

Fənn: REOLOGİYANIN ƏSASLARI
Müəllim: dosent.F.R.Zeynalova

MÜHAZİRƏ 1

Mühəndis reologiyasının əsas anlayışları və məqsədləri.

Plan:

- 1.Struktur-mexaniki xassələr nəyi öyrənir.**
- 2.Müxtəlif proseslərin(fiziki-kimyəvi, bioloji,mexaniki və s. texnoloji və idarəetmə proseslərinə təsiri.**
- 3.Reoloji xassələrin öyrənilməsinin müxtəlif sahələrdə tətbiqi.**
- 4.Qida məhsulların müxtəlif amillərdən asılılığı.**
- 5.Reologiyanın öyrəndiyi məsələlər.**
- 6.Deformasiya haqqında anlayış.**
- 7.Materialların müxtəlif reoloji xassələri.**

Məhsulun bioloji və kimyəvi tərkibi (resepti) və struktur quruluşundan (məhsulun) asılı olan fiziki xassələrin bir qrupu onun keyfiyyətinin bəzi mühüm tərəfləri haqqında tam təsəvvür yarada bilər. Bu xassələrdə olan ən kiçik dəyişikliklər kəmiyyətlərin qiymətində əhəmiyyətli dəyişikliklərə səbəb olur ki, onları cihazlar qeyd edir. Bu zaman xammalın xassələri hazır məhsulların əsas göstəricilərini qabaqcadan müəyyən edir. Belə göstəricilərin bir qrupuna struktur-mexaniki (reoloji) xassələri aid etmək olar.

Müxtəlif ərzaq materiallarının emalı zamanı, fiziki-kimyəvi, bioloji və mexaniki proseslərlə müşayiət olunur ki, onların öyrənilməsi istehsalın texnoloji proseslərinə səmərəli və obyektiv reoloji nəzarəti və idarəetməni təşkil etməyə imkan verir. Yeyinti sənayesində aparılan proseslərin bir çoxu dispers sistemlərin, suspenziyaların, kolloid məhlulların, müxtəlif elastik, plastik, özlü materialların emalı ilə bağlıdır. Reoloji tədqiqatlar qida materiallarının emalı zamanı baş verən fiziki hadisələri daha dərinlən öyrənməyə imkan verir. Reoloji xassələrdən yeni dizaynı

maşınların yaradılması və mövcud olan maşınların yenidən layihələndirilməsi, eləcə də avadanlıqlar üçün daha səmərəli iş rejiminin və istehsalın optimal texnoloji sxemlərinin seçilməsi üçün aparılan proseslərin hesablanması istifadə edilə bilər, həmçinin, maşınların, aqreqatların, istehsal sahələrinin idarə edilməsində, məhsulun keyfiyyətinə avtomatlaşdırılmış nəzarət zamanı nəzarət parametrləri kimi istifadə edilir. Reologiya əlavələrin daxil edilməsi, rejimlərin və mexaniki-texnoloji üsulların dəyişdirilməsi yolu ilə ərzaqların strukturu və keyfiyyətini idarə etməyə imkan verir.

Qida xammalının və məhsulların xassələri temperatur, rütubət, mexaniki təsirin miqdarı və müddəti kimi amillərdən, eləcə də saxlama müddəti, daşınma, məhsulun alınma üsulu və digər səbəblərdən asılıdır.

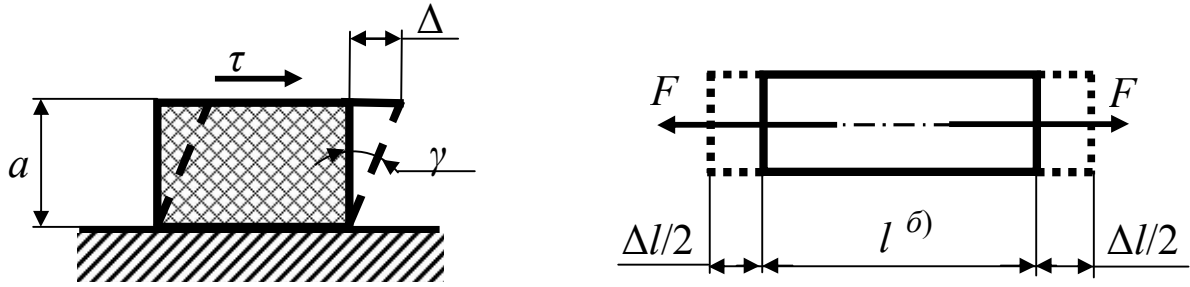
Reologiya – müxtəlif cisimlərin deformasiyasını və axmasını öyrənən elmdir. «Reologiya» sözü yunanca «ρεω» sözündən götürülmüşdür, mənası «axma» deməkdir.

Deformasiya – xarici qüvvələrin təsiri altında, temperaturun, rütubətin və s. dəyişilməsi zamanı, cismin formasının və xətti ölçülərinin dəyişməsidir. Bu zaman molekullar və hissəciklər cismin tamlığı pozulmadan bir-birinə keçirlər. Deformasiyanın həcmi və xarakteri xarici qüvvələrin tətbiqindən, cismin materialından və onun formasından asılıdır.

«Materialların müqaviməti» kursundan məlumdur ki, deformasiyanın iki növü var: a) qayıdan (elastik), yəni xarici qüvvənin təsiri kəsildəndən sonra yox olur; b) plastik (özlü), yəni xarici qüvvənin təsiri kəsildəndən sonra yox olmayan. Elastiki deformasiya zamanı mexaniki enerjinin bir hissəsi istiliyə çevrilir. Bundan başqa, deformasiyaların digər bölgüsü də mövcuddur. Məsələn, yükün növünə görə yerdəyişmə (şək. 1.1, a), biroxlu (xətti) (şək. 1.1, b), eləcə də ikioxlu (yastı, düz) və həcmi ola bilər.

Bu halda deformasiyalar aşağıdakı tənliklə hesablanır:

$$\gamma = \frac{\Delta}{a}; \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.1)$$



Şək. 1.1. Materialların yüklənmə sxemi:

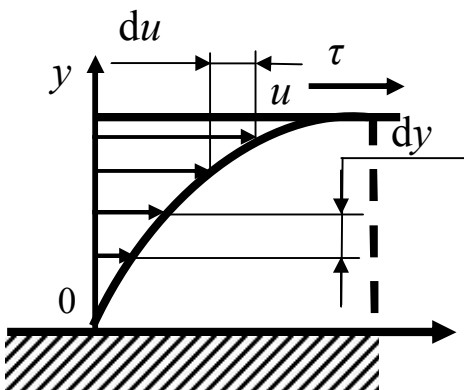
a) yerdəyişmə; b) gərilmə

Əgər müəyyən edilməmiş prosesdə deformasiya t zamanında dəyişirsə, bu halda gərginlik dərəcəsi (sürət qradienti) nəzərə alınır; müəyyən edilmiş prosesdə deformasiyanın dəyişməsi vahid zamanda daimidir.

Bu gərilmə-sıxılma $\dot{\gamma}$ [s^{-1}] və yerdəyişmə zamanı, «deformasiya sürəti» – $\dot{\varepsilon}$ [s^{-1}] kəmiyyəti ilə xarakterizə edilir:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}; \dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (1.2)$$

Əgər yerdəyişmə zamanı deformasiya sonlu qüvvələrin təsiri altında fasiləsiz və daima artırsa, material axmağa başlayır. Sabit axın rejimi mənacə deformasiya dərəcəsinə oxşar olan sürət qradienti ilə xarakterizə olunur (şək.1.2):



$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dy}, \quad (1.3)$$

burada: τ – yerdəyişmə gərginliyi, Pa;

u – səth təbəqəsinin xətti sürəti, m/s;

y – sürət vektoru üzrə təbəqənin koordinatı, m

Şəkil 1.2. Materialın sabit axma rejiminin sxemi

Reologiyada iki növ axma forması vardır: 1. *Özlü axma* – hər hansı kiçik τ yerdəyişməsi zamanı həqiqi özlü

nyuton mayelərində reallaşır. Bu axma Nyuton tənliyi ilə ifadə olunur:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\varepsilon} \text{ və ya } F = \eta \cdot A \cdot \frac{du}{dy}, \quad (1.4)$$

burada η – iki maye təbəqəsi arasında onların nisbi qarışması zamanı yaranan qüvvələrin miqdarını xarakterizə edən dinamik və ya mütləq özlülük əmsalı, Pa·s;

F – iki səth təbəqəsi arasında itələmə qüvvəsi, N;

A – bu təbəqələrin itələmə səthinin sahəsi, m²;

2. *Plastiki axma* – axıcılıq həddi τ_T -yə bərabər olan τ gərginliyi zamanı olan axmadır.

Gərilmə – cisimdə xarici qüvvələrin təsiri altında yaranan, qüvvə vektoruna normal vahid səthə düşən A [m²] daxili qüvvələrin ölçüsüdür F [N]:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ Pa.} \quad (1.5)$$

Yüklənmiş cisimdə gərilmə:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta A} \right). \quad (1.6)$$

Yerdəyişmə və ya toxunma gərginliyi (τ), normal gərginlik (σ), təzyiq, ya da hidrostatik təzyiq (p) və adgeziya, ya da yapışma təzyiqi (p_0) formaca 1.5 asılılığı ilə təsvir edilir ki, burada güc və sahə müvafiq fiziki məna kəsb edəcəkdir .

Müşaiyətlə olunan gərilmələrdən asılı olaraq deformasiyaların müxtəlif növlərinin öyrənilməsi reologiyanın predmetini təşkil edir.

Materialların əsas reoloji xassələrinə özlülük, elastiklik, plastiklik, bərklik və sərtlilik aiddir. Eyni adlı materialda onun vəziyyətindən və yüklənmə şərtlərindən asılı olaraq, müəyyən reoloji xassələr üzə çıxır. Buna görə də, ilk növbədə aydınlaşdırmaq lazımdır ki, verilmiş deformasiya şəraitində öyrənilən materialın hansı xassələrini əsas hesab etmək olar.

Özlülük – axmaya qarşı müqavimət ölçüsüdür. O, həm maye, həm də plastik cisimlər üçün axıcılıq həddindən sonra əsas xassə hesab olunur. Qeyri-Nyuton mayeləri üçün özlülük yerdəyişmə sürətinin funksiyasıdır, onu «görünən», ya da effektiv özlülük adlandırırlar η_{ef} [Pa·c]. Qeyri-Nyuton

mayeləri üçün effektiv özlülük iki komponentdən ibarətdir:

- 1) nyuton özlülük η , daxili sürtünməyə əsaslanır və materialın fiziki sabitliyini ifadə edir;
- 2) struktur müqavimət dispers sistemlərin struktur vəziyyətindən asılıdır və yerdəyişmə sürətinin funksiyasıdır $\dot{\gamma}$.

Elastiklik – cismin deformasiyadan sonra öz əvvəlki vəziyyətini tamamilə bərpa etməsi qabiliyyətidir, burada deformasiya işi bərpa işinə bərabərdir. Cisimlərin elastikiliyi dartılma-sıxılma zamanı birinci növ elastiklik modulu (Yunq modulu) E [Pa] ilə, yerdəyişmə zamanı ikinci növ elastiklik modulu (yerdəyişmə modulu) G [Pa] ilə xarakterizə olunur.

Plastiklik – xarici qüvvələrin təsiri altında cismin tamlığı pozulmadan, bərpa edilmədən deformasiya etməsi qabiliyyətidir. Bu mənada reologiyada deformasiyalar zamanı gərilmənin son həddi adlanan və θ_0 ifadə olunan anlayış mövcuddur. Bu gərginliyin artması zamanı cisimdə plastik deformasiyalar meydana çıxır.

Möhkəmlik – cismin axmasına və ya onun tamamilə dağılmasına gətirib çıxaran xarici qüvvələrin təsirinə qarşı onun müqavimət göstərməsidir. Elastiki cisimlərdə deformasiya sürəti möhkəmlik həddinə təsir göstərmir, odur ki, statik və dinamik möhkəmlik arasında heç bir fərq yoxdur. Qeyri-elastik cisimlər (bütün bərk qida məhsulları bura aiddir) həm elastiki, həm də plastiki xassələrə aid olduğundan möhkəmlik deformasiyanın sürətindən bilavasitə asılıdır.

Sərtlilik – elastiki olmayan cisimlərin qalıcı deformasiyalar zamanı digər cisimlərin nüfuz etməsinə qarşı müqavimətini göstərən kompleks xassəsidir. Sərtlilik ölçü ilə bir-qiyəmətli fiziki kəmiyyət kimi ifadə edilə bilməz. O, təyin üsulundan asılı olaraq nisbi kəmiyyətlə ifadə olunan qismən, texniki parametrdir.

Materialların digər fiziki-mexaniki xassələrinə *yumşaqlıq*, *kövrəklik*, *adgeziya* və *yapışqanlılıq* aiddir.

Yerdəyişmə – reologiyada deformasiyanın ən vacib növü hesab olunur. Sadə yerdəyişməyə elementin üzlərinə toxunan gərginliyin təsiri ilə yaranan tərpənməz səthə paralel olan səthi deformasiya kimi baxılır. Sadə yerdəyişmə laminar axın kimidir, bu zaman cisim sonsuz sayda nazik təbəqələrdən ibarətdir. Bu təbəqələr deformasiya etməyərək biri digərinin üzərində sürüşür (şək.1.1,a).

Yumşaqlıq – sərtliyin əksi olan xassədir.

Kövrəklik – bərk cisimlərin zəif deformasiyalarda belə dağılmasına gətirib çıxaran xassəsidir. Elastiki cisimlər istənilən deformasiyalarda ən kövrək dağılmalara gətirib çıxarır. Qeyri-elastiki cisimlərdə kövrək dağılmalar yalnız güclü deformasiyalarda və ya aşağı temperaturlarda, özlülük xassələri öz təsirini itirən zaman baş verir.

Adgeziya – iki müxtəlif cismnin fazaların bölünmə sərhəddində qarşılıqlı təsirinə əsaslanır və cisimlərin bir-birinə yapışmasına səbəb olur. Cisimlərin ayrılması üçün yapışma qüvvələrinə üstün gəlmək lazımdır.

Yapışqanlılıq – özlü və ya plastik materialların sərhəd qatının bir-birinə yapışan səthlərin ayrılmasına müqavimət göstərməsi xassəsidir.

Hər bir material müxtəlif dərəcədə olsa da, bütün reoloji xassələrə malikdir. Eyni materialda onun vəziyyətindən və yüklənmə şərtlərindən asılı olaraq, az və ya çox dərəcədə müxtəlif reoloji xassələr meydana çıxa bilər.

Reologiyanın keyfiyyətə inkişafı fiziki-kimyəvi mühəndislik mexanikasında mühüm rol oynayır və bu dəyişikliklər aşağıdakı mərhələlərdə özünü göstərir.

Klassik reologiya həqiqi cisimlərin (həqiqi cisimlərin və ya dispers sistemlərin texniki mexanikası) deformasiyası və axması haqqında elm kimi, hazır məhsulların xassələrinin öyrənilməsinə və lazımi keyfiyyətdə hazır məmulatların alınması üçün maşınların işçi orqanlarında onların hərəkət prosesinin hesablanması metodlarının işlənilib-hazırlanmasını vacib məsələ kimi qarşıya qoyur.

Fiziki-kimyəvi mexanika müəyyən xüsusiyyətlərə malik dispers sistemlərin strukturunun formalaşması üsulları və qanunauyğunluqları haqqında elm kimi aşağıdakı vəzifələri vardır:

1) fiziki-kimyəvi, biokimyəvi, mexaniki və digər amillərin məcmusundan asılı olaraq dispers və həqiqi sistemlərdə strukturunun formalaşması və dağılmasının müəyyən edilməsi;

2) müəyyən reoloji (ən geniş mənada) xassələrə malik strukturların alınması yollarının araşdırılması, əsaslandırılması və səmərəliləşdirilməsi

3) maşın və aparatların hesablanması üçün müəyyən edilmiş qanunauyğunluqların tətbiqi üsullarının və struktur-mexaniki xassələrin qiymətinə görə keyfiyyətinin əsas göstəricilərinə operativ nəzarətin işlənilib-hazırlanması.

İdarəedici reologiya emal edilən xammala müxtəlif növ təsirlərin elə uyğunluğunu öyrənir və əsaslandırır ki, bu zaman reoloji xassələrin müəyyən səviyyəsi bütün texnoloji prosesin gedişində və müəyyən istehlak xüsusiyyətlərinə malik hazır məhsulun alınması zamanı təmin edilir.

Tədqiqatların mühəndis reologiyası və fiziki-kimyəvi mexanikanın metodları ilə həyata keçirilməsi məmulat çıxımını stabilləşdirməyə, daimi, əvvəlcədən müəyyən edilmiş keyfiyyətə malik məhsullar istehsal etməyə, məhsulun keyfiyyəti anlayışını elmi cəhətdən əsaslandırmağa, texnoloji prosesləri hesablamağa, təkmilləşdirməyə və intensivləşdirməyə, bu və ya digər ərzaq məhsullarını «yaratmağa» və s. imkan verir. Bu onu göstərir ki, qida məhsullarının reologiyası və

fiziki-kimyəvi mühəndis mexanikası passiv bilik sahəsindən yeni və mövcud olan texnoloji proseslərin işlənilib-hazırlanması məqsədilə istehsal proseslərinə fəal şəkildə müdaxilə etməyə imkan verən istehsal gücünə çevrilmişdir.

MÜHAZİRƏ 2

Reoloji cisimlərin təsnifatı

Plan:

- 1.Qida reologiyasının tədqiqat obyektləri.**
- 2.Dispers sistemlər.**
- 3.Dispers sistemlərin tipləri.**
- 4.Makro və mikroreologiyanın fərqi.**
- 5.Reoloji xassələrə görə ərzaq məhsulların təsnifatı.**
- 6.Fiziki göstəricilərə görə cisimlərin təsnifatı**
- 6.Rebinder və Mixaylovun təklif etdiyi cisimlər barəsində.**
- 7. Strukdurlaşmış mayelərin xüsusiyyətləri.**

Qida reologiyasında tədqiqat obyekti qida materiallarıdır. Qida materialların ilkin keyfiyyət təhlilini və qruplaşdırılmasını aparaq. Əgər qaz, maye və bərk cisimləri əsas bəsit (aqrəqat halına görə) materiallar kimi qəbul etsək, onda qida materiallarının böyük əksəriyyəti dispers sistemlərdən ibarətdir. Məhz xüsusilə sonuncular deformasiyanın və axmanın klassik qanunlarından əhəmiyyətli kənarlaşmalar ilə xarakterizə edilir.

Dispers sistemlər iki və ya daha artıq komponentdən (və ya faza) ibarətdir. Adətən, bu komponentlərdən birinə dispers mühit, digərinə dispers faza deyilir. Belə bölgü şərti və bir çox hallarda az və ya çox aşkar hesab olunur. Dispers mühitlər şərti olaraq səkkiz tipə bölünür:

- 1) bərk və qaz fazasından ibarət ikifazalı sistem;
- 2) bərk və maye fazadan ibarət ikifazalı sistem;
- 3) maye və qaz fazasından ibarət ikifazalı sistem;
- 4) iki bərk fazadan ibarət ikifazalı sistem;
- 5) iki maye fazadan ibarət ikifazalı sistem;
- 6) iki qaz fazasından ibarət ikifazalı sistem;

7) bərk, maye və qaz fazadan ibarət üçfazlı sistem;

8) çoxfazlı sistemlər.

Xammal və yarımfabrikatlar da daxil olmaqla, qida məhsulları tərkibindən, dispers quruluşundan və strukturundan asılı olaraq, müxtəlif reoloji xassələrə malikdir (cədvəl 1.1).

Fəza quruluşuna olan yüksək konsentrasiyaya dispers sistemlər daha mürəkkəb reoloji xassələrə malikdir.

Dispers mühitlərin təsnifatını daha geniş planda, yeyinti sənayesində tez-tez rastlaşdığımız mühit təsnifatının bir hissəsi olaraq gözdən keçirsək, ona maqnit və elektrik sahələri, elektromaqnit şüalanması seli, radioaktiv şüalanma, ultrasəs və s. haqqında təsəvvürləri daxil etmək lazımdır.

Makroreologiya bütün materialları onlara adi gözlə üst tərəfdən baxıldıqda göründüyü kimi, yəni bircinsli və xətti struktura malik şəkildə öyrənir. Yalnız təmiz maye və mükəmməl kristallar müstəsna halda homogen olur.

Mikroreologiya iki və çoxfazlı sistemlərin reoloji davranışını onun komponentlərinin reoloji xassələrindən asılı olaraq öyrənir.

Cədvəl 1.1. Reoloji xassələrinə görə ərzaq məhsullarının təsnifatı

	Məhsul (o cümlədən xammal, yarımfabrikat)	Tipik reoloji xassələr
Dispers sistem		
Xalis maye	Su, spirt, yağ	Nyuton özlülük
Xalis əritmə	Ərinmiş yağlar (kakao yağı), ərinmiş şəkər	Əsasən nyuton özlülük
Həqiqi məhlul	Duz və şəkər məhlulları, cövhərlər, pivə, içkilər	Həmçinin
Kolloid məhlul	Zülal məhlulları, bulanıq meyvə və giləmeyvə şirələri	Nyuton özlülük, özlü-elastiklik, tiksotropiya ola bilər
Mayeşəkilli	Suspenziyalar (kakao, meyvə və tərəvəz şirələri, şorbalar), emulsiyalar (süd, qaymaq, mayonez)	Nyuton özlülük və qeyri-nyuton özlülük, özlü-elastiklik, tiksotropiya
Pastaşəkilli	Meyvə püresi (almalı muss), qozlu (fındıqlı) muss, kəsmik, qiymə	Qeyri-nyuton özlülük, tiksotropiya, reopeksiya, özlü-elastiklik
Rabitəli yumşaq	Yağ, köpüklü kütlə, jele, xəmir, yoqurt, şorba, paştet, kartof püresi	Plastik özlülük, dönən və dönməz tiksotropiya, elastiklik, özlü-elastiklik
Rabitəli yarımbərk	Çörəyin içi, bişmiş kolbasa, bişmiş kartof	Elastiklik, plastik özlülük, özlü-elastiklik
Bərk	Təzə alma, armud, kartof, xiyar, ət, uzun müddət saxlanan çörək-	Elastiklik, plastik özlülük, özlü-elastiklik

	bulka məmulatı, şokolad, konfeti	
Sərt	Karamel, taxıl, qoz-fındıq ləpəsi, makaron məmulatı, kök	Elastiklik, sərtlilik, yüksək axıcılıq və bərklik, kövrəklik

Real cisimlərin «ideal» reoloji cismin bu və ya digər növünə aid olmasının ilkin təcrübələr əsasında aşkara çıxarılması tədqiqat üçün doğru vasitələr seçməyə və lazım olan xassələri müəyyən etməyə imkan verir.

