvarlanma ilə qranullaşdırma.....	492
24.4. Dispers axınlarda səpələnən maddələrin, qarışıqların və suspensiyaların qranullaşdırılması.....	495
Ədəbiyyat.....	497

Мамедов Габиль Балакиши оглы
доктор технических наук, профессор

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**
(учебник)