Yerdəyişmə xassələri belə xassələrin əsas qrupunu təşkil edərək, həm maşınların hərəkətli hissələrində müxtəlif prosesləri hesablamağa, həm də ərzaq məhsullarının keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün geniş istifadə olunur. Bununla əlaqədar olaraq ərzaqların və yerdəyişmə xassələrinə malik digər reoloji cisimlərin təsnifat üsulları daha geniş yayılmışdır.

Reoloji cisimlərin gərilmənin son həddinin onun sıxlığının sərbəst düşmə həddinə olan hasilinə nisbətinin $[\theta_0/(\rho \cdot g)]$ qiymətinə görə A.V. Qorbatov tərəfindən verilən təsnifatında (cədv. 1.2) cismin öz formasını saxlamaq qabiliyyəti göstərilir. Bu təsnifat aşağıdakı kimidir:

Cədvəl 1.2. Fiziki göstəricilərə görə cisimlərin təsnifatı

$\theta_0/(\rho \cdot g), m$	0,005-dən az	0,005 – 0,02	0,02 – 0,15	0,15-dən çox
Cismin adı	Struktur mayeləri	Maye pastalar	Qatı pastalar	Bərk cisimlər

B.A. Nikolayev mexaniki xassələrin (elastiklik modulu, özlülük və s.) qiymətinə görə ümumiləşdirilmiş təsnifat təklif etmişdir. Birinci qrupa – bərk və yarımbərk cisimlər bərk yağ, bütöv ət parçası, suxarı peçenye və s., ikinci qrupa – bərk-maye cisimlər (ət qiyməsi, kəsmik, studenlər, xəmir və s., üçüncü qrupa – mayelər və mayeşəkilli cisimlər (ərinmiş yağ, bulyonlar, süd, bal, su, və s.) aiddir.

Herşel-Balkli bərabərliyinə əsasən verilən real cisimlərin təsnifatı böyük maraq doğurur:

$$\tau - \theta_0 = B_1^* \dot{\gamma}^n, \quad (1.7)$$

burada: B_1^* – sürət qradienti vahidə bərabər olduqda, vahidə bərabər özlülüyə proporsional olan, əmsaldır, Pa·sⁿ;

n – axma indeksi.

Bəzi dəyişikliklərdən sonra aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\eta_{\infty} = B_0^* \cdot \dot{\gamma}_*^{-m}, \quad (1.8)$$

B_1^* – sürət qradienti vahidə bərabər olduqda, effektiv özlülükdür, Pa·s;

$\dot{\gamma}_*$ – ölçüsüz sürət qradienti;

m – strukturun dağılma sürəti, axma indeksi.

Bu təsnifat üsulunda yerdəyişmə gərginliyi və sürət qradienti, effektiv özlülük və yerdəyişmənin sürət qradienti (bax: bölmə 1.3) arasında asılılıq yaranır. Alınan əyriləri xarakterinə görə cisimləri yeddi növə ayırırlar:

- 1) Hukun elastik cismi;
- 2) Sen-Venanın plastik cismi;
- 3) Şvedov-Binqamın plastik-özlü cismi;
- 4) Yalançı plastik cisim;
- 5) dilatant cisim;
- 6) Nyutonun həqiqi-özlü cismi;
- 7) ideal maye (Paskal).

Yuxarıda göstərilən sistemlərin zaman içində xassələri dəyişmir. Sistemlərin zaman içində öz xassələrini dəyişən bir qrupuna tiksotrop və reopeks cisimlər aiddir. Tiksotroplarda yerdəyişmə gərginliyi və effektiv özlülük mexaniki təsir zamanı azalır, reopekslərdə yerdəyişmə gərginliyi və effektiv özlülük sürət qradientinin sabit qiymətində sistemə xətti gərilmələrin təsiri zamanı artır.

P.A. Rebinder və N.V.Mixaylov reoloji cisimləri $\eta_e(\tau)$ (şək. 1.3) əyrisinin xarakterindən və relaksasiya müddətindən (bu müddətdə yüklənmiş cisimdə gərginlik $e = 2,7$ dəfə azalır) asılı olaraq bərk və maye formalı cisimlərə ayırmağı təklif etmişlər. Maye formalı cisimlərə nyuton mayeləri və statik yerdəyişmədə gərginliyin son həddi $\theta_{0\text{ st}} = 0$ olan strukturlaşdırılmış sistemlər aiddir ki, belə sistemlər ən kiçik xarici təsir zamanı formasını dəyişir.

Bərk cisimlərə statik və dinamik yerdəyişmə gərginliyinin son həddinə malik olan elastik, plastik və digər cisimlər aiddir. Effektiv özlülüynün gərginlikdən və ya yerdəyişmə sürətindən asılılığını dispers sistemlərin struktur mexaniki xassələrinin əsas göstəriciləri hesab olunur. Belə ki, effektiv özlülük sabit axında strukturun dağılması və bərpası prosesləri arasında tarazlıq vəziyyətini təsvir edən yekun göstəricidir. Ümumi halda $\dot{\gamma}(\tau)$ axın əyrisi S-şəkilli xarakterə malikdir və absis oxunu kəsərək keçir, bu müddətdə cismə təsir edən gərginlik yalnız elastiki deformasiyalar yaradır.

Strukturlaşdırılmış sistemlərin əsas yerdəyişmə xassələrinə plastik η_{pl} və effektiv özlülük $\eta_{ef}(\tau)$, relaksasiya müddəti $\tau_r(\tau)$; sürüşmə zamanı dağılmamış strukturun təmas yerində maksimal özlülüynü (η_0) və tamamilə dağılmış strukturun özlülüynü (η_m); yerdəyişmənin elastiklik modulu (G); şərti-statik axıcılıq həddi (τ_{CT}) və dinamik – yerdəyişmə gərginliyinin son həddi (θ_0); elastik- kövrək və ya elastik qırılmalarda (τ_m) və elastik-özlü dağılma zamanı (τ_r) strukturun möhkəmliyi. Bu xüsusiyyətlər şəkil 1.3-də göstərilmişdir. Yuxarıda sadalanan göstəricilərdən başqa $\dot{\gamma}(\tau)$ əyrisində aşağıdakı sahələri ayırmaq olar: OA - elastik deformasiyalar zonası; AB - ən böyük effektiv və plastik deformasiyanın başlandığı sahə; BC - strukturun uçqunabənzər dağılma sahəsinin başlanması; CD - strukturun uçqunabənzər dağılma sahəsi (ən kiçik plastik özlülüynə malik); E və yuxarı- tamamilə dağılmış strukturun daimi özlülüynə malik nyuton axma sahəsi.

MÜHAZİRƏ 3

Axin əyriləri materialların reoloji xassələrini təsvir etmək üçün bir vasitə kimi.

Plan:

1. Deformasiyanın kinetik əyriləri.

2. Nyuton mayeləri.

3. Tiksotrop sistemlər.

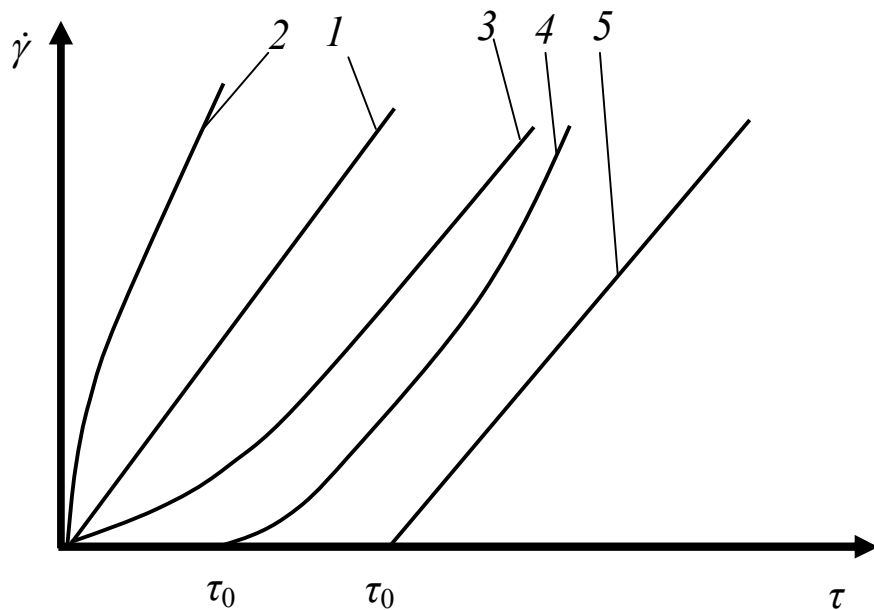
4. Laminar axın.

Qida məhsullarının struktur-mexaniki xassələrinin öyrənilməsi üçün ən sadə üsul deformasiyanın kinetik əyrilərinin (axın əyriləri) qurulmasıdır. Bu əyrilərin köməyi ilə materialın bir-birindən asılı olmayan yeddi deformasiya xassəsini tapmaq olar: ani elastiklik və elastiki təsir modulu; relaksasiya və elastiki təsir özlülüyü; elastiklik, axma və möhkəmlik həddi. Möhkəmlik həddinin qiyməti mexaniki deformasiya rejimindən asılıdır. Sadalanan sabitlər materialda baş verən deformasiyanı izah etməyə və onun struktur-mexaniki xassələrini kifayət qədər dolğun səciyyələndirməyə imkan verir. Bu sabitlərin alınması qida məhsullarının reoloji xassələrinin öyrənilməsi, eləcə də onların daimi təsir altında deformasiyasının tədqiqi zamanı mümkündür.

Əyrilər (şək. 1.4) formasından asılı olaraq müxtəlif materialların davranışını tənzimləyən qanunları qrafiki təsvir edirlər:

$$\tau = f(\dot{\gamma}), \quad (1.9)$$

$$\dot{\gamma} = \varphi(\tau). \quad (1.10)$$

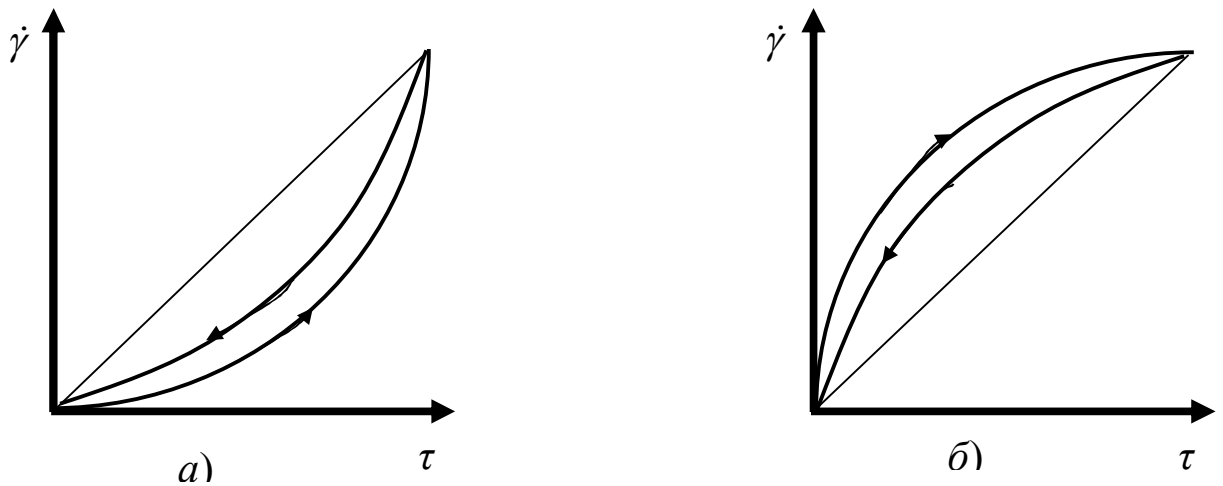


Şəkil 1.4. Axın əyriləri:

- 1 – nyuton mayesi; 2 – dilatant maye;
3 – struktur-özlü maye; 4 – qeyri-xətti plastik cisim;
5 – xətti plastik cisim

Nyuton mayələrinin əyrisi koordinat başlanğıcından keçən düz xəttədir 1. Düz xəttədən fərqlənən digər əyrilər (2 – 5) qeyri-nyuton mayeləri adlanır. Burada 2 əyrisi, əsasən konsentrasiyalı dispers sistemlərə xas olan *dilatant axmanı* xarakterizə edir, bu zaman deformasiyanın sürətinin artması ilə «yerdəyişmənin çətinləşməsi» baş verir, nəticədə özlülük artır; 3 əyrisi *pseudoplastik axmanı* göstərir ki, deformasiya sürətinin artması ilə strukturun dağılması nəticəsində «yerdəyişmənin yumşalması» baş verir. 4 əyrisi *xətti plastik axmanı* göstərir və yerdəyişmə gərginliyinin son həddi θ_0 olduqda bütün plastik cisimlər üçün xarakterikdir. 5 xətti asılılığı *binqamov cisimləri* üçün xarakterikdir və yerdəyişmə gərginliyinin son həddi θ_0 olduqda, ideal plastik axmaya uyğun gəlir.

Tiksotrop sistemlərə dağılmadan sonra strukturun izotermik bərpası, eləcə də deformasiya zamanı onun fasiləsiz dağılması (müəyyən həddə qədər) aiddir (şək. 1.5,a). Reopeks sistemlər strukturlaşma qabiliyyətinə malikdirlər, beləliklə də ən kiçik sürət qradientinə malik mexaniki təsir zamanı yönləndirmə və zəif burulma nəticəsində hissəciklər arasında rabitə yaranır (şək. 1.5,b).



Şəkil 1.5. Xarakterizə edən axın əyriləri:

- a) tiksotrop sistemləri; b) reopeks sistemləri.

Koaqulyasiya tipli psevdoplastik və plastic-özlü dispers sistemlərin əsas xüsusiyyəti yükləmə və boşalma zamanı histerezis ilmələrinin olmasıdır. $\dot{\gamma}(\tau)$ əyrisi və koordinat oxu arasında olan reoqram sahəsi (müvafiq miqyasda) xüsusi gücü (vahid həcmdə Vt/m^3) ifadə edir.

O, nyuton axınının gücündən və verilmiş sürət qradientində strukturun dağılması üçün tələb olunan gücdən ibarətdir. histerezis ilmələrini formalaşdıran iki əyri arasındakı sahəyə mütənasib olan güc, strukturun tarazlıq vəziyyətinə yaxınlaşma dərəcəsini xarakterizə edir.

Bir çox proseslər zamanı məhsul mexaniki təsirlərə (nasoslar, mikserlər və s.) məruz qalır, bununla da onun strukturunun qismən və ya demək olar ki, maksimum dağıdılması baş verir. Buna görə də, praktiki hesablamalarda reoloji tədqiqatların nəticələrindən istifadə edərkən təxmini olaraq, ən azı verilmiş dağıdılma dərəcəsinə uyğun olan axın əyrisi seçilməlidir. Buna uyğun olaraq, müxtəlif proseslərin hesablanması gərginlik və deformasiyaların uyğun intervalında müəyyən edilmiş xassələrdən istifadə etmək lazımdır. Məhsulun keyfiyyət qiymətləndirilməsi verilmiş prosesə uyğun olan xassələr üzrə aparılmalıdır.

MÜHAZİRƏ 4

Qida materiallarının reoloji davranışının mexaniki modelləşdirilməsi

Plan:

1.Reologiyanın əsas modelləri.

2.Hukun ideal –elastik cismi.

3.Nyutonun ideal-özlü mayesi.

4.Sen-Venanın elastik-plastik cismi.

Reologiyada bir-birini inkar edən iki anlayış mövcuddur: «bərk ideal-elastik cisim» və «qeyri-özlü maye». Bərk ideal-elastik cisim dedikdə elə cisim başa düşülür ki, onun taraz forması və gərginlik ani əldə edilir. Əgər maye deformasiya gərginliyi yaratmaq və saxlamaq qabiliyyətinə malik deyilsə, onu qeyri-özlü maye adlandırırlar. Təbiətdə cismin məhdud vəziyyətləri – bərk ideal-elastik cisim və qeyri-özlü mayələr arasında çoxlu sayda aralıq cisimlər

mövcuddur.

Qida mhsullarının reoloji xassələrinin öyrənilməsi zamanı rast gəlinə bilən əsas modelləri gözdən keçirək. Bu zaman qeyd etmək lazımdır ki, yalnız dəqiq riyazi qanunauyğunluqlar nyuton mayeləri üçün alınmışdır, bütün qeyri-nyuton hərəkəti üçün yalnız təxmini düsturlar qəbul etmişdir.

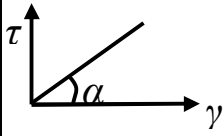
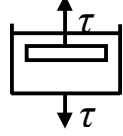
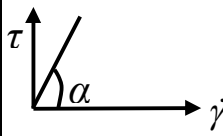
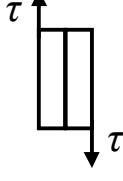
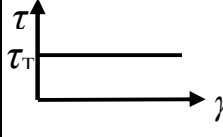
İdealizə olunmuş materialların üç aralıq modelləri (Cədvəl 1.3) məlumdur: ideal-elastik cisim (Huk); ideal-özlü maye (Nyuton); ideal-plastik cisim (Sen-Venan).

Hukun ideal-elastik cismi. Belə cisimdə deformasiyaya sərf olunan enerji yüklənmə zamanı toplanır və geri qayıda bilər. Huk qanunu ən kiçik deformasiyalarda kristal və amorf bərk cisimlərin, eləcə də mayələrin izotrop genişlənmə, yəni sıxılma zamanı davranışlarını təsvir edir.

İdeal-özlü Nyuton mayesi. Belə mayedə gərginlik deformasiya sürətinə mütənasibdir. Özlü axma müxtəlif qüvvələrin təsiri altında baş verir, belə ki, qüvvə azalanda deformasiya sürəti də azalır, yox olduqda isə sıfıra bərabər olur. Belə mayələr üçün sabit olan özlülük yerdəyişmə gərginliyinə bərabərdir.

Cədvəl 1.3. İdeallaşdırılmış sadə cisimlərin reoloji modelləri.

Model	Modelin növü	Əyrilərin qrafiki	Bərabərliklər	Şərti işarələr
-------	--------------	-------------------	---------------	----------------

Huk			$\tau = \gamma \cdot G;$ $\sigma = \varepsilon \cdot E.$	τ, σ –toxunan və xətti gərginlik, Pa; γ, ε –bucaq və xətti deformasiyaları; G, E –bucaq və xətti deformasiyalarda elastiklik modulları, Pa.
Nyuton			$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma};$ $\sigma = \eta_T \cdot \dot{\varepsilon}.$	$\dot{\gamma}$ –yerdəyişmə sürəti, s^{-1} ; η –yerdəyişmə zamanı özlülük, s^{-1} ; $\dot{\varepsilon}$ – uzununa axın sürəti, s^{-1} ; η_T – uzununa axın xamanı özlülük (Truton), Pa·s.
Sen-Venan			$\tau < \tau_T$ olduqda, deformasiya yoxdur; $\tau = \tau_T$ olduqda, axın yoxdur	τ_T –yerdəyişmə zamanı axıcılıq həddi, Pa.

Nyuton qanunu molekul çəkisi az olan bir çox mayelərin yerdəyişmə və uzununa axın zamanı davranışını izah edir. Nyuton mayesinin mexaniki modeli, içində maye olan silindrdə yerləşdirilmiş və hərəkət edən porşendən ibarət *dempferdir*. Maye porşenin hərəkəti zamanı

porşenlə silindrin arasından keçərək onun bir hissəsindən digər hissəsinə axır. Bu zaman porşenin hərəkət müqaviməti onun sürətinə düz mütənasibdir (bax, cədvəl 1.3).

Sen-Venanın ideal-plastik cismi bir-birinə sıxılmış iki lövhədən ibarət element şəklində təmsil oluna bilər. Lövhələrin nisbi yerdəyişməsi zamanı onlar arasında lövhələri sıxan qüvvədən asılı olmayan sabit sürtünmə qüvvəsi yaranır. Sen-Venan cismi yerdəyişmə gərginliyi müəyyən kritik qiymətdən – τ_A axıcılıq həddindən artıq olduqda deformasiya etməyə başlayacaqdır və bundan sonra element istənilən sürətlə hərəkət edə bilər.

Mürəkkəb cismin reoloji davranışını onun komponentlərinin xassələrindən asılı olaraq izah etmək üçün, yalnız bir fiziki-mexaniki xassəyə malik olan sadə ideal cisimlərin yuxarıda nəzərdən keçirilmiş modellərini müxtəlif kombinasiyalarda birləşdirmək olar. Bu elementlər paralel və ya ardıcıl şəkildə birləşdirilə bilər. Əsas mürəkkəb modellər bunlardır: elastik-plastik cisim; Kelvin-Foyqt və Maksvel özlü-elastik cismi; Binqam, Şvedov və Şvedov-Binqam özlü-plastik cismi (şəkil 1.6).

Elastik-plastik cismin modeli (şəkil 1.6,a) elastik Huk elementinin elastiklik modulu G ilə və Sen-Venan elementinin axıcılıq həddi τ_A ardıcıl birləşməsindən alınır. $\tau < \tau_A$ olduqda materialın elastiki deformasiyası, $\tau = \tau_A$ olduqda plastik axması baş verir.

Kelvin-Foyqt və Maksvel özlü-elastik cismi elastik Huk elementinin elastiklik modulu G ilə və Nyuton özlü elementinin η özlülüyü ilə paralel birləşməsi zamanı alınmış mexaniki model vasitəsilə təqdim olunmuşdur (şəkil 1.6,b). Dartılma nəticəsində yay uzanır, porşen isə mayədə hərəkət etməyə başlayır. Porşenin bu hərəkəti mayenin özlü müqaviməti ilə bağlıdır, buna görə də yayın tam uzanması dərhal baş vermir. Yük aradan qaldırılan zaman, yay öz ilkin uzunluğuna qədər sıxılır, lakin mayenin özlü müqaviməti nəticəsində bu, bir qədər zaman tələb edir.

Kelvin-Foyqt cisminin riyazi modelinin yazılışı üçün o hal əsas götürülür ki, elementlərin paralel birləşdirilməsi zamanı mürəkkəb cismin deformasiyası γ_{KF} hər bir elementin deformasiyasına paraleldir, ümumi elementin gərginliyi τ_{KF} isə hər bir elementin gərginlikləri cəminə τ_H və τ_N bərabərdir. Buna əsasən aşağıdakı tənliklər sistemi alınır:

$$\begin{aligned}\gamma_{KF} &= \gamma_H = \gamma_N \\ \tau_{KF} &= \tau_H + \tau_N\end{aligned}\tag{1.11}$$

Biz Huk (H) və Nyuton (N) elementləri üçün əvvəllər yazılmış riyazi modellərdən istifadə etsək alarıq:

$$\tau_H = G\gamma_H$$

$$\tau_N = G\gamma_N \quad (1.12)$$

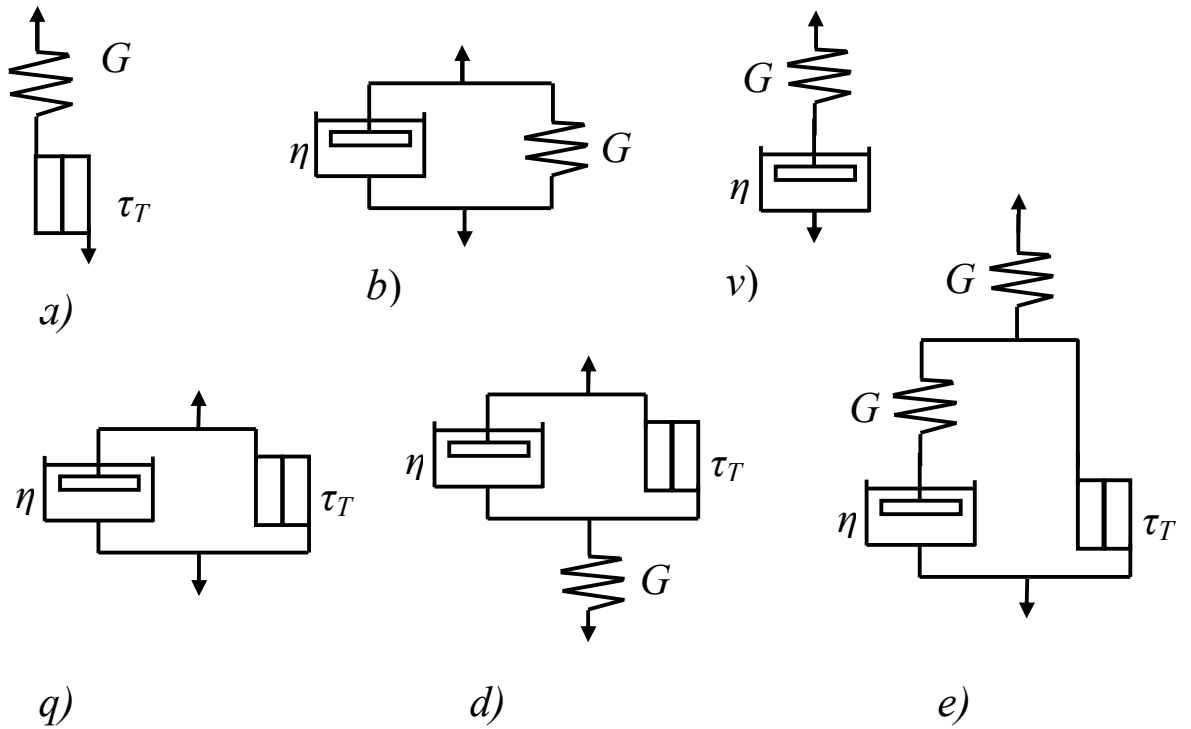
(1.11) və (1.12) tənliklərini nəzərdən keçirsək, biz sonda Kelvin-Foyqt cismi üçün riyazi reoloji model almış olarıq:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma} \quad (1.13)$$

burada: G – yerdəyişmə zamanı elastiklik modulu, Pa;

γ – bucaq deformasiyası;

η – Nyuton özlülük, Pa·s.



Şəkil. 1.6. Reoloji materialların mexaniki modelləri.

a) elastik-plastik cismin modeli; b) Kelvin-Foyqt modeli;

v) Maksvel modeli; q) Şvedov-Binqam özlü-plastik modeli; d) Binqam modeli; e) Şvedov modeli

Kelvin-Foyqt modeli elastik təsirin nəticəsini əks etdirir ki, bu zaman elastik deformasiya yük tətbiq edildikdən sonra ya tədricən müəyyən həddə qədər daima artır, ya da yük aradan qalxdıqdan sonra tədricən azalır.

Relaksasiya edən özlü-elastik *Maksvel cismi* (şək. 1.6,b) Huk elementlərinin elastiklik modulu G və Nyuton özlülüüyü η ilə ardıcıl birləşməsindən ibarətdir. Hər iki elementə eyni τ gərginliyi təsir göstərir.

Maksvel cismi materialın relaksasiya vaxtının sınaq müddətinə olan nisbətindən asılı olaraq həm elastik, həm də özlü cisim kimi davranır. Beləliklə, əgər ani qüvvə tətbiq edilərsə, yay dartılır, sonra dərhal yük götürülərsə porşen hərəkət etməyə macal tapmır və sistem elastik cisim kimi davranır. Digər tərəfdən, əgər yayın gərilməsini sabit saxlasaq, o tədricən relaksasiya edərək porşeni yuxarı hərəkət etdirir və sistem Nyuton mayesi kimi davranır. Maksvel cismi üçün reoloji tənlik aşağıdakı kimidir:

$$\dot{\gamma} = \dot{\tau}/G + \tau/\eta. \quad (1.14)$$

Şvedov-Binqam özlü-plastik cismi üçün iki elementdən ibarət mexaniki model paralel birləşmiş η özlü Nyuton və axıcılıq həddi τ_A olan Sen-Venan elementlərindən ibarətdir (şək. 1.6,q). Əgər $\tau \leq \tau_T$ olarsa, sistem tamamilə bərk deformasiyaya uğramayan cisim kimi davranır. $\tau > \tau_A$ olarsa, belə cisim üçün reoloji tənlik aşağıdakı kimidir:

$$\gamma = (\tau - \tau_T)/\eta \quad (1.15)$$

Təbiətdə elə materiallar mövcuddur ki, onlara ilk baxışda San-Venan cismi kimi baxmaq olar. Yerdəyişmə gərginliyi son həddə çatdıqda onlar axmağa başlayır. Əgər özlü müqavimət yoxdursa, onda materialın axma sürəti istənilən qədər böyük olacaqdır. Bu göstərir ki, belə materiallara yalnız birinci yaxınlaşmada San-Venan cismi kimi baxıla bilər. İkinci yaxınlaşmada onlar özlülüyə malik olmalıdır. Bütün bunlar elastiklik, özlülük və plastiklik xassələrini özündə birləşdirən ideal Binqam cismini postulat kimi qəbul etməyə (mühakimə üçün əsas götürməyə) gətirib çıxarır.

Binqam müxaniki modeli (şək. 1.6,d) elastiklik modulu G olan Huk, özlülüüyü η olan Nyuton və axıcılıq həddi τ_A olan Sen-Venan elementlərindən ibarətdir. Nyuton və Sen-Venan elementləri bir-biri ilə qarşılıqlı paralel, birlikdə isə Huk elementi ilə ardıcıl surətdə birləşmişlər.

$\tau < \tau_A$ gərginliyinin təsiri altında Binqam modeli yalnız elastik deformasiyaya malikdir. Bu modelin reoloji tənliyi $\tau < \tau_A$ gərginliyində aşağıdakı kimidir:

$$\dot{\gamma} = \dot{\tau} / G + (\tau - \tau_T) / \eta . \quad (1.16)$$

Şvedov mexaniki modeli elastiklik modulu G_N olan Huk, axıcılıq həddi τ_A olan Sen-Venan və elastiklik modulu G_M və özlülüüyü olan η olan Maksvel elementlərindən ibarətdir (şək. 1.6,e). XIX əsrin 80-ci illərində F.N. Şvedov kolloid məhlullarda relaksasiya proseslərini öyrənmiş və ilk dəfə onlarda elastiklik və özlülüüyü müəyyən etmişdir. Bu model Binqam modelindən onunla fərqlənir ki, Sen-Venan modelinə Maksvel modeli, Binqam modelinə isə Nyuton elementi paralel olaraq birləşmişdir.

$\tau \leq \tau_A$ zamanı Şvedov modelinin deformasiyası Huk elementinin hesabına baş verir. $\tau > \tau_A$ olduqda modelin bütün elementləri deformasiya edir. Diferensial formada Şvedov modelinin reoloji tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$\dot{\gamma} = \dot{\tau} (1/G_H + 1/G_M) + (\tau - \tau_T) / \eta . \quad (1.17)$$

Yükün təsiri altında qida materiallarının davranışını daha dəqiq əks etdirmək üçün can atması mürəkkəb modellərin yaradılmasına gətirib çıxardı ki, bu da hesablamaların mürəkkəbliyini xeyli artırdı. Az sayda elementlərdən ibarət olan modellərdə təcrübədə alınan nəticələrlə tənliklərə əsasən hesablanmış rəqəmlər arasında uyğunluq nadir hallarda əldə edilir. Eyni zamanda elementlərin sayının dördədən artıq olması modelin əhəmiyyətli dərəcədə keyfiyyət dəyişikliyinə gətirib çıxarmır, belə ki, dörd elementdən ibarət modellər verilmiş materialın mexaniki davranışının bütün müxtəlifliklərini sərf edib qurtarır.

Qida materiallarının deformasiyasının modelləşdirilməsini nəinki mexaniki, həm də elektrik modellər əsasında həyata keçirmək olar. Bu zaman gərginlik elektrik dövrəsinin Ə.Д.С., deformasiya sürəti elektrik cərəyanı, elastik modulu həcmə əks qiyməti, özlülük isə müqavimətlə müqayisə edilir. Mexaniki modelin elementləri ardıcıl birləşməsi elektrik dövrəsinin elementlərinin paralel birləşməsinə, mexaniki modeldə elementlərin paralel birləşməsi elektrik dövrəsinin elementlərinin ardıcıl birləşməsinə ekvivalentdir. Elektrik modellərinin hazırlanması qida materiallarının elastik, özlü və plastik xassələrinin öyrənilməsi, eləcə də onların emalı proseslərinin hesablanması zamanı kompüter (EHM) modelləşdirilməsini

tətbiq etməyə imkan verir.

MÜHAZİRƏ 5

Mühəndis reologiyasının əsas anlayışları və məqsədləri.

Plan:

- 1.Struktur-mexaniki xassələr nəyi öyrənir.**
- 2.Müxtəlif proseslərin(fiziki-kimyəvi, bioloji,mexaniki və s. texnoloji və idarəetmə proseslərinə təsiri.**
- 3.Reoloji xassələrin öyrənilməsinin müxtəlif sahələrdə tətbiqi.**
- 4.Qida məhsulların müxtəlif amillərdən asılılığı.**
- 5.Reologiyanın öyrəndiyi məsələlər.**
- 6.Deformasiya haqqında anlayış.**
- 7.Materialların müxtəlif reoloji xassələri.**

Məhsulun bioloji və kimyəvi tərkibi (resepti) və struktur quruluşundan (məhsulun) asılı olan fiziki xassələrin bir qrupu onun keyfiyyətinin bəzi mühüm tərəfləri haqqında tam təsəvvür yarada bilər. Bu xassələrdə olan ən kiçik dəyişikliklər kəmiyyətlərin qiymətində əhəmiyyətli dəyişikliklərə səbəb olur ki, onları cihazlar qeyd edir. Bu zaman xammalın xassələri hazır məhsulların əsas göstəricilərini qabaqcadan müəyyən edir. Belə göstəricilərin bir qrupuna struktur-mexaniki (reoloji) xassələri aid etmək olar.

Müxtəlif ərzaq materiallarının emalı zamanı, fiziki-kimyəvi, bioloji və mexaniki proseslərlə müşayiət olunur ki, onların öyrənilməsi istehsalın texnoloji proseslərinə səmərəli və obyektiv reoloji nəzarəti və idarəetməni təşkil etməyə imkan verir. Yeyinti sənayesində aparılan proseslərin bir çoxu dispers sistemlərin, suspenziyaların, kolloid məhlulların, müxtəlif elastik, plastik, özlü materialların emalı ilə bağlıdır. Reoloji tədqiqatlar qida materiallarının emalı

zamanı baş verən fiziki hadisələri daha dərinədən öyrənməyə imkan verir. Reoloji xassələrdən yeni dizaynlı maşınların yaradılması və mövcud olan maşınların yenidən layihələndirilməsi, eləcə də avadanlıqlar üçün daha səmərəli iş rejiminin və istehsalın optimal texnoloji sxemlərinin seçilməsi üçün aparılan proseslərin hesablanması istifadə edilə bilər, həmçinin, maşınların, aqreqatların, istehsal sahələrinin idarə edilməsində, məhsulun keyfiyyətinə avtomatlaşdırılmış nəzarət zamanı nəzarət parametrləri kimi istifadə edilir. Reologiya əlavələrin daxil edilməsi, rejimlərin və mexaniki- texnoloji üsulların dəyişdirilməsi yolu ilə ərzaqların strukturu və keyfiyyətini idarə etməyə imkan verir.

Qida xammalının və məhsulların xassələri temperatur, rütubət, mexaniki təsirin miqdarı və müddəti kimi amillərdən, eləcə də saxlama müddəti, daşınma, məhsulun alınma üsulu və digər səbəblərdən asılıdır.

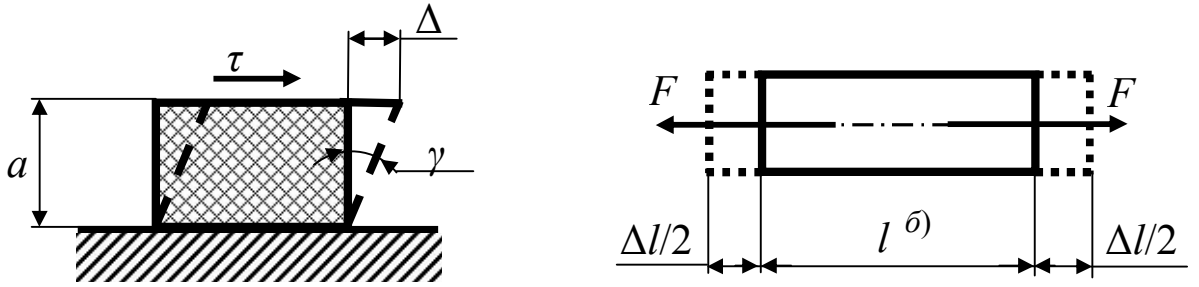
Reologiya – müxtəlif cisimlərin deformasiyasını və axmasını öyrənən elmdir. «Reologiya» sözü yunanca «ρεω» sözündən götürülmüşdür, mənası «axma» deməkdir.

Deformasiya – xarici qüvvələrin təsiri altında, temperaturun, rütubətin və s. dəyişməsi zamanı, cismin formasının və xətti ölçülərinin dəyişməsidir. Bu zaman molekullar və hissəciklər cismin təhlükəsizliyi pozulmadan bir-birinə keçirlər. Deformasiyanın həcmi və xarakteri xarici qüvvələrin tətbiqindən, cismin materialından və onun formasından asılıdır.

«Materialların müqaviməti» kursundan məlumdur ki, deformasiyanın iki növü var: a) qayıdan (elastik), yəni xarici qüvvənin təsiri kəsildəndən sonra yox olur; b) plastik (özlü), yəni xarici qüvvənin təsiri kəsildəndən sonra yox olmayan. Elastiki deformasiya zamanı mexaniki enerjinin bir hissəsi istiliyə çevrilir. Bundan başqa, deformasiyaların digər bölgəsi də mövcuddur. Məsələn, yükün növünə görə yerdəyişmə (şək. 1.1, a), biroslu (xətti) (şək. 1.1, b), eləcə də ikioslu (yastı, düz) və həcmi ola bilər.

Bu halda deformasiyalar aşağıdakı tənliklə hesablanır:

$$\gamma = \frac{\Delta}{a}; \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.1)$$



Şək. 1.1. Materialların yüklənmə sxemi:

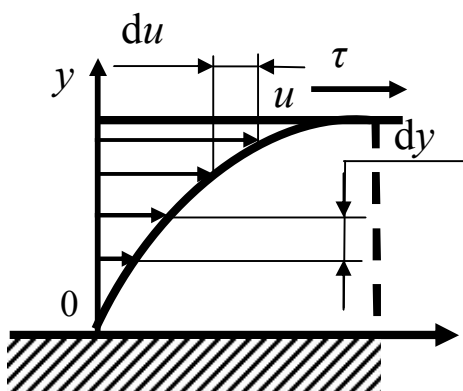
a) yerdəyişmə; b) gərilmə

Əgər müəyyən edilməmiş prosesdə deformasiya t zamanında dəyişirsə, bu halda gərginlik dərəcəsi (sürət qradienti) nəzərə alınır; müəyyən edilmiş prosesdə deformasiyanın dəyişməsi vahid zamanda daimidir.

Bu gərilmə-sıxılma $\dot{\gamma}$ [s^{-1}] və yerdəyişmə zamanı, «deformasiya sürəti» – $\dot{\varepsilon}$ [s^{-1}] kəmiyyəti ilə xarakterizə edilir:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}; \dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}. \quad (1.2)$$

Əgər yerdəyişmə zamanı deformasiya sonlu qüvvələrin təsiri altında fasiləsiz və daima artırsa, material axmağa başlayır. Sabit axın rejimi mənacə deformasiya dərəcəsinə oxşar olan sürət qradienti ilə xarakterizə olunur (şək.1.2):



$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dy}, \quad (1.3)$$

burada: τ – yerdəyişmə gərginliyi, Pa;

u – səth təbəqəsinin xətti sürəti, m/s;

y – sürət vektoru üzrə təbəqənin koordinatı, m

Şəkil 1.2. Materialın sabit axma rejiminin sxemi

Reologiyada iki növ axma forması vardır: 1. *Özlü axma* – hər hansı kiçik τ yerdəyişməsi zamanı həqiqi özlü

nyuton mayelərində reallaşır. Bu axma Nyuton tənliyi ilə ifadə olunur:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\varepsilon} \text{ və ya } F = \eta \cdot A \cdot \frac{du}{dy}, \quad (1.4)$$

burada η – iki maye təbəqəsi arasında onların nisbi qarışması zamanı yaranan qüvvələrin miqdarını xarakterizə edən dinamik və ya mütləq özlülük əmsalı, Pa·s;

F – iki səth təbəqəsi arasında itələmə qüvvəsi, N;

A – bu təbəqələrin itələmə səthinin sahəsi, m²;

2. *Plastiki axma* – axıcılıq həddi τ_T -yə bərabər olan τ gərginliyi zamanı olan axmadır.

Gərilmə – cisimdə xarici qüvvələrin təsiri altında yaranan, qüvvə vektoruna normal vahid səthə düşən A [m²] daxili qüvvələrin ölçüsüdür F [N]:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ Pa.} \quad (1.5)$$

Yüklənmiş cisimdə gərilmə:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta F}{\Delta A} \right). \quad (1.6)$$

Yerdəyişmə və ya toxunma gərginliyi (τ), normal gərginlik (σ), təzyiq, ya da hidrostatik təzyiq (p) və adgeziya, ya da yapışma təzyiqi (p_0) formaca 1.5 asılılığı ilə təsvir edilir ki, burada güc və sahə müvafiq fiziki məna kəsb edəcəkdir .

Müşaiyyət olunan gərilmələrdən asılı olaraq deformasiyaların müxtəlif növlərinin öyrənilməsi reologiyanın predmetini təşkil edir.

Materialların əsas reoloji xassələrinə özlülük, elastiklik, plastiklik, bərklik və sərtlilik aiddir. Eyni adlı materialda onun vəziyyətindən və yüklənmə şərtlərindən asılı olaraq, müəyyən reoloji xassələr üzə çıxır. Buna görə də, ilk növbədə aydınlaşdırmaq lazımdır ki, verilmiş deformasiya şəraitində öyrənilən materialın hansı xassələrini əsas hesab etmək olar.

Özlülük – axmaya qarşı müqavimət ölçüsüdür. O, həm maye, həm də plastik cisimlər üçün axıcılıq həddindən sonra əsas xassə hesab olunur. Qeyri-Nyuton mayeləri üçün özlülük yerdəyişmə sürətinin funksiyasıdır, onu «görünən», ya da effektiv özlülük adlandırırlar η_{ef}

[Pa·c]. Qeyri-Nyuton mayeləri üçün effektiv özlülük iki komponentdən ibarətdir:

- 1) nyuton özlülük η , daxili sürtünməyə əsaslanır və materialın fiziki sabitliyini ifadə edir;
- 2) struktur müqavimət dispers sistemlərin struktur vəziyyətindən asılıdır və yerdəyişmə sürətinin funksiyasıdır $\dot{\gamma}$.

Elastiklik – cismin deformasiyadan sonra öz əvvəlki vəziyyətini tamamilə bərpa etməsi qabiliyyətidir, burada deformasiya işi bərpa işinə bərabərdir. Cisimlərin elastikiliyi dartılma-sıxılma zamanı birinci növ elastiklik modulu (Yunq modulu) E [Pa] ilə, yerdəyişmə zamanı ikinci növ elastiklik modulu (yerdəyişmə modulu) G [Pa] ilə xarakterizə olunur.

Plastiklik – xarici qüvvələrin təsiri altında cismin tamlığı pozulmadan, bərpa edilmədən deformasiya etməsi qabiliyyətidir. Bu mənada reologiyada deformasiyalar zamanı gərilmənin son həddi adlanan və θ_0 ifadə olunan anlayış mövcuddur. Bu gərginliyin artması zamanı cisimdə plastik deformasiyalar meydana çıxır.

Möhkəmlik – cismin axmasına və ya onun tamamilə dağılmasına gətirib çıxaran xarici qüvvələrin təsirinə qarşı onun müqavimət göstərməsidir. Elastiki cisimlərdə deformasiya sürəti möhkəmlik həddinə təsir göstərmir, odur ki, statik və dinamik möhkəmlik arasında heç bir fərq yoxdur. Qeyri-elastik cisimlər (bütün bərk qida məhsulları bura aiddir) həm elastiki, həm də plastiki xassələrə aid olduğundan möhkəmlik deformasiyanın sürətindən bilavasitə asılıdır.

Sərtlilik – elastiki olmayan cisimlərin qalıcı deformasiyalar zamanı digər cisimlərin nüfuz etməsinə qarşı müqavimətini göstərən kompleks xassəsidir. Sərtlilik ölçü ilə bir-qiyəmətli fiziki kəmiyyət kimi ifadə edilə bilməz. O, təyin üsulundan asılı olaraq nisbi kəmiyyətlə ifadə olunan qismən, texniki parametrdir.

Materialların digər fiziki-mexaniki xassələrinə *yumşaqlıq*, *kövrəklik*, *adgeziya* və *yapışqanlılıq* aiddir.

Yerdəyişmə – reologiyada deformasiyanın ən vacib növü hesab olunur. Sadə yerdəyişməyə elementin üzlərinə toxunan gərginliyin təsiri ilə yaranan tərpənməz səthə paralel olan səthi deformasiya kimi baxılır. Sadə yerdəyişmə laminar axın kimidir, bu zaman cisim sonsuz sayda nazik təbəqələrdən ibarətdir. Bu təbəqələr deformasiya etməyərək biri digərinin üzərində sürüşür (şək.1.1,a).

Yumşaqlıq – sərtliyin əksi olan xassədir.

Kövrəklik – bərk cisimlərin zəif deformasiyalarda belə dağılmasına gətirib çıxaran xassəsidir. Elastiki cisimlər istənilən deformasiyalarda ən kövrək dağılmalara gətirib çıxarır. Qeyri-elastiki cisimlərdə kövrək dağılmalar yalnız güclü deformasiyalarda və ya aşağı temperaturalarda, özlülük xassələri öz təsirini itirən zaman baş verir.

Adgeziya – iki müxtəlif cismin fazaların bölünmə sərhəddində qarşılıqlı təsirinə əsaslanır və cisimlərin bir-birinə yapışmasına səbəb olur. Cisimlərin ayrılması üçün yapışma qüvvələrinə üstün gəlmək lazımdır.

Yapışqanlılıq – özlü və ya plastik materialların sərhəd qatının bir-birinə yapışan səthlərin ayrılmasına müqavimət göstərməsi xassəsidir.

Hər bir material müxtəlif dərəcədə olsa da, bütün reoloji xassələrə malikdir. Eyni materialda onun vəziyyətindən və yüklənmə şərtlərindən asılı olaraq, az və ya çox dərəcədə müxtəlif reoloji xassələr meydana çıxı bilər.

Reologiyanın keyfiyyətə inkişafı fiziki-kimyəvi mühəndislik mexanikasında mühüm rol oynayır və bu dəyişikliklər aşağıdakı mərhələlərdə özünü göstərir.

Klassik reologiya həqiqi cisimlərin (həqiqi cisimlərin və ya dispers sistemlərin texniki mexanikası) deformasiyası və axması haqqında elm kimi, hazır məhsulların xassələrinin öyrənilməsini və lazımi keyfiyyətdə hazır məmulatların alınması üçün maşınların işçi orqanlarında onların hərəkət prosesinin hesablanması metodlarının işlənilib-hazırlanmasını vacib məsələ kimi qarşıya qoyur.

Fiziki-kimyəvi mexanika müəyyən xüsusiyyətlərə malik dispers sistemlərin strukturunun formalaşması üsulları və qanunauyğunluqları haqqında elm kimi aşağıdakı vəzifələri vardır:

1) fiziki-kimyəvi, biokimyəvi, mexaniki və digər amillərin məcmusundan asılı olaraq dispers və həqiqi sistemlərdə strukturunun formalaşması və dağılmasının müəyyən edilməsi;

2) müəyyən reoloji (ən geniş mənada) xassələrə malik strukturların alınması yollarının araşdırılması, əsaslandırılması və səmərəliləşdirilməsi

3) maşın və aparatların hesablanması üçün müəyyən edilmiş qanunauyğunluqların tətbiqi üsullarının və struktur-mexaniki xassələrin qiymətinə görə keyfiyyətinin əsas göstəricilərinə operativ nəzarətin işlənilib-hazırlanması.

İdarəedici reologiya emal edilən xammala müxtəlif növ təsirlərin elə uyğunluğunu öyrənir və əsaslandırır ki, bu zaman reoloji xassələrin müəyyən səviyyəsi bütün texnoloji prosesin gedişində və müəyyən istehlak xüsusiyyətlərinə malik hazır məhsulun alınması zamanı təmin edilir.

Tədqiqatların mühəndis reologiyası və fiziki-kimyəvi mexanikanın metodları ilə həyata keçirilməsi məmulat çıxımını stabilləşdirməyə, daimi, əvvəlcədən müəyyən edilmiş keyfiyyətə malik məhsullar istehsal etməyə, məhsulun keyfiyyəti anlayışını elmi cəhətdən əsaslandırmağa, texnoloji prosesləri hesablamağa, təkmilləşdirməyə və intensivləşdirməyə, bu və ya digər ərzəq

məhsullarını «yaratmağa» və s. imkan verir. Bu onu göstərir ki, qida məhsullarının reologiyası və fiziki-kimyəvi mühəndis mexanikası passiv bilik sahəsindən yeni və mövcud olan texnoloji proseslərin işlənilib-hazırlanması məqsədilə istehsal proseslərinə fəal şəkildə müdaxilə etməyə imkan verən istehsal gücünə çevrilmişdir.

MÜHAZİRƏ 6

QIDA MATERIALLARININ REOMETRİYASININ ÜMUMİ MƏSƏLƏLƏRİ

Plan:

- 1.Reologiyanın ölçü metodları.**
- 2.Ölçmə metodların növləri.**
- 3.Ölçmə metodların təsnifatı**
- 4.Reometrlərin təsnifatı.**

Ölçü metodları

Reoloji tədqiqatların obyektlərinin məcmusu yeyinti sənayesində bərk cisimlərdən tutmuş özlü mayelərə qədər materialların aqreqat hallarının geniş diapazonunu əhatə edir. Bu, eləcə də müxtəlif məqsədli reoloji tədqiqatlar həm iş prinsipinə, həm də konstruksiya xüsusiyyətlərinə görə son dərəcə müxtəlif olan cihazların tətbiqini tələb edir.

Fiziki-kimyəvi mexanika metodlarının ərzaq məhsulları istehsalının müxtəlif sahələrində tətbiqi durmadan artır.

Qida kütlələrində struktur-mexaniki xassələrin (SMX) müəyyən edilməsi üçün istehsalatda daimi texnoloji nəzarətin olması vacibdir. SMX-in qiymətində qəbul edilmiş normalardan kənaraçıxmaların olması nəinki hazır məhsulun keyfiyyətinin aşağı düşməsinə, eləcə də ayrı-ayrı texnoloji proseslərin gedişi zamanı avadanlığın məhsuldarlığına təsir edə bilər.

Buna görə də reometriyanın əsas vəzifəsi bu və ya digər amillərin təsiri altında materialın xassələrinin dəyişməsinin müəyyən edilməsidir.

Qida materiallarının struktur-mexaniki xassələrinin müəyyən edilməsi istehsalda daimi texnoloji nəzarətin olması ilə bağlıdır. Onların qəbul edilmiş normalardan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənməsi nəinki hazır məhsulların keyfiyyətinə, həm də ayrı-ayrı texnoloji proseslərin aparılması zamanı avadanlığın istehsal gücünün aşağı düşməsinə səbəb ola bilər. Buna görə də reometriyanın əsas vəzifəsi bu və ya digər amillərin təsiri altında materialların xassələrində baş verən dəyişilmələrin öyrənilməsidir.

Struktur-mexaniki xassələrin çoxlu sayda ölçü metodlarının olması bir tərəfdən mayelərin və dispers sistemlərin böyük müxtəlifliyi, digər tərəfdən onlar üçün geniş praktiki şəraitin olması ilə izah olunur.

Ölçmə növünə görə reoloji metodlar dörd qrupa bölünür (cədvəl 2.1): bu təsnifat müəyyən dərəcədə şərtidir, belə ki, bəzi cihazlar üçüncü sabit qaldığı halda digər iki kəmiyyəti dəyişdirməyə imkan verir.

Birinci iki metod xüsusilə vizkozimetriyada geniş tətbiqini tapmışdır. *Birinci metod* – sabit yerdəyişmə sürəti metodu $\dot{\gamma} = \text{const}$ – elektromexaniki və ya hidravlik ötürücülərin tətbiqi yolu ilə reallaşır. Bu zaman mühitin müqavimət qüvvəsi müxtəlif dinamometrlər vasitəsilə ölçülür.

İkinci metod – sabit ağırlıq qüvvəsi metodu $F = \text{const}$ və ya $M = \text{const}$ – konstruktivliyi xeyli sadədir, belə ki, ölçülən cismin yerdəyişmə və ya fırlanma sürətini adi saniyəölçən vasitəsilə asanlıqla ölçmək, ya da diaqram lentinə yazmaq olar.

Cədvəl 2.1. Reoloji xassələrin ölçülmə metodlarının təsnifatı

Təyin olunan ölçülər	Sabit ölçülər	Cihaz
Dinamik (güc, an, gərginlik)	Həndəsi, kinematik	"Reotest" viskozimetri; Universal cihaz ВННМПа; Simonyanın yerdəyişmə ölçən cihazı
Kinematik (zaman, sürət)	Dinamik, həndəsi	PB – 8, Ostvald, Ubbelode, Hepler viskozimetrləri
Həndəsi (uzunluq, sahə, həcm)	Dinamik, kinematik (zaman)	Panetrometrlər (konusvarı plastometr КП – 3 və s.)

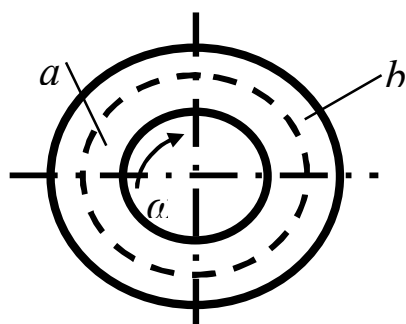
Enerji (güc)	Həndəsi, Kinematik	Brabender farinoqrafi, Bolşakov-Fomin cihazı; güc-məsafə diaqramını göstərən cihazlar
--------------	-----------------------	---

Üçüncü metod zamanı gərginlik sabiti cihazın hərəkətli hissəsinin dəyişməz kütləsindən asılıdır. Ölçmə müddəti adətən sabitdir (180 – 300 s) və relaksasiya müddətinə nisbətən, bir qədər böyük götürülür. Cihazlarda xüsusi formalı indentorun materialında baş verən yüklənməni ölçürlər ki, bu da son həddə sıfıra bərabər olur.

Dördüncü metod «güc-yerdəyişmə» koordinatlarında alınan diaqramın sahəsi boyunca yerəyişmə enerjisini, ordinat oxu isə diaqramda qüvvəni göstərir. Bundan başqa, bu tip cihazlarda, özü yazan və qeyd edən vattmetr və ya sayğac varsa, enerji gücə görə hesablanır.

M.P.Volaroviçin təsnifatına görə reoloji tədqiqat metodlarını və cihazları iki qrupa ayırmaq olar: inteqral və diferensial. İnteqral metodlar ümumi axma effektini müəyyən etməyə imkan verir. Diferensial metodlar dispers sistemin axması zamanı onun hər bir nöqtəsində yerəyişməni vaxtında müşahidə etməyə imkan verir. Diferensial metodlar stukturlu sistemlərin mürəkkəb axma hadisələrinin tədqiqi zamanı gərginlik sahəsində dəyişiklikləri və deformasiyaları müşahidə etməyə imkan verir.

Bu zaman müşahidələr vizual şəkildə, eləcə də rentgenin, mikrokinocəkiləşin köməyi və s. ilə aparılır. Diferensial metodlar tədqiq olunan hadisənin yalnız keyfiyyət xarakteristikasını almağa imkan verir. Məsələn, özlü-plastik materialın iki silindr arasında axmasının tədqiqi zamanı M.P.Volaroviç əməkdaşlarla birlikdə işə başlamazdan əvvəl materialın səthinə alüminium tozu sürtmüşlər. Deformasiya zamanı (daxili silindrin fırlanması zamanı) materialın səthində iki sahə aydın görünmüşdür: a) plastik axma zonası; b) elastiklik zonası (şək. 2.1)



Şək. 2.1. Özlü-plastik deformasiyanın sxemi

İnteqral metodlar axmanın ümumi effektini müşahidə etməyə imkan verir. Tədqiqat şərtlərindən asılı olaraq, model təhlilinin köməyi ilə hər bir ayrıca hal üçün sistemin mexaniki xassələrinin qoyulan məsələnin həlli üçün vacib olan müstəqil xarakteristikalarının sayını müəyyən edirlər. Kapilyar və rotasiyalı viskozimetriya, konusun tətbiqi,

lövhenin uzununa yerləşdirilməsi, eləcə də diyircəkli vizkozimetrlər daha mükəmməl hesab olunurlar.

2.2 Reometrlərin təsnifatı

Reometrik tədqiqatların planlaşdırılmasında və təşkilində cihazların və tədqiqat metodlarının təsnifatı mühüm rol oynayır. M.Reyner reometrləri 3 tipə bölür:

1. Bircins deformasiyaların baş verdiyi cihazlar. Məsələn, bərk cisimlərdə dartılma və sıxılmanı təcrübədən keçirmək üçün maşınlar.

2. Laminar yarımbircins deformasiyaların baş verdiyi cihazlar, burada qeyri-bircins deformasiyasının nəticəsi olan rəqəmlərin işlənməsi empirik (təcrübi) nəticələrin integrallaşdırılmasını və diferensiallaşdırılmasını tələb edir. Buna misal olaraq rotasiyalı və kapilyar viskozimetrləri göstərmək olar.

3. Daha mürəkkəb növ deformasiyaların baş verdiyi cihazlar. Məsələn, düşən diyircəkli viskozimetrlər.

Fiziki-kimyəvi əsaslandırılmış reoloji xassələrin öyrənilməsi üçün cihazları mütləq, nisbi və şərti olmaqla 3 yerə bölmək olar.

Birinci qrup cihazlarda öyrənilən xassələrin qiymətlərini mütləq vahidlərlə alırlar. İkinci qrup cihazlarda işləyərkən etalon nümunələrdə onların ilkin tarirovkasını həyata keçirirlər ki, onların da xüsusiyyətləri sınaq şəraitində əvvəlcədən məlumdur. Eksperimentlər nəticəsində nisbi qiymətlər alınır və onlar qrafiklərin köməyiylə hesablanaraq asanlıqla mütləq kəmiyyətlərlə ifadə edilir.

Üçüncü qrup cihazlarda verilmiş cihaza xas olan bir qədər şərti qiymətlər alınır. Bu şərti göstəricilərdən müxtəlif kütlələrin müqayisəsi, eləcə də istehsal prosesində texnoloji və digər amillərin sınaq materiallarına təsirinin öyrənilməsi üçün istifadə edilir. Onlar yalnız keyfiyyəti müəyyən edir, maşın və avadanlıqların hesablanması üçün istifadə edilmir.

Birinci iki qrup cihazlarda alınan nəzəri cəhətdən əsaslanmış məlumatlar həm ərzaq məhsullarının keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi, həm də maşınların işçi hissələrinin hesablanması, onların səmərəli iş rejimlərinin seçilməsi üçün tətbiq oluna bilər.

İstehsalatda tədqiqatların aparıldığı şərtlər, eləcə də tətbiq edilən metodlar və cihazlar qoyulmuş məsələdən asılı olaraq müəyyən edilir. Buna uyğun olaraq, qida materiallarının struktur-mexaniki xassələrinin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulan cihazlar dörd qrupa bölünür:

1) sənaye cihazları, bilavasitə texnoloji avadanlıqların üzərində və kütlələrin xassələrini axında qeyd edirlər;

2) laboratoriya cihazları kütləvi istifadə və texnoloji proseslərə sürətli nəzarətin aparılması üçün nəzərdə tutulmuşdur;

3) müəssisələrin laboratoriyalarında daha dərinləşdirilmiş sınaqların aparılmasına imkan verən cihazlar;

4) elmi-tədqiqat məqsədləri, materialların bəzi spesifik fiziki xassələrinin ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuş cihazlar.

Hər hansı bir materialın reoloji xassələrinin öyrənilməsi üçün tədqiqat metodlarının seçilməsi zamanı bəzi şərtlərin emal maşınlarında olmasını da nəzərə almaq lazımdır.

Bəzi hallarda bir məhsulun reoloji xassələrinin müxtəlif metodlarla ölçülməsi müxtəlif nəticələr verə bilər. Bu onunla izah olunur ki, hər bir ölçü metodu cihazın müəyyən həndəsi, kinematik və dinamik parametrlərlə və təcrübənin aparılması şərtlərilə izah olunur. Göstərilən parametrlər və şərtlər nəzəri müddəalara əsaslanır ki, onların işlənməsi zamanı həmişə müəyyən ehtimallar tətbiq edilir. Elmi əsaslandırılmış sınaq metodları zamanı ölçülən parametrlər ölçmə üsulundan və cihazın konstruksiyasından asılı olmayaraq eyni qiymətlər almalıdır.

MÜHAZİRƏ 7

Yerdəyişmə xassələrinin ölçülməsi üçün cihazlar

Plan:

1.Rotasiyalə viskozimetrlərin yeyinti sənayesində tətbiqi.

2.Rotasiyalı viskozimetrlərin quruluşu.

3.Rotasiyalı viskozimetrlərinin prinsipi.

4.rotasiyalı viskozimetrlərin növləri.

6.Kapilyar viskozimetrlərin mahiyyəti.

7.Müxtəlif kapilyar viskozimetrlərin modelləri

Yerdəyişmə xassələri məhsulların səthlərinin toxunaraq yerini dəyişməsi zamanı üzə çıxır. Göstərilən xassələrin ölçülməsi üçün cihazlar iş prinsipinə görə aşağıdakı qruplara bölünür:

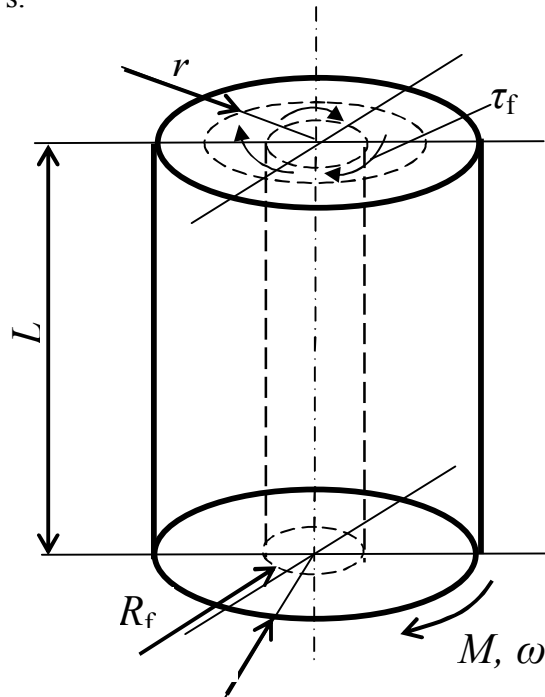
viskozimetrlər (rotasiyalı, kapilyar, düşən diyircəkli); penetrometrlər; səthi paralel lövhəli cihazlar.

Rotasiyalı (fırlanma) viskozimetrlər

Rotasiyalı viskozimetrlər yeyinti sənayesinin bir çox sahələrində müəssisələrin texnoloji laboratoriyalarında, elmi-tədqiqat təşkilatlarında geniş tətbiq edilir. Onlar ilkin xammalın, yarımfabrikatların və hazır məhsulun keyfiyyətinə, həmçinin texnoloji proseslərə nəzarət etməyə xidmət edir.

Rotasiyalı viskozimetrlərin əsas ideyası ondan ibarətdir ki, axına müqavimət ölçüsünü nisbi fırlanma zamanı, məsələn, fırlanma momentini və bucaq sürətini arakəsmələrindəki boşluqlarda özlü maye olan koaksial silindrlərdə ölçməklə müəyyən edirlər. Koaksial silindrləri olan rotasiyalı viskozimetrlərin sxemi şəkil 2.2-də təsvir edilmişdir. Burada müəyyənlik üçün daxili silindr hərəkətsizdir, xarici silindr isə ω bucaq sürəti ilə fırlanır.

Fırlanan silindrli viskozimetrlərdə əsasən də kiçik boşluqlarda onlar arasında axının xarakteri sadə deformasiyalara uyğundur ki, bu da təcrübi məlumatların işlənməsini asanlaşdırır. Xassələrinə belə viskozimetrlərdə nəzarət edilən materiallar kifayət qədərdir, məsələn, yüksək temperaturlu şirələr, süd, süd konservləri, kəsmik, braqa pivələri, kremlər, şokolad və konfet kütlələri, qiymələr və s.



Şəkil. 2.2. Fırlanan silindrli viskozimetrlərdə axın sxemi

$\dot{\gamma} = \text{const}$ olduqda dinamik özlülük əmsalı Marqules formulu üzrə müəyyən edilir:

$$\eta = \frac{M}{\omega} \cdot \frac{R_H^2 - R_B^2}{R_H^2 \cdot R_B^2} \cdot \frac{1}{2\pi L}, \quad (2.1)$$

burada: R_B – daxili silindrin radiusu, m;

R_H – daxili silindrin radiusu, m;

M – fırlanma momenti, daxili silindrə qoyulmuş, dövr/dəq;

ω – xarici silindrin bucaq sürəti, rad^{-1} ;

L – silindrlər arasındakı qatın hündürlüyü, m.

$M = \text{const}$ olduğu zaman viskozimetrin hesab düsturu aşağıdakı kimidir:

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega}{1 - \alpha^2}, \quad (2.2)$$

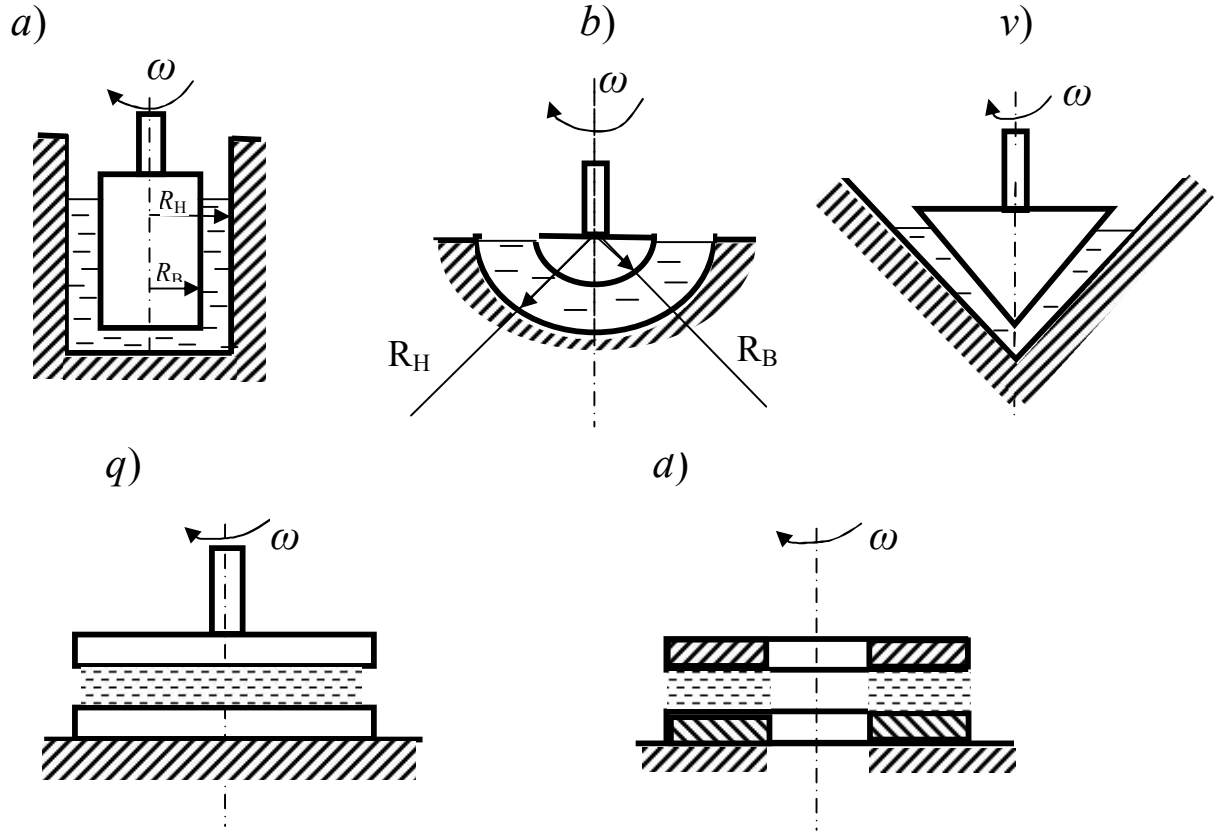
burada: α – həndəsi simpleksdir:

$$\alpha = \frac{R_B}{R_H}. \quad (2.3)$$

2.1 və 2.2 formulları arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.4)$$

Ölçülən səthlərin formasına görə rotasiyalı cihazlar aşağıdakı sistemlərə malik olur: koaksial silindrlı, sahələr və ya yarımsahələr, iki konuslu, iki səthi paralel lövhəli, iki yastı və ya iki konusvarı üzüklər, silindr və diskli, silindr-yarımsahə, konus-disk, silindr-konus-disk. Onların bəziləri şəkil 2.3-də göstərilmişdir.



Şəkil. 2.3. Rotasiyalı vizkozimetrlərin ölçülən səthlərinin sxemləri:

- a) koaksial silindrlı; b) iki yarımsahəli; v) iki konuslu,
 z) iki səthi paralel lövhəli, d) iki yastı üzüklü

Rotorun forması tədqiq edilən materialın (nyuton və ya qeyri-nyuton) növündən və özlülüyün ölçülən qiymətlər çoxluğundan asılıdır. Yeyinti sənayesində koaksial-silindrik səthə malik viskozimetrlər daha geniş tətbiq olunur.

Koaksial-silindrlı cihazın iki əsas variantı məlumdur. Birinci variantda tədqiq edilən maddə sabit yerdəyişmə sürətində ($\dot{\gamma} = \text{const}$) bərabər sürətlə fırlanan xarici silindrə yerləşdirilir, daxili silindrdə tədqiq olunan materialdan keçən fırlanma momenti isə üzərində həmin silindr (Kuetta, Mak-Maykel və s. viskozimetri) asılan elastik elementin sıxılması üzrə ölçülür.

İkinci variantda xarici silindr hərəkətsizdir, daxili silindr isə diyərcəkli podşipnik üzərində yerləşən oxa bərkidilir və sabit fırlanma momentinin ($M = \text{const}$) təsiri altında hərəkətə gətirilir.

Mayenin özlülüyündən asılı olaraq silindrin bucaq sürəti ω ölçülür (M.P.Volaroviç vizkozimetri).

Beləliklə, cihazlarda müvafiq olaraq iki tədqiqat metodu formalaşır:

- a) deformasiya (yerdəyişmə) sürətinin sabitliyi metodu $\dot{\gamma} = \text{const}$. (şək. 2.4, a);
- b) fırlanma momentinin sabitliyi metodu $M = \text{const}$ (şək. 2.4, b).

Reoloji tədqiqatlar zamanı iki metodun birləşdirilməsi çox səmərəlidir. Bunu elə etmək lazımdır ki, tam strukturlu materialların özlü-elastik xassələri $M = \text{const}$ metodu ilə, dağılma prosesləri və müəyyənləşdirilmiş axın rejimləri - $\dot{\gamma} = \text{const}$ metodu ilə öyrənilsin.

Reoloji xarakteristikaların hesablanması metodikası məhsulun struktur vəziyyətinin iki halından hər biri üçün spesifik cəhətlərə malikdir.

Dağılmamış quruluş sahəsində elastiklik modulunu, ən yüksək özlülüğü və deformasiyanın inkişaf xarakterini müəyyən edirlər. Ölçməni quruluşun tiksotrop bərpasından sonra həyata keçirirlər. Deformasiyanın həcmi cihazın göstəriciləri əsasında hazırlanır. Təcrübəni yerdəyişmənin gərginlik həddinə nisbətən aşağı olan şəraitdə, deformasiyanın qeydə alınma intervalı 10-20 s olduqda aparılır.

Axın əyrisi üzrə quruluşun uçqunşəkilli dağılması sahəsinə keçən zaman statik τ_s və dinamik θ_0 yerdəyişmə gərginliyinin son həddini, plastik özlülüğü η_{pl} və effektiv özlülüğün η_{ef} sürət qradientindən $\dot{\gamma}$ və ya yerdəyişmə gərginliyindən τ asılılığını müəyyən edirlər. Nəticələrin hesablanmasını bütün nöqtələrdən keçən bir axın əyrisində həyata keçirirlər. Rotorun (valın) fırlanması onunla stəkan arasında yerləşən məhsulda daxili gərilmələrin yaranmasına səbəb olur. Bu xətti gərilmələr yerdəyişmə qüvvələri ilə mütənasibdir, buna görə də sınaqların qrafiki və riyazi

işləmlərini dəyişən sıxlıqlarda $\dot{\varepsilon}(\tau)$, ya da bilavasitə təcrübədən alınan birinci asılılıqdan istifadə etməklə aparmaq olar.

G [Pa] deformasiyası zamanı elastiklik modulunu müəyyən etmək üçün Huk qanunundan və nisbi deformasiyanın ε sabit gərginliyin τ təsir müddətindən qrafiki asılılığından istifadə edirlər.

$$G = \frac{1}{\varepsilon / \tau}, \quad (2.5)$$

burada: τ – yerdəyişmə gərginliyi, Pa;

ε – məhsulun nisbi deformasiyası;

$$\varepsilon = \frac{\delta}{\Delta R} \cdot \frac{R_B}{l}; \quad (2.6)$$

δ – cihazın əqrəbindəki xətlər, m;

ΔR – stəkan və rotorun arasında olan məhsul qatının qalınlığı, m;

l – əqrəbin uzunluğu, m;

ε / τ – vahid yerdəyişmə gərginliyində nisbi deformasiya, 1/Pa.

Plastik-özlü axına uyğun olan ən böyük effektiv özlülüüyü Nyuton düsturu ilə hesablayırlar:

$$\eta'_0 = \frac{\tau}{\Delta \varepsilon / \Delta t}, \quad (2.7)$$

və ya

$$\eta'_0 = \frac{\Delta t}{\Delta \varepsilon / \tau}, \quad (2.8)$$

burada: Δt – zaman intervalı, san;

$\Delta \varepsilon / \Delta t$ – əyrinin düzxətli hissəsi üçün və ya təcrübədən əvvəl mövcud olan düz xəttin azca qabarıq olan əyrixətli sahənin düz xəttinə uyğun deformasiya sürəti;

İstənilən gərginlik üçün nyuton və effektiv özlülüyn hesablanması (2.8) düsturu ilə aparmaq olar, lakin çoxlu sayda təcrübələr zamanı $M = \text{const}$ şəraitində işləyən viskozimetrdən istifadə edərkən M.P. Volaroviçin təklif etdiyi düstur vasitəsilə aparmaq olar:

$$\eta_{\text{ef}} = K \frac{m}{N}, \quad (2.9)$$

burada: K – cihazın sabiti;

N – vizkozimetrin valının fırlanma tezliyi, s^{-1} ;

m – valı fırladan yüklərin kütləsi, kq.

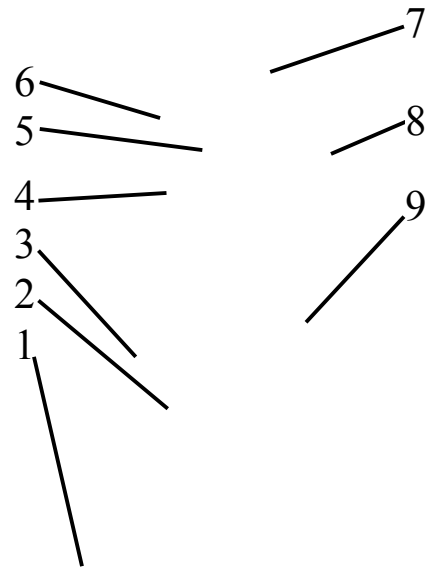
$\dot{\gamma} = \text{const.}$ metodu ilə işləyən daha geniş yayılmış rotasiyalı viskozimetrlərə «Reotest» (Almaniya) və onun modifikasiyaları aiddir. Silindrik ölçü elementlərinin əsas dəsti ilə yanaşı, bu cihaz orta və yuxarı özlülüklü məhsullar üçün yüksək sürətli deformasiyalarda özlülüğü ölçmək üçün nəzərdə tutulmuş konus-lövhə tipli qurğu ilə də təhciz edilmişdir. Konusla lövhə arasında bucaq $0,3^\circ$ təşkil edir. Bu cihaz 0,56-dan 4860 c^{-1} -ə qədər yerdəyişmə sürətini $\dot{\gamma}$, 40-dan $2,2 \cdot 10^5$ -ə qədər yerdəyişmə gərginliyini ölçməyə imkan verir. Ölçülən özlülüğün qiyməti η 8-lə $40 \cdot 10^7 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ arasında dəyişir.

«Reotest» viskozimetri şəkil 2.4-də göstərilmişdir. Dəzgah özülünün 1 içində daxili silindrin 2 fırlanma tezliyini 0-dan 1500 s^{-1} -ə qədər dəyişməyə imkan verən, 12 pilləli ötürücü ilə birləşdirilmiş sinxron elektrik mühərriki quraşdırılmışdır.

Fırlanma momenti ötürücü qutudan aparıcı vala 6, daha sonra spiral yaydan 5 keçərək mufta 2 ilə daxili silindrə birləşdirilmiş hərəkət edən vala 4 ötürülür. Xarici silindr 3 xüsusi sıxacla

viskozimetrin gövdəsinə bərkidilir. Cihazda termostatik qab vardır. Fırlanma momentinin qiyməti cihazın şkalasına 8, deformasiya sürəti isə göstəriciyə 9 əsasən hesablanır.

Torsion tipli müqavimət vericilərinin fırlanma momentini ölçən cihaz mexaniki



Şəkil. 2.4. Rotasiyalı viskozimetrlər:

- a) Volaroviç sistemli RV-8: 1 – dəzgahın özülü; 2 – azbest qab; 3 – termostat mayesi üçün qab; 4 – termometr;
 5 – əksətdirici halqa; 6 – qızdırıcı element; 7 – intiqal qayışını hərəkətə gətirən çarx;
 8 – tormoz mexanizmi; 9 – şkala; 10 – əqrəb; 11 – baraban; 12 – diyircək; 13 – cihazın qapağı; 14 – valın kəməri;
 15 – val; 16 – stəkan; 17 – qarışdırıcı; 18 – quraşdırıcı vint.
- b) «Reotest» viskozimetri

qüvvələrin elektrik impulslarına çevrilməsi prinsipi əsasında işləyir. Cihazın göstəricisi 8 fırlanma momentinə, eləcə də deformasiya gərginliyinə və tədqiq olunan materialın özlülüyü ilə düz mütənasibdir. Sinxron elektrik mühərrikinin, uyğun olaraq daxili silindrin 2 fırlanma sürəti

şəbəkədə cərəyanın tezliyindən asılıdır. Normal 50 H tezlikdən kənaraçıxmalar 7 cihazı ilə qeydə alınır və xüsusi əmsalla hesablanır.

Ölçü limiti özlülük üçün 10^{-2} - $104 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; deformasiya sürəti üçün $0,1667 - 1,458\cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$; deformasiya gərginliyi üçün $12 - 3\cdot 10^3 \text{ Pa}$; temperatur üçün $30 - 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ müəyyən olunmuşdur. Ölçü xətası $\pm 3\%$ yol verilir (nyuton mayelərinə uyğun olaraq).

Nə qədər sadə görünsə də rotasiyalı viskozimetriyada bir sıra problemlər də mövcuddur. Bunlar ölçmə dəqiqliyinə maneçilik yaradan müxtəlif təsirlərdir ki, onlar aşağıdakılardır:

1. *Axının burulğanlığı*. Rotasiyalı cihazlarda ölçmə dəqiqliyinin əsas şərtlərindən biri deformasiyalı axının laminarlığıdır ki, o, Reynolds (Re) ədədi ilə xarakterizə olunur. O, ölçüsüz meyar olub, onun dəyişməsi axının burulmasını yaradır.
2. *İstilik təsirləri*. Rotasiyalı viskozimetriyanın özü cihaz kəsiyində yerləşən material üzərində işləmə prinsipinə əsaslanır. Bu istiliyin ayrılmasına və öyrənilən mühitin temperaturunun dəyişməsinə səbəb olur. Bu da öz növbəsində özlülüyn dəyişməsinə səbəb olur. Bu problemin həllinə aid çoxlu sayda işlər aparılmışdır ki, onların mahiyyəti təshihedici əmsalların daxil edilməsinə gətirib çıxarır.
3. *Veysenberq təsirləri*. K. Veysenberq tərəfindən müəyyən olunmuşdur ki, sadə yerdəyişmələr şəraitində elastiki mayelərin axması zamanı nəinki *xətti*, həm də *normal* gərginliklər, düzbucaqlı deformasiya gərginliyi meydana çıxır. Yerdəyişmə vəziyyəti oxlu simmetriya ilə xarakterizə olunan elastiki mayelər ağırlıq və mərkəzdənqaçma qüvvələrinə əks təsir göstərən normal gərginlik altında toplanır və viskozimetrin kəsiyindən sıxılıb çıxır.
4. *Elastiki mayelərin hərəkəti zamanı elastik burulğanlıq hadisəsi*. Elastik mayelərin kapilyarlarda yüksək sürətlə axması zamanı müəyyən edilmişdir ki, maye axını deformasiya etməyə başlayır və onun üzərində müxtəlif təzahürlər əmələ gəlir. Çox yüksək sürətli deformasiyalarda isə maye axını bəzən ayrı-ayrı hissələrə parçalanır. Baxmayaraq ki, hadisə kapilyar viskozimetrlərdə müəyyən olunmuşdur, o, rotasiyalı viskozimetrlərin işi zamanı müşahidə oluna bilər. Bu zaman ölçülən parametrin öz-özünə əmələ gələn titrəyişləri də müşahidə olunur.
5. *Axır təsirlər*. Rotasiyalı viskozimetrlərin işi zamanı fırlanma momenti ölçülən elementə nəinki yan səthlər, həm də silindrin diblərindən ötürülür. Belə ki, silindrlərin diblərinin yaratdığı kəsiklərdə meydana çıxan gərginlik sahələrinin və yerdəyişmə sürətinin riyazi təsviri çox mürəkkəbdir. Rotasiyalı cihazlar üçün hesablayıcı düsturlar axırıncı təsirlərin iştirakı nəzərə alınmadan çıxarılır, bu da ölçmələrdə müəyyən xətalara səbəb olur

Kapilyar viskozimetrlər.

Bu tip viskozimetrlərdən nisbətən kiçik özlülüyə malik olan materialların özlü xarakteristikalarının ölçülməsində istifadə olunur. Kapilyar viskozimetrlərin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, sərfi, təzyiq fərqi, materialın hərəkət etdiyi kapilyarın uzunluğunu və diametrini ölçərək materialın yerdəyişməyə qarşı müqavimətini, yəni özlülüynü hesablamaq olar. Bu məsələ nyuton mayeləri üçün daha sadədir. Onların kapilyarlarda laminar axını Puazeyl düsturu ilə ifadə olunur:

$$\eta = \frac{\pi R^4 \Delta p}{8 L Q}, \quad (2.10)$$

burada: η – dinamik özlülük əmsalı, Pa·s;

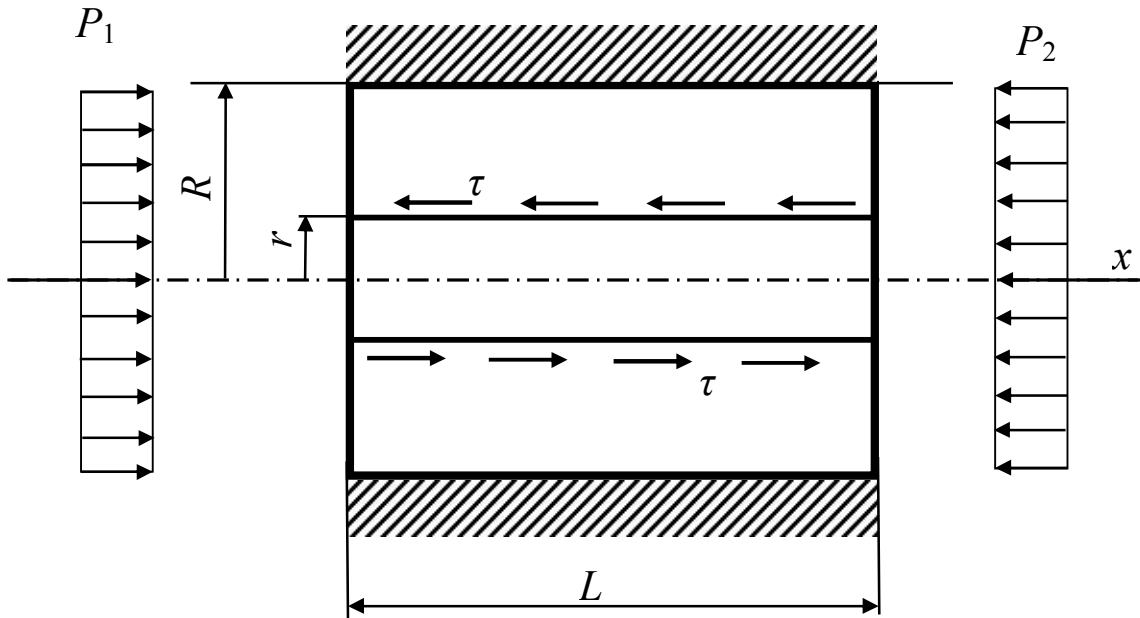
R – kapilyarın radiusu, m;

Δp – kapilyarın uzunluğu boyu təzyiq fərqi, Pa;

L – kapilyarın uzunluğu, m;

Q – kapilyardan keçən materialın həcmi, kq/m³.

Viskozimetrin kapilyarında mayenin axma sxemi şəkil 2.5-də göstərilmişdir. Kapilyar viskozimetriya nəzəriyyəsi ona əsaslanır ki, cihazdakı axın laminardır, divarlarda sürüşmə yoxdur. Nöqtənin deformasiya sürəti elə həmin nöqtədəki yüklənmədən asılıdır.



Şəkil. 2.5. Kapilyarda viskozimetrin axma sxemi.

Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, bəzi hallarda sürüşmə mümkündür. Bir çox alimlər belə hallarla dəfələrlə rastlaşmışlar. Lakin bu hadisələrin öyrənilməsi üçün kifayət qədər etibarlı üsullar indiyə qədər də işlənib-hazırlanmamışdır. Kapilyar viskozimetrlərdə aparılan sınaqlar zamanı Q kütlə sərfinin Δp təzyiq fərqiindən asılılığı müəyyən olunur. Əgər sınaqlar bir kapilyarda aparılırsa, onda kapilyarın divarındakı deformasiya gərginliyini τ , Pa aşağıdakı düsturla hesablayırlar:

$$\tau = \Delta p R / [2(L + nR)], \quad (2.11)$$

burada: n – axır təsirləri nəzərə almaqla, əlavə düzəlişdir.

Özlülüyn dəqiq ölçülməsinə axır təsirləri kənar etmək üçün eyni radiuslu, lakin müxtəlif uzunluqlu iki kapilyardan istifadə olunur. Onda τ aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\tau = R(p_1 - p_2) / [2(L_1 - L_2)]. \quad (2.12)$$

Yerdəyişmə sürəti $\dot{\gamma}$, s^{-1} aşağıdakı düsturla hesablayırlar.

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_{CP} (3 + d \lg \dot{\gamma}_{CP} / d \lg \tau), \quad (2.13)$$

burada: $\dot{\gamma}_{CP} = Q / (\pi R^3)$.

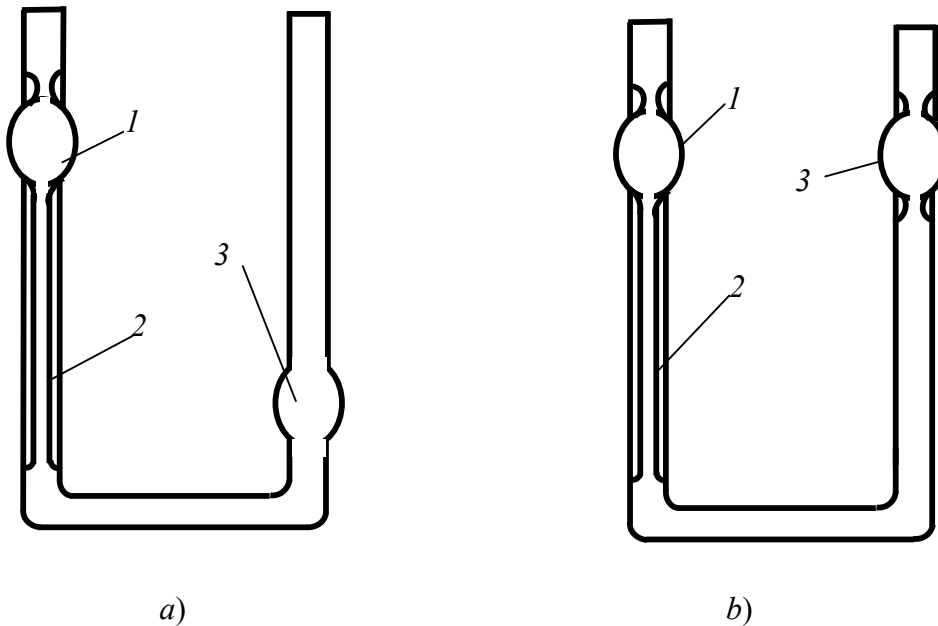
Nyuton və qeyri-nyuton xassəli məhsullar üçün kapilyar viskozimetrlərin ümumi sxemi şəkil 2.6-da göstərilmişdir.

Bütün bu tip cihazlar üçün ümumi cəhət kapilyarın, mayenin və sistemin sərfini və ya həcmi ölçmək üçün hidrostatik təzyiqin yaranmasını təmin edən qurğunun olmasıdır. Kapilyar kimi nyuton və qeyri-nyuton mayələrinin özlülüynü ölçmək üçün diametri 2-3 mm olan kalibrlənmiş borulardan istifadə olunur. Bir qayda olaraq, alınan nəticələr dəyişkəndir, belə ki, boruların diametrindən asılı deyil. Yüksək özlülüyə malik qeyri-nyuton mayeləri və plastik özlü sistemlər üçün kapilyarın diametri bir neçə onlarla millimetərə bərabər ola bilər, ölçmələrin nəticələri isə çox zaman onun diametrindən asılı olur, yəni dəyişkən deyildir. Göstərilən hər iki halda kapilyarın diametri nəzəri olaraq uyğun cisimlər üçün alınmış düsturlara daxil olur. Lakin plastik özlü cisimlərin modellərinin boruları ilə hərəkət zamanı axın diametrdən asılı ola bilər. Bu zaman müxtəlif diametrlərdə eyni adlı məhsul müxtəlif axın modellərinə malik olur ki, onları hesablamaq kifayət qədər mürəkkəbdir.

Nisbətən sadə, ənənəvi, eyni zamanda universal kapilyar viskozimetrlər olan Ostvald (şək. 2.6,a) və Ubellodi (şək. 2.6,b) viskozimetrləri 1 kapilyarına və maye üçün 2 və 3 kürələrinə

malikdir. Axma prosesi üçün hərəkət qüvvəsi təzyiq dəyişməsidir. Ostvald viskozimetrində o, maye sütununun hündürlüyündən, Ubellodi viskozimetrində isə vakum və ya borunun bir hissəsində olan təzyiqdən asılıdır. Ölçmələr zamanı cihazları adətən su hamamına yerləşdirirlər. Öyrənilən mayenin istilik tənzimlənməsi cihazda 10-30 dəq. davam edir. Bu müddət ərzində onun temperaturu termostatda olan mayenin temperaturuna yaxınlaşır, əvvəlki ölçmələrlə eyni olan şərait yaranır. Qısa müddətli istilik tənzimlənməsi zamanı qiymətlərdəki səhvlər onların həqiqi qiymətlərindən kənara çıxmalara səbəb olur.

Ubellodi tipli viskozimetrlərdə ölçmələr aparın zaman mütləq bir tərəfdən təzyiq və ya vakuum yaratmaq lazımdır. Bunun üçün kompressor və ya vakuum nasos kimi işləyə bilən hava nasosundan ibarət qurğudan, həcmi 8-10 l olan tıxaclı şüşə monostat, *U*-ya bənzər maye manometr, manometrədən atılan mayeni tutub saxlayan qabdan və havanın verilməsini tənzimləyən üçqapılı krandan istifadə olunur. Ölçməyə başlamazdan əvvəl təzyiq bütün həcmlərdə bərabərləşdirilməlidir. Maye kapilyardan axan zaman təzyiqin çoxluğu axının burulğanlığını yaradır. Buna görə də Reynolds kriterisinə görə laminarlığın yoxlanmasını xüsusilə diqqətlə həyata keçirmək lazımdır.



Şək. 2.6. Kapilyar viskozimetrlər:

a) Ostvald; b) Ubellodi: 1 – kapilyardan keçən mayenin həcmi ölçən dəyirmi qab; 2 – kapilyar; 3 – mayenin yığılması üçün kürə qab

Bütün cihazların işində ümumi şərtlər stendin tərtibi və üfüqi və ya cihazın şaquli qurulması, yaxşı yuyulub qurudulmuş cihazın tədqiq olunan məhsulla doldurulması və onun temperaturunun seçilmiş temperatura görə sabitləşdirilməsi, müəyyən həcmdə zamanın gedişinin

ölçülməsidir ki, bu özlülükdən və hündürlüyün müxtəlifliyindən və ya hidrostatik təzyiqdən asılı olur. Ölçmələri aparmazdan əvvəl cihazları etalon mayeyə, yəni distillə suyuna, şəkər məhluluna və ya gənəgərçək yağına görə nizamlayırlar. Nizamlanma tələb etməyən əksəriyyət cihazlarda sabitləri işçi orqanların ölçülərinə görə Puazeyl düsturuna uyğun təyin edirlər:

$$pd/(4l) = \eta 8w/d, \quad (2.14)$$

burada: p – hidrostatik təzyiq, Pa;

d – kapilyarın daxili diametri, m;

l – kapilyarın uzunluğu, m;

η – dinamik özlülük, Pa·s;

w – mayenin sürəti, m/san.

Nəzərə almaq lazımdır ki, hidrostatik ölçmələri son dərəcə yüksək dəqiqliklə aparmaq lazımdır. Buna görə də, kapilyar viskozimetrləri etalon mayeyə görə dərəcələyirlər.

Ostvald viskozimetri nisbi cihaz kimi istifadə edilir. Hesablayıcı formul aşağıdakı kimidir:

$$\eta = K_T \rho t, \quad (2.15)$$

burada: K_T – cihazın temperatur ölçülməsində suyun sabitidir, m²/s²;

ρ – mayenin qatılığı, kq/m³;

t – zaman müddəti, s.

Ubbelode viskozimetri həm nisbi həmdə mütləq cihaz kimi istifadə edilə bilər. Birinci halda onun etalon mayeyə görə dərəcələyirlər, ikinci halda isə Puazeyl düsturuna uyğun olaraq sabitləri müəyyən edirlər. Onları kompleks şəkildə əvvəlcədən dərəcələmə və həndəsi ölçmələrin nəticələri nəzərə alınmadan müəyyən etmək olar. Özlülüynün ölçülməsi üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

$$\eta = \eta_B \rho t / (p_B t_B), \quad (2.16)$$

Burada «B» indeksi cihazın suya görə dərəcələnməsi zamanı alınan qiymətlərə aiddir.

Təzyiqi dəyişməklə dərəcələnmə reoqramları qurmaq olar. Onlar işçi qiymətlər üçün sabitləri hesablamağa imkan verir. $pt = f(p)$ qrafikləri xüsusi əhəmiyyət kəsb edir, onlar Puazeyl qanununun təsir sahəsində hər temperatur üçün üfüqi xətlər verir. Burulma başlayan zaman Puazeyl qanunu hadisəni əks etdirə bilmir, xətlər yuxarıya doğru əyilir. Əgər mayenin özlülüynü

normal deyilsə onda xətlər qismən əyilə bilər, koordinat başlanğıcından çıxmaz, absis oxunu kəsər.

Sonda kapilyar viskozimetrlərdə lazımi dəqiqliyi əldə etmək üçün vacib olan şərtləri qeyd edək:

- a) axının laminar rejimini təyin etmək;
- b) son effektlərin təsirini yox etmək, məsələn, müxtəlif uzunluqlu iki kapilyardan istifadə edərək;
- c) divar sürüşməsinin olmaması, məsələn, axın əyrilərinin diametri müxtəlif olan kapilyarlar üçün qatılıq sabitləri ilə eyniliyi;
- d) sərfin çəki üsulu ilə ölçülməsi zamanı yadda saxlamaq lazımdır ki, bir çox qida materialları təzyiq altında sıxılma xassələrinə malikdir. Bu məsələ materialların hərtərəfli sıxılması zamanı xüsusi tədqiqatların aparılmasını tələb edir.

Kapilyar viskozimetriya olduqca məhdud şəkildə tətbiq olunur və çox nadir hallarda sənaye sahələrində istifadə olunur.

MÜHAZİRƏ 8

Kürəcikli viskozimetrlər.

Plan:

- 1.Kürəcikli viskozimetrlərin təyinatı.**
- 2. Kürəcikli viskozimetrlərin işləmə prinsipi.**
- 3. Kürəcikli viskozimetrlərin çatıçmayan cəhətləri.**
- 4.Konusşəkilli plastometrlərin tətbiq olma sahələri.**
- 5.Konusşəkilli plastometrlərin quruluşu.**
- 6.Konusşəkilli plastometrlərin iş prinsipi.**
- 7.Lövhələri səthə paralel yerləşən cihazlar.**

Kürəcikli vizkozimetrlər müxtəlif cinsli tədqiqat metodlarına aiddir və bircins nyuton mayeləri və ya zəif strukturlu qeyri-nyuton mayeləri ilə işlədikdə geniş istifadə olunur. Burada özlülük ölçmə hissəsinin müəyyən uzunluğundan kürəcik keçən zaman müəyyən edilir. Chazlar iki əsas sxem üzrə düzəldilir (şək.2.7).

- a) şaquli silindrdə sərbəst düşən şar;
- b) maili silindrdə yuvarlanan top.

(a) sxeminin çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, şarın düşməsi zamanı qeyri-nyuton mayələrində onun düzxətli hərəkətində sapmalar ola bilər, necə deyərlər, kürəciyin “uçması” baş verir. Bu isə ölçmənin nəticələrinin yanlış olmasına gətirib çıxaracaqdır.

Buna görə də diyirlənən kürəciyi olan viskozimetrlərdən daha geniş istifadə olunur. Buna misal olaraq Heppler viskozimetrini göstərmək olar (şək.2.8)

2 kürəciyi maili boruda hərəkət edərək onun divarı ilə ensiz oraqşəkilli yarıq əmələ gətirir.

Yarıqdan keçərkən nyuton mayesinin struktur quruluşu dağılır. Buna görə də iki ardıcıl ölçmələr zamanı nəticələrin dəqiq alınması baş verməyə bilər.

Cihaz nyuton mayələrinin özlülüyünün $3 \cdot 10^{-4}$ - 60 Pa·s diapazonunda ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur.

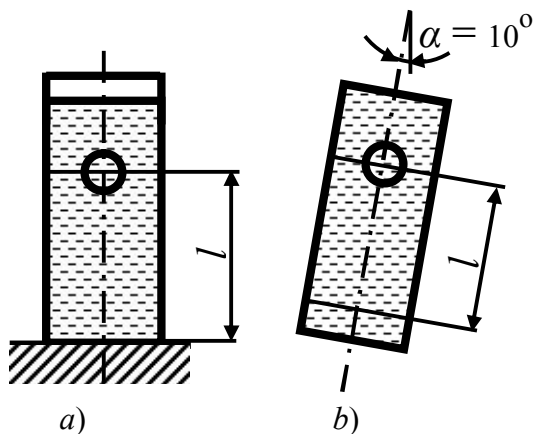
Nyuton mayələrinin ölçülməsi zamanı laboratoriya modelləri üçün 0.5%-dən çox deyildir. Cihaz deformasiyanın gərginlik həddinə malik olan sistemlər üçün tətbiq olunmur.

Özlülüyn hesablanması üçün Stoks qanunu əsasında alınmış düsturdan istifadə edirlər:

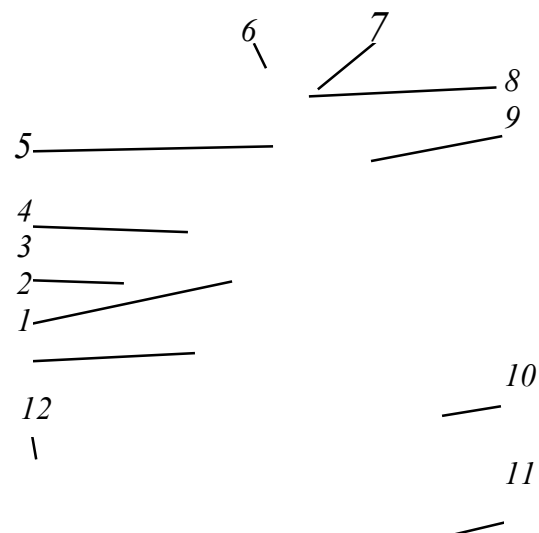
$$\eta = K(\rho_k - \rho)t, \quad (2.17)$$

burada: K – cihazın sabiti, m^2/s^2 ;

ρ_k – kürənin materialının sıxlığı, kq/m^3 ;



Şək. 2.7. Kapilyar viskozimetryaların sxemi



Şək. 2.8. Hepplerin kürəcikli

viskozimetri

ρ – ölçülmə anındakı temperaturda mayenin sıxlığı, kg/m^3 ;

$t - h$ sahəsində kürənin yerləşdirilmə müddəti, s.

Strukturlu mayelərin reoloji tədqiqi zamanı kürəcikli viskozimetrlərdən istifadənin çətinliyi ondan ibarətdir ki, axın əyrisinin alınması üçün müxtəlif diametrli kürələrdən istifadə etməklə bir sıra ölçmələr aparmaq lazımdır. *Tiksotrop* mayelərin tədqiqi zamanı isə kürənin ölçü sahəsində bərabərsürətli olmayan hərəkəti nəticəsində böyük xətlər mümkündür.

Belə çətinliklərdən biri də ondan ibarətdir ki, hərəkət edən kürəciyin məhsula təsiri zamanı sonuncunun reoloji xassələri dəyişir, bunun nəticəsində hər bir sonrakı müşahidələrin nəticəsi əvvəlkindən fərqlənir. DÖST-ün tələblərinə ciddi riayət etməklə 1 saniyə ərzindəki ardıcıl müşahidənin nəticələri arasındakı fərqlərə görə mühakimə yürüdürlər. Məsələn, quru süd məhsulu üçün bu nəticə 10-15 müşahidədən sonra əldə edilir.

Kürəcikli viskozimetrlər göstərilən çatışmazlıqlar üzündən qida sənayesində geniş tətbiq olunmur.

2.3.4 Konusşəkilli plastometrlər

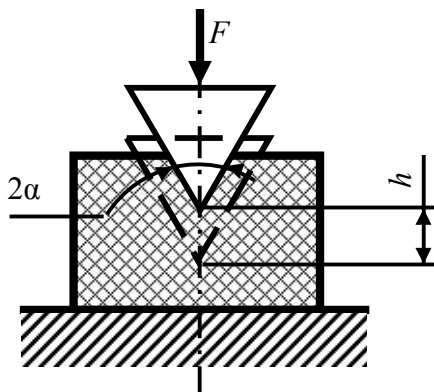
Penitrasiya (nüfuzetmə) yarımberk və berk məhsulların-struktur mexaniki xassələrinin onların müqavimətinin müəyyən edilməsi yolu ilə ölçülməsi üsuludur. Bu zaman məhsula müəyyən vaxt ərzində dəqiq ölçüyə, çəkiyə və materiala malik olan konus, kürə, iynə, silindr daxil edilir. Tədqiqatları aşağıdakı kimi aparmaq olar:

- a) daimi F nüfuzetmə qüvvəsi ilə (bu zaman nüfuzetmənin dərinliyi h müəyyən olunur);
- b) daimi batırılma dərinliyi h (F qüvvəsi ölçülür);
- c) daimi batırılma sürəti ilə (batırılma dərinliyindən asılı olaraq qüvvənin qiyməti qeyd edilir).

Bunun əsasında konsistensiya ilə bağlı müxtəlif parametrlər hesablanır.

Deformasiyanın gərginlik həddi θ_0 materialın struktur möhkəmliyinin qiymətləndirilməsi üçün vacib reoloji xassələrindən biri olub, konusşəkilli plastometrin köməyi ilə tapılır.

Konusun batırılması metodu özlü-plastik cisimlərin struktur-mexaniki xassələrinin öyrənilməsi məqsədilə P.A.Rebinder və N.A.Semenenko tərəfindən irəli sürülmüşdür. Konusşəkilli plastometrlər ideyası ondan ibarətdir ki, şaquli qüvvələrin təsiri altında materiala konusun batırılma dərinliyinin ölçüsünə görə materialın deformasiyasının gərginlik həddini müəyyən etmək olar (şək. 2.9).



Şəkil 2.9. Konus yeridilməsi sxemi

Deformasiyasının gərginlik həddini müəyyən etmək üçün P.A.Rebinderin təklif etdiyi düstur aşağıdakı kimidir:

$$\theta_0 = K_\alpha \frac{F}{h^2}, \quad (2.18)$$

burada: K_α – konus üçün həndəsi sabitdir, α təpə bucağından asılıdır;

F – şaquli təsir qüvvəsinin qiyməti;

h – konusun batırılma dərinliyi, m.

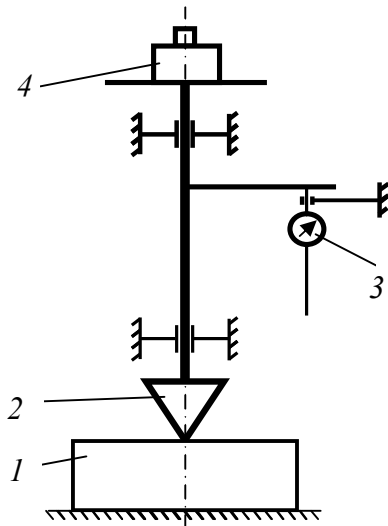
Konus sabiti P.A.Rebindər tərəfindən verilmiş daha bir düsturla hesablanır:

$$K_\alpha = \frac{g}{\pi} \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \quad (2.19)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, təpə bucağı müxtəlif olan 2α konusların t tbiqui zamanı (2.18) düsturundakı θ_0 -ın qiyməti K_α əmsalından istifadə etməklə hesablanarkən heç də həmişə eyni nəticələr alınmır.

Bir sıra müəlliflər K_α üçün digər düsturlar və onlar üçün düzəliş əmsalları təklif olunmuşdur. Onlar müəyyən dərəcədə konusun təpəsində 2α bucağının təsirini azaltmağa imkan verir.

Bu qrupdan olan ilk cihazlardan birisi M.P.Bolarovi in konus killi KP-3 plastometri olmuşdur ki, onun sxematik təsviri şəkil 2.10-da verilmişdir. Tədqiq olunan kütlə qaldırıcı stolun üzərində 1 qabına yerləşdirilir, konusun təpəsi 2 kütlənin səthinə toxundurulmu  vəziyyətə gətirilir. Konusu   ki da ları 4 ilə yükləyir v  3 indikatorunun köməyi ilə konusun batma dərinliyi dayanma anına qədər müəyyən edilir.



Şəkil 2.10. Konusvarı KP-3 plastometri

Plastometrl rin məlum olan konstruksiyalarında bir sıra ümumi çatışmazlıqlar mövcuddur. Onlara aiddir: materialın səthinə indentorun  l ilə ötürülməsi nəticəsində məhsulların struktur-mexaniki xassələrinin qeyri-dəqiq ölçülməsi, da ların köməyi ilə yüklənmə v  konusun batma dərinliyinin ölçülməsində xətalar. Plastometrl rin konstruksiyası t kmill  dik  konusun mexaniki yolla yüklənməsi t tbiqui edildi ki, bu da tədqiqat işlərinin aparılmasını asanla dı.

Batma dərinliyini induktiv vericilərin, tenzovericil rin və s. köməyi ilə müəyyən edilməsi təklif edilmişdir.

Bu struktur-mexaniki xassələrin müəyyən edilməsində dəqiqliyi artırdı, ancaq bu zaman bütün konstruksiyalarda ölçmə diapazonu yen d  dar olaraq qalır. Bu isə yeyinti məhsullarına genişmiqyaslı nəzarəti həyata keçirmək üçün m  sir tələblərə cavab vermir.

Lövhələri səthə paralel yerləşən cihazlar

Səthə paralel yerləşən lövhəli cihazlar kiçik deformasiyalar zamanı materialın strukturunun pozulduğu sahələrdə yerdəyişmə xarakteristikalarının ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Reoloji xassələrin (özlülük, elastiklik, relaksasiya müddəti və s.) öyrənilməsi üçün P.A. Rebinder, D.M. Tolstoy, B.A.Nikolayev tərəfindən müxtəlif konstruksiyalı cihazlar təklif olunmuşdur.

Lövhələrin tangensial yerdəyişməsi metodu nəinki yerdəyişmə gərginliyinin son həddini, həm də elastiklik modulunu, effektiv özlülüğü tapmağa, relaksasiya prosesini öyrənməyə, eləcə də müxtəlif sürətli deformasiyalarda bütün axın əyrilərini çəkməyə imkan verir. Bu metoda əsaslanan cihazlar böyük həssaslığa malikdir və zəif strukturlu zollardan tutmuş yüksək davamlı struktura malik bərk sistemlərdə olan böyük diapazonlarda xassələrin öyrənilməsi üçün tətbiq edilir.

Cihazlarda səthə paralel kəsiklər şaquli, üfüqi və ya maili yerləşə bilər. Şəkil 2.11-də S.Y. Veyler və P.A. Rebinderin təklif etdiyi kəsiyi şaquli yerləşən cihaz göstərilmişdir. İçərisində tədqiq oluna cisim olan küvet 2 hərəkətsiz şəkildə quraşdırılmışdır. Onun içərisinə 5 yükü ilə hərəkətə gətirilən lövhə l yerləşdirilir. Lövhə ilə ipin arasında mikroşkala quraşdırılmışdır ki, bu şkalaya görə mikroskopun köməyi ilə deformasiyanı ölçürlər. Vaxtı saniyəölçənlə ölçürlər.

Yerdəyişmə gərginliyini τ yayın deformasiyası, bu deformasiyaya uyğun F qüvvəsi və lövhəni yan səthlərinin sahəsinə görə hesablayırlar:

$$\tau = F / (2A). \quad (2.20)$$

Yerdəyişmə gərginliyinin son həddini θ_0 daha böyük $F_{\max}$ qüvvəsinə görə müəyyən edirlər ki, bu zaman lövhələrin yerdəyişməsi baş verir:

$$\theta_0 = F_{\max} / (2A). \quad (2.21)$$

D.M. Tolstoyun lövhələri üfəqi yerləşmiş plastometri (şək. 2.12) strukturu dağılmayan cisimlərin elastiki-plastiki-özlü xassələrinin sabitlərini tapmağa xidmət edir.

Sürətli elastik deformasiya modulu G_1 , ani elastik deformasiya modulu G_2 , ən böyük plastiki özlülük η'_0 aşağıdakı düsturlara əsasən hesablanır:

$$G_1 = \theta \cdot h / \Delta h_0; \quad G_2 = \theta \cdot h / (\Delta h_m - \Delta h_0); \quad \eta'_0 = (\tau - \theta_T) / \dot{\gamma} \quad (2.22)$$

burada: τ – yerdəyişmə gərginliyi, Pa;

h – lövhənin qalınlığı, m;

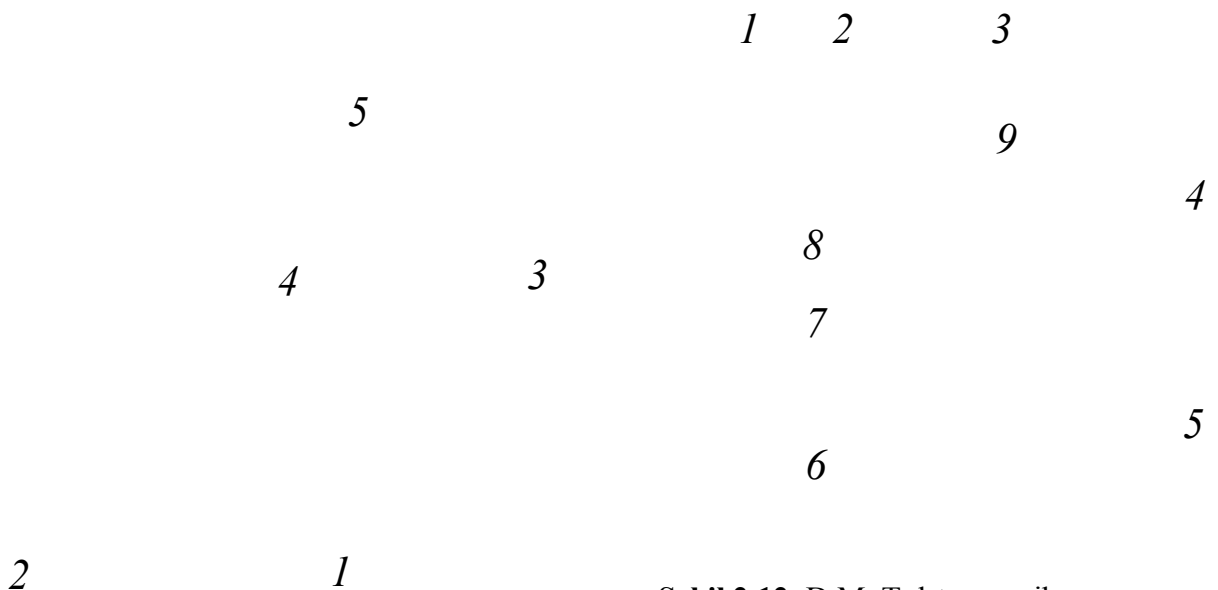
Δh_0 – başlanğıc (şərti-ani) deformasiya, m;

Δh_m – elastiki deformasiya, m.

(2.21) düsturuna əsasən həm də şərti statik deformasiya gərginliyinin son həddini hesablayırlar.

Plastometrin (şək. 2.12) əsas hissəsi lövhələrdir 5 ki, onların arasında məhsul nümunəsi 6 yerləşdirilir. Lövhələrin səthi riflənmişdir (kələ-kötürlük) ki, onlar yana doğru, yəni məhsulu deformasiya etdirən qüvvələrin əksinə istiqamətlənmişdir.

Bu cihazların bir sıra çatışmazlıqları vardır, bu da onların istifadəsini xeyli



Şəkil 2.12. D.M. Tolstoyun cihazı:

- 1 – eksentrik (hərəkəti yerinə hərəkətinə və əksinə çevirən mexanizm);
- 2 – ağırlıq daşı;
- 3 – bərabərqollu olmayan ling;
- 4 – bərabərqollu ling;
- 5 – lövhələr; 6 – sınaq nümunəsi; 7 – ling;
- 8 – tir; 9 – tenzorezistor

Şəkil 2.11. Veyler və Rebinder cihazı:

- 1 – lövhə; 2 – küvet;
- 3 – mikroskop; 4 – mikroşkala; 5 – yay

məhdudlaşdırır. Bu çatışmazlıqlara konstruksiyanın mürəkkəbliyi, hərəkətliliyin zəif olması, konkret materialda kəsiyin həcmi üçün başlanğıc hesablamaların aparılmasını, tədqiq olunan materialın hissəciklərinin işçi kəsiyin səthindən təmizləməyin mürəkkəbliyini və lazımı temperaturun yaradılmasının çətinliyini misal göstərmək olar. Bu xüsusilə yeyinti sənayesində onların tətbiqini məhdudlaşdırır, belə ki, yeyinti məhsulları öz reoloji xassələrini bir qayda olaraq bir sıra texnoloji, fiziki və kimyəvi amillərin təsiri altında dəyişirlər.

Göstərilən bütün çatışmazlıqlar bu növ cihazların geniş tətbiqini və onların seriyalı şəkildə istehsalın əhəmiyyətli dərəcədə azaldır.

MÜHAZİRƏ 9

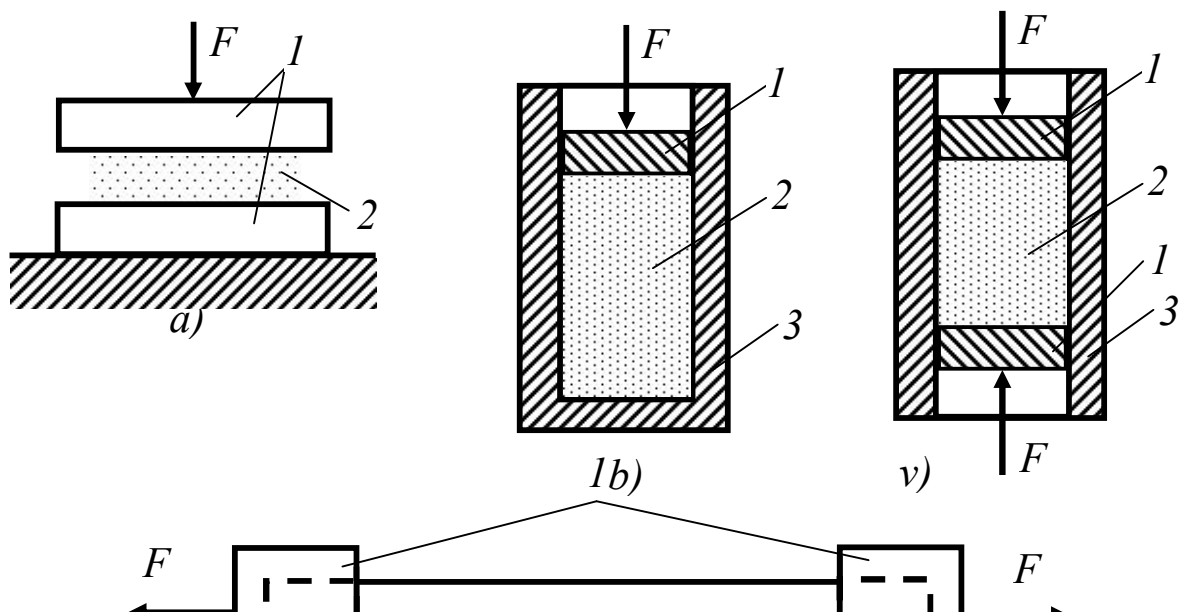
Sıxılma xassələrini öyrənən cihazlar.

Plan:

1. Sıxılma xassələri öyrənmək üçün əsas cihazlar.
2. Məhsulları dartılmaya görə öyrənən cihazlar.
3. Səthi xassələrin öyrənilməsi üçün cihazlar.
4. Səthi xassələr öyrənmək üçün metodlar

Yerdəyişmə ilə bərabər həcmi və ya xətti sıxılma, eləcə də xətti dartılma emal və qablaşdırma prosesində məhsulların deformasiyası zamanı rast gəlinən əsas mexaniki deformasiya növlərindən hesab olunur.

Xətti dartılmanın və sıxılmanın əsas ölçülmə üsulları şəkil 2.13-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.13. Sıxılma xassələrinin ölçülməsi üçün cihazların əsas sxemləri

- a) xətti sıxılma: 1 – lövhələr; 2 – məhsul;
b) birtərəfli həcmi sıxılma; v) ikitərəfli həcmi sıxılma : 1 – porşen; 2 – məhsul; 3 – silindr;
q) xətti dartılma: 1 – sıxac; 2 – məhsul

Bütün cihazlar üçün ölçmə üsulları demək olar ki, eynidir. Konstruktiv sxemlər lövhələrin ötürülməsi üsuluna görə bir-birindən fərqlənir: aşağıdan və ya yuxarıdan, elektrik mühərriki və ya bilavasitə yük tərəfindən.

Məhsulların dartılmaya görə öyrənilməsi üçün cihaz (şəkil 2.14) içərisinə 2 məhlulu tökülən vannadan 1 ibarətdir. Səthdə üzən nümunənin 4 uclarını sıxaqlara bərkidirlər, onlardan biri hərəkətsizdir. Ölçü cihazı yönəldicinin üzərinə bərkidilmiş xətkəşdən 9 ibarətdir.

Yükləyici mexanizm oxdan 7, yükdən 11, ipdən 10, təkərdən 5 və 8, kronşteyndən (dayaq) 6 ibarətdir. Düz və ya şəkər məhlulunun qatılığı elə götürülməlidir ki, nümunə (məsələn, xəmir) onun səthində sərbəst şəkildə üzsün. Cihaz elmi-tədqiqat məqsədləri üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Sıxılma zamanı yaranan deformasiyaları ölçən cihazlar elastik və plastik xassələrin müəyyən edilməsi üçün tətbiq edilir.

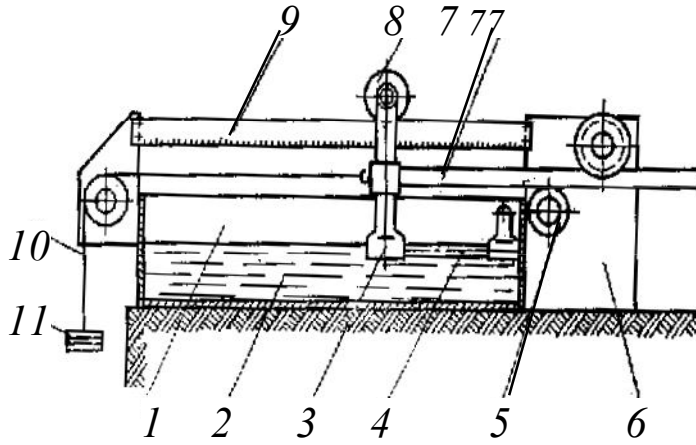
Paralel xətlər arasında birxətli sıxılma zamanı yaranan deformasiyaların ölçülməsi üçün B.A. Nikolaev və A.S. Şpigelqlyasın cihazı üzərində stolun dayaq dirəyi yerləşdirilən özəldən 1 ibarətdir.

Tədqiq olunan material 2 və 3 disklərinin paralel səthləri arasında yerləşdirilir. Yuxarıdakı disk yükün 4 təsiri altında yerini dəyişə bilər, eyni zamanda o, altı hissədən ibarət zəncirə 7 daxil olan reyka 8 ilə bağlıdır. Onun xəttinə şkala üzrə deformasiyanı göstərən əqrəb 6 bərkidilmişdir,

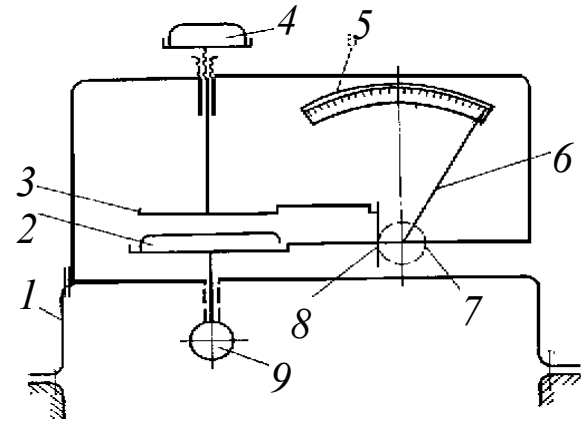
Aşağıdakı disk eksentrikin köməyiylə (fırlanma hərəkətinin yerinə hərəkətinə və əksinə

çevirən mexanizm) yerini dəyişdirərək 2 şaquli səthdə də yerləşdirmək olar.

Təsvir olunan cihazda ani elastiki deformasiyanı, elastiki sıxılma modulunu, eləcə də özlülük deformasiyanın gərginlik həddini müəyyən etmək olar.



Şək. 2.14. Dartılma zamanı sınaq təcrübələrinin aparılması üçün cihaz



Şək. 2.15. Sıxılma zamanı sınaq təcrübələrinin aparılması üçün cihaz

Səthi xassələrin öyrənilməsi üçün cihazlar və metodlar

Adgeziyanın ölçülməsi üçün cihaz və metodlar kənar qüvvələrin tətbiqi ilə adgeziya bağlarının qırılmasına əsaslanır (şək. 2.16)

Qüvvənin tətbiq üsulundan asılı olaraq metodlar iki cür olur: qoparma (bərabər və qeyri-bərabər) və yerdəyişmə.

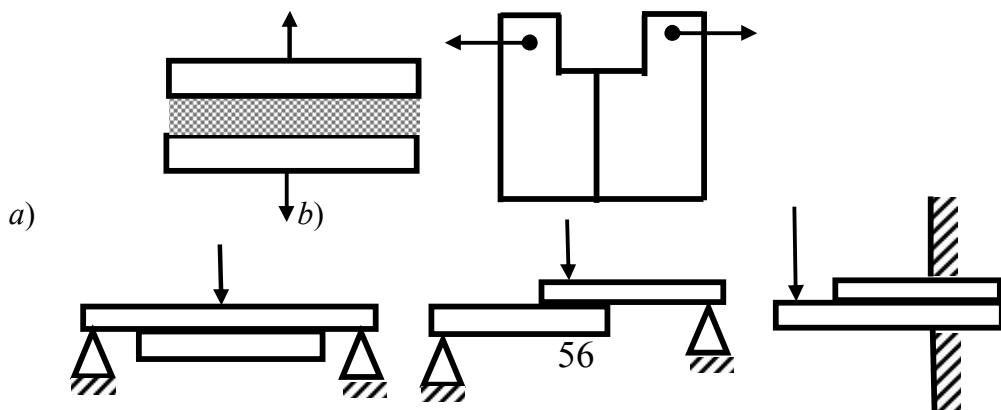
Adgeziyanı ölçən cihazlarda qida məhsulları üçün daha çox şəkil 2.16,a-da göstərilən sxem reallaşır. O, qüvvənin tətbiq olunma üsulu və qoparıcı qüvvələrin qeyd edilməsi ilə fərqlənir. Məsələn, Nikolayev cihazında ling mexanizminin köməyi ilə yuxarı disk ani olaraq qopur; Kulman cihazında ondan asılmış qabın su ilə dolması zamanı aşağı disk tədricən qopur. Bir-biri ilə təmasda olan cisimlərin səthlərinin ayrılması üç yolla baş verə bilər: *adgeziya*-məhsul və səthin bölünmə sərhədi üzrə, *kogeziya*- məhsulun təbəqələri üzrə və *qarışıq*.

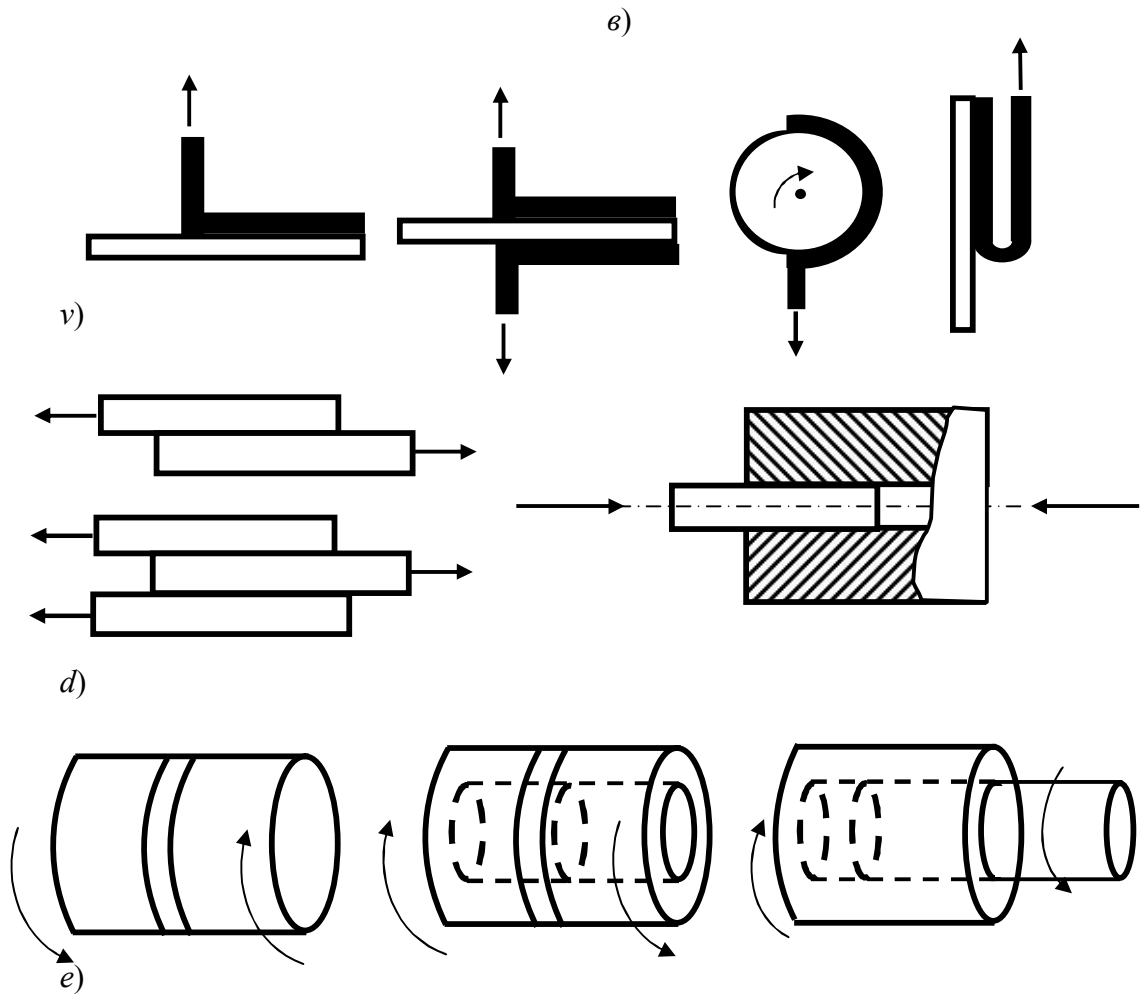
Qida məhsullarında *xarici sürtünmə* yapışma qabiliyyətindən və digər amillərdən asılıdır. Sürtünmə yerdəyişmədən əvvəl *statik* və səth üzrə məhsul hərəkət edərkən *dinamik* ola bilər.

Xarici sürtünmənin nəzəri əsaslandırılması üçün molekulyar-kinetik, mexaniki, fiziki və

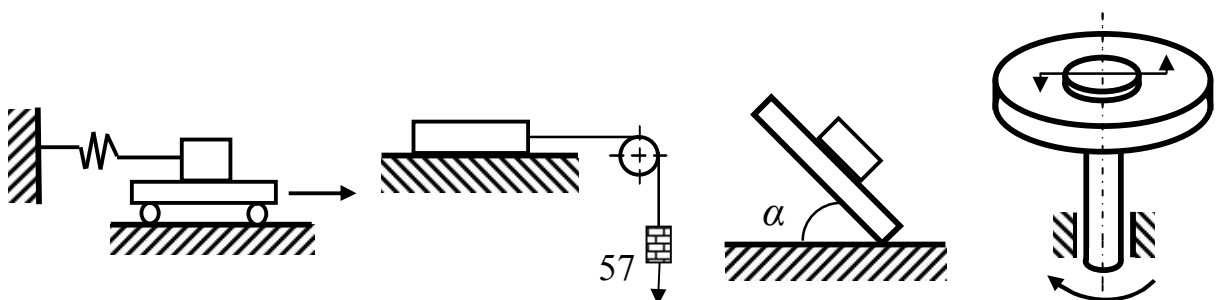
adheziv hadisəsini izah etməyə çalışan digər nəzəriyyələr təklif olunmuşdur. Belə ki, mövcud olan nəzəri tədqiqatlar hələ də qida məhsullarında xarici sürtünmənin öyrənilməsində öz tətbiqini tapmamışdır.

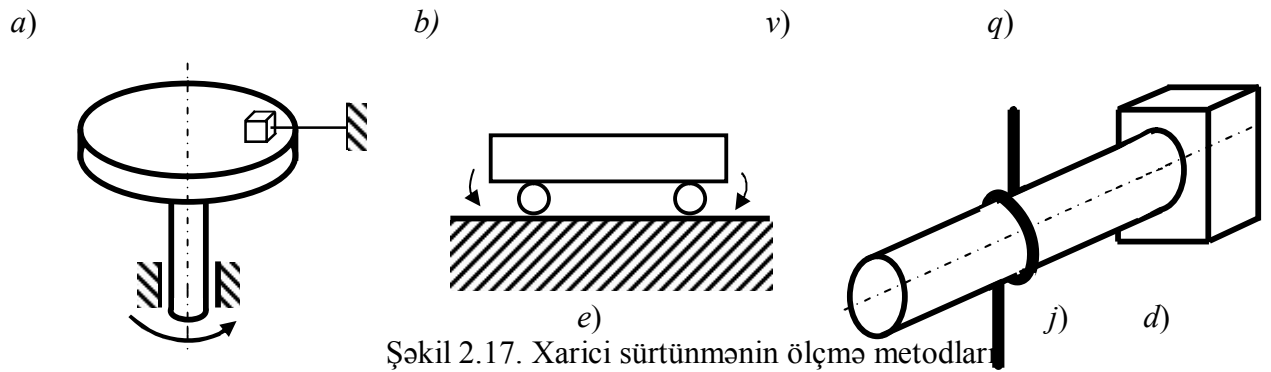
Qida materiallarının sürtünmə əmsalları reoloji xassələrdən sürtünmənin təsirlə hərəkət edən səthlərin vəziyyətindən və sürtünmə sürətindən asılı olaraq müxtəlif üsullarla təyin edilir. Xarici sürtünmənin gücünü ölçmək üçün klassik cihaz bir-birinə, sahəsi kvadrat millimetrdən tutmuş, onlarla kvadrat millimetmə qədər ola bilən düz səthləri ilə toxunan iki cisimdən ibarətdir. bu zaman cisimlərdən biri müəyyən nisbətə digəriylə qarışır. Qarışma (sürtünmə) qüvvəsi tenzometrik, dinamometrik və ya hər hansı digər vericilərlə ölçülür. Sürtünmənin aşağı sürətlərində səthlərin düzxətli sürtünməsi baş verir. İ.V.Kragelski sürtünmə əmsalının müəyyən edilməsi üçün tanınmış metodları dörd qrupa bölmüş, bununla da həndəsi və kinematik prinsipləri əsas götürmüşdür (şək. 2.17).





Şəkil 2.16. Adgeziya möhkəmliyini ölçən cihazların prinsipial sxemləri:
 a) bərabər ölçülü kəsik; b) mərkəzdən kənar dartılma; v) material lövhələrinin ayrılığı; q) materialların təbəqələşməsi üsulları;
 d) yerdəyişmə dağılmasının üsulları; e) fırlanma zamanı yerdəyişmə dağılmasının üsulları





Şəkil 2.17. Xarici sürtünmənin ölçmə metodları

Birinci qrupa o metodlar aiddir ki, burada bir səth irəliləyən hərəkətlə digər səthlə nisbətən qarışır (şək. 2.17, *a, b, v*). *a* sxeminə əsasən məhsul hərəkət edən səthdə yerini dəyişir, bu zaman sürtünmə qüvvəsi dinamometrlə ölçülür. Bu çox geniş yayılmış metodla bərk məhsullarda, məsələn suxarı, çörək, ət, balıq, buğda və s. sürtünməni təyin müəyyən edirlər. *b* sxeminə əsasən məhsul yükün köməyi ilə tərpənməz səthdə hərəkət edir. Sürtünmə qüvvəsi bu halda məhsulun bərabər şəkildə yerdəyişməsi üçün lazım olan yükün minimal kütləsinə bərabər olur. Bu metodla pendir, balıq, qənnadı məmulatları kimi bərk məhsulların sürtünmə əmsalını təyin edirlər.

v sxeminə əsasən məhsul maili səthdə sürüşür. Sürtünmə əmsalını məhsulun üzərində sürüşdüyü tədqiq olunan materialın səthinin ən kiçik α bucağı üzrə təyin edirlər. Belə metod pendirlərin, suxarılərin, dənəvər məhsulların sürtünmə əmsallarını təyin etməyə imkan verir. Əmsalın məhsulun hərəkətə başladığı səthin maili bucağı üzrə müəyyən edilməsi kifayət qədər dəqiq deyildir, belə ki, bucağı hərəkət anında təqribi təyin edirlər, həm də əmsalın dəyişməsinə sürüşmənin sürətinin dəyişməsinə görə müəyyən etmək mümkün deyildir.

İkinci qrupa o metodlar aiddir ki, burada cütlərdən biri sürtünmənin təsiri ilə fırlanma hərəkəti edir. *q* sxeminə əsasən konfet kütlələrinin sürtünmə əmsalı təyin edilir. Məhsul fırlanan diskin üzərində yerləşir. Tədqiq olunan material fırlanan məhsulun üzərində sürüşür. Sürtünmə qüvvəsi diskdən nümunəyə ötürülən fırlanma momentinə əsasən təyin edilir.

d sxeminə əsasən qeyri-elastik tirə bərkidilmiş məhsul tədqiq olunan materialın fırlanan səthi üzərində sürüşür. Bu metodla ətin, balığın, kofe və çay dənələrinin, suxarılərin, formalı çörəklərin sürtünmə əmsalını müəyyən edirlər.

Üçüncü qrupa o metodlar aid edilir ki, burada sürtünmə əmələ gətirən silindr səthə söykənir. *e* sxeminə əsasən o, bir-birinə tərəf fırlanan diyircəklərin üzərində titrəyişli hərəkətlər edən tirə nəzərən yerini dəyişir.

Dördüncü qrupa o metodlar aiddir ki, onlarda bir silindrik və ya düz əylə bilən səth

silindrin səthində yerini dəyişir (j sxemi).

Bu zaman j sxemindən başqa bütün sxemlərdə, səthin ölçülərinin dəyişməsi üçün a və d sxemlərində, sürüşmə sürətinin dəyişməsi üçün b sxemindən başqa bütün sxemlərdə təsvir olunmuş metodlarda təzyiqin dəyişməsinə yol verilir.

Adgeziyaya təsir edən amillər xarici sürtünməyə də təsir edir. Deməli, statik sürtünmə dinamik sürtünmədən böyük olmalıdır. İlk yerdəyişmə zamanı qüvvənin bir hissəsi bir cismin hissəcik və ya molekulalarının çıxaraq digər cismin ayrılıqlarına və ya molekulyar boşluqlarına keçməsinə, qalan hissəsi isə yerdəyişmə zamanı tam bərpa oluna bilməyən molekulyar və digər rabitələrin parçalanmasına sərf olunur. Sürtünən cisimlərin nisbi hərəkətinin kifayət qədər kiçik sürətlərində sıçrayışlar yəni hərəkətdə fasilələr ola bilər: cisim bir statik vəziyyətdən digərinə keçir, burada isə sürtünən səthlə yenidən rabitələr əmələ gəlir. Sürtünmənin böyük sürətlərində və sürtünən səthlərin dəyişməz vəziyyətlərində buna bənzər hallar adətən müşahidə olunmur.

MÜHAZİRƏ 10

Hazır məhsulun struktur-mexaniki xassələri və onun keyfiyyət parametrlərinin orqanoleptiki qiymətləndirilməsi arasında əlaqə.

Plan:

1.Yeyinti sənayesində məhsulların keyfiyyəti qiymətləndirilməsi üçün istifadə edilən üsullar.

a)fiziki kəmiyyətlərlə ifadə olunan struktur-mexaniki xassələrin cihazla ölçülməsi;

b)keyfiyyətin orqanoleptiki qiymətləndirilməsi.

2.Reoloji xarakteristikaların və orqanoleptik qiymətləndirilməsi arasında əlaqə.

3.Xarakteristikaların siniflərə bölünməsi.

4.İdarəedici reologiya.

5.Keyfiyyətə avtomatlaşdırılmış nəzarətin struktur sxemi.

6.İstehsal keyfiyyətinin artırılması(çörək istehsalı nümunəsində).

Yeyinti sənayesi məhsullarının keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi iki üsulla həyata keçirilə bilər. Birinci üsul- müəyyən fiziki kəmiyyətlərlə ifadə olunan struktur-mexaniki xassələrin cihazla ölçülməsidir. İkinci üsul keyfiyyətin orqanoleptiki (sensor) qiymətləndirmədir, yəni məhsulun müqavimətinin, deformasiyasının və konsistensiyasının subyektiv sensor qiymətləndirilməsidir. Reologiyanın inkişafı məhsulların keyfiyyət göstəricilərinin əsaslandırılmasına və daha mükəmməl keyfiyyət göstəricilərin yaradılmasının bəzi riyazi prinsiplərinin işlənilib hazırlanmasına imkan vermişdir.

Şerman tərəfindən məhsulların struktur xassələrinin təsnifatı verilmişdir ki, ondan məhsulların reoloji xarakteristikaları ilə orqanoleptiki qiymətləndirmə arasında qarşılıqlı əlaqənin yaradılmasında istifadə oluna bilər. Xarakteristikalar üç sinfə bölünmüşdür:

- *birinci sinfə* analitik və həndəsi xassələrlə bağlı xarakteristikalar (hava tutumu, nəmlik, yağ və digər komponentlərin, hissəciklərin forma və ölçüləri) ;
- *ikinci sinfə əsas reoloji xassələrlə bağlı xarakteristikalar* (elastiklik, özlülük, adgeziya) ;
- *üçüncü sinfə* məhsulun xırdalanması və çeynənməsi prosesləri ilə bağlı olan xassələr aiddir.

Üçüncü sinif xarakteristikalar müxtəlif ərzaq məhsullarının qiymətləndirilməsində istehlakçılar tərəfindən tez-tez istifadə olunan terminlərə malikdir. Üçüncü sinif xarakteristikaların aşağıdakı müxtəlifliklərini fərqləndirirlər: bərk ərzaqlar üçün- dənəvər, kövrək, tozaoxşar, nəm, quru, yapışan, yumşaq, bərk, məsaməli, incə, kobud (şokolad, peçenye, tərəvəz, meyvə, ət, pendir, çörək, yağ); yarımberk ərzaqlar üçün- xəmirəoxşar, ovulan, yapışqan, nəm, quru, yumrulanmış, incə (ərgin pendir, pastalar, qiymələr, qaymaq, cem); maye ərzaqlar üçün- duru, sulu, qatı, yağlı, yapışqan (ərimiş dondurma, mayonez, souslar, şorbalar).

Müəyyən edilmişdir ki, ərzağın özlülüynün sensor (hiss üzvləri ilə) qiymətləndirilməsi yerdəyişmə sürətinin $\dot{\gamma} \leq 50 \text{ s}^{-1}$ - yə qədər olan qiymətində yaranan deformasiya gərginliyi zamanı verilə bilər. $\dot{\gamma} = 50 \text{ s}^{-1}$ olduqda məhsulların ψ sensor qiymətləndirməsinin τ yerdəyişmə gərginliyindən asılılığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\psi = K_s \tau^{n_B}, \quad (3.1)$$

burada: K_s , n_B – empirik əmsallardır.

Ərzağın növündən asılı olmayaraq n_V -nin qiyməti $0,5 \div 2,0$ arasındadır. Məsələn, Vudun məlumatlarına əsasən şorba və pürelər üçün $n_V = 1,28$. Beləliklə, vizkozometrik göstəricilərə görə yerdəyişmənin müəyyən sürətində özlülüyün sensor qiymətləndirilməsi zamanı insanın uyğun reaksiyasını proqnozlaşdırmaq olar. Lakin yalnız cihaz və sensor göstəricilər arasında nisbətənin öyrənilməsinə əsaslanan nəticələri məhsulun keyfiyyəti haqqında ümumiləşdirmələrə tətbiq etmək olmaz. Bu zaman aşağıdakılar nəzərə alınmalıdır: asılılıq əmsallarının qiymətləri, verilmiş cihazlarla ölçülən xarakteristikalar və sınaq şərtləri, dequstasiya olunan ərzaq nümunələrinin bircinsliliyi, sensor qiymətlərin oxunması metodları, beləliklə hər bir məhsulun keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün bir sıra reoloji dəyişikliklərin aparılması, paralel olaraq mütəxəssislər tərəfindən dequstasiya olunan reoloji xarakteristikaların məhsulun konsistensiyası (qatılığı) ilə əlaqəsinin praktiki həcmnin müəyyən edilməsi üçün vacibdir

İDARƏEDİCİ REOLOGİYA

Mexanikləşdirilmiş axın xətlərinin yaradılması zamanı yarımfabrikatların keyfiyyətinə fasiləsiz nəzarət həyata keçirilməlidir. Mövcud olan kimyəvi və orqanoleptiki qiymətləndirmə metodları çörək xəmirinin vəziyyətini bilavasitə texnoloji emal zamanı müəyyən etməyə imkan vermir. Reoloji metodlar daha perspektiv hesab olunur, belə ki, xəmirin keyfiyyəti və onun xassələri ilə, məsələn özlülüyü arasında asılılığı müəyyən etmək olar ki, onlardan nəinki keyfiyyətin idarə edilməsi, eləcə də istehsal prosesində onun tənzimlənməsi üçün istifadə etmək olar.

Bu zaman nəzərə almaq lazımdır ki, qida materialları mürəkkəb üzvi çoxkomponentli sistemlərdir, onların vəziyyətinə nəzarət etmək üçün hər hansı bir parametrin ölçülməsi kifayət deyildir. Buna görə də çoxparametrlili hesablamaların tətbiqi məqsədəuyğundur.

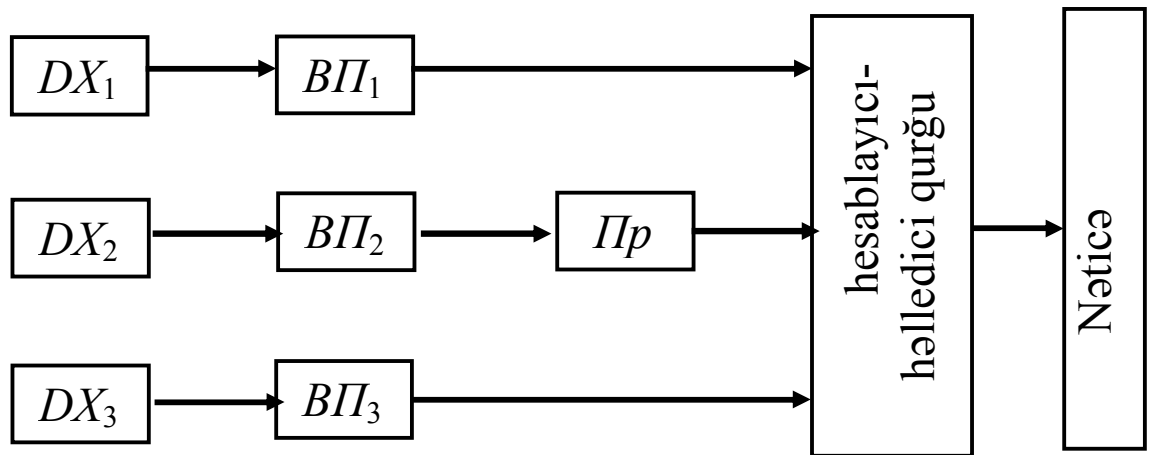
Çoxkomponentli məhsulun keyfiyyətinin ümumiləşdirilmiş göstəricisinin müəyyən edilməsi bəzi parametrlərin (sıxlıq, özlülük, pH, elektrik keçiriciliyi və s.) ölçülməsinə və reqresiya (geriləmə) tənliyinin həllinə apara bilər. Ayrı-ayrı parametrlərin ölçülməsi uyğun verici cihazların köməyi ilə həyata keçirilir, məlumat analoji və ya diskret formada tənliyi həll etmək üçün onlardan nəzərdə tutulan hesablayıcı-həllədiçi qurğulara daxil olur. Həllin nəticələri analoji və ya diskret formada gələcəkdə istifadə edilmək üçün avtomatik şəkildə yoxlanan və tənzimlənən sistemlərə verilir. Məsələn, çörək xəmirinin parametrləri kimi özlülük, turşuluq və temperatur seçilmişdir.

Xəmirin ümumiləşmiş keyfiyyət göstəriciləri və onun ayrı-ayrı göstəriciləri arasında asılılıq $X_{1,2,3}$ (X_1 -aktiv turşuluq, X_2 -özlülük, X_3 - temperatur) aşağıdakı kimi göstərilir:

$$X_{1,2,3} = A + BX_1 + CX_2 + DX_3, \quad (4.1)$$

burada: A, B, C, D – ilkin sınıqlarda müəyyən edilmiş empirik əmsallardır.

(4.1) asılılığı keyfiyyətə avtomatik nəzarət sistemini təklif etməyə imkan verir. Onun quruluş sxemi şəkil 4.1-də göstərilmişdir. Turşuluq DX_1 , özlülük DX_2 və temperatur DX_3 vericiləri xəmirin əsas parametrlərinin cari qiymətləri haqqında ölçü informasiyalarının siqnallarını ikinci dərəcəli $B\Pi_1$, $B\Pi_2$ və $B\Pi_3$ cihazlarına ötürürlər. Sonra siqnallar hesablayıcı-verici qurğulara (HVG) daxil olur. Belə ki, özlülük vericisi DX_2 pnevmatik siqnallar yaradır, $B\Pi_2$ cihazının arxasında pnevmoelektrik dəyişdirici Πp yerləşdirilmişdir. O, alınan siqnalları dəyişdirərək onları nəticələri bilavasitə asan qəbul olunan bir formada verən hesablayıcı-həllədiçi qurğulara göndərir.



Şəkil 4.1. Xəmirin keyfiyyətinə avtomatlaşdırılmış nəzarətin struktur sxemi

Ayrı-ayrı proseslərin aparılmasının qiymətləndirilməsi üçün yarımfabrikatların reoloji xassələrindən müvəffəqiyyətlə istifadə edilə bilər. Eyni proseslərin həyata keçirilməsi üçün nəzərdə tutulmuş müxtəlif konstruksiyalı texnoloji maşınlar təkrar emal olunan kütləyə təsir dərəcəsinə görə fərqlənir ki, bu da qeyri-bərabər struktur-mexaniki xassələrə malik olan son məhsulların və müxtəlif keyfiyyətə malik hazır məhsulun alınmasına gətirib çıxarır. Ayrı-ayrı maşınların yarımfabrikatların xassələrinə təsirinin öyrənilməsi verilən çörək sortunun istehsalı üçün daha məqsədəuyğun konstruksiyalar və daha əlverişli emal rejimləri seçməyə imkan verir.

Çörək istehsalı keyfiyyətinin artırılması üçün ən vacib məsələlərdən biri xəmir yoğrulması prosesinin avtomatlaşdırılmasıdır. Fasiləsiz çörək yoğrulması prosesi xəmir yoğuran aqreqatlarda həyata keçirilir, onlar da fasiləsiz işləyən xəmir qarışdırandan, unun və duru komponentlər üçün dozatorlar və nəzarət-ölçü aparatlarından ibarətdir.

İş prosesində xəmiryoğuran maşına müxtəlif qüvvələr təsir edir, onların təsiri altında tənzimlənən təzyiq verilmiş qiymətdən fərqli qiymət alır, buna görə də avtomat tənzimlənmə üsulu ondan ibarətdir ki, tənzimlənən parametrin qiyməti sabit qiymətlər alsın. Bundan ötrü tənzimləyici tənzimlənən obyektə o vaxta qədər idarəedici təsir göstərir ki, təzyiqin qiyməti verilmiş qiymətə bərabər olsun. Dozatorlardan daxil olan komponentlərdən biri nizamlayıcı parametr ola bilər. Onun düzgün seçilməsi üçün bu komponentin dozalanma şərtlərini və resept üzrə tələb olunan digər komponentlərin sabit dozalanması zamanı xəmirin reoloji xassələrinin bu komponentin müxtəlif faiz qiymətlərindən asılı olaraq dəyişməsinə nəzərə almaq lazımdır.

Tədqiqatlar göstərir ki, xəmirin konsistensiyasına unun və mayanın miqdar nisbəti çox təsir göstərir. Burada maya məhlulunu nizamlayıcı komponent kimi götürmək məqsəduyğundur, belə ki, o, avtomatik paylayıcı stansiya tərəfindən dozalaşdırıla bilər.

Yoğrulmuş xəmirin konsistensiyasının nizamlanması prosesini həyata keçirmək üçün aşağıdakı funksiyanı bilmək vacibdir:

$$\Delta p = \Delta p(\Delta \eta), \quad (4.2)$$

burada: Δp – çıxış təzyiqinin onun verilmiş qiymətinə uyğun olan sabit qiymətindən kənaraçıxmasıdır %;

$\Delta \eta$ – özlülüyün çıxış təzyiqinin verilmiş qiymətinə uyğun olan qiymətindən kənaraçıxmasıdır %.

$\Delta \eta$ kəmiyyətini öz növbəsində tələb olunan idarəedici təsir – maya məhlulunun dozalaşdırılmasının dəyişməsi əmsalı ilə əlaqələndirmək olar, belə ki, asılılıq aşağıdakı kimidir:

$$\Delta \eta = \Delta \eta(\Delta G_M). \quad (4.3)$$

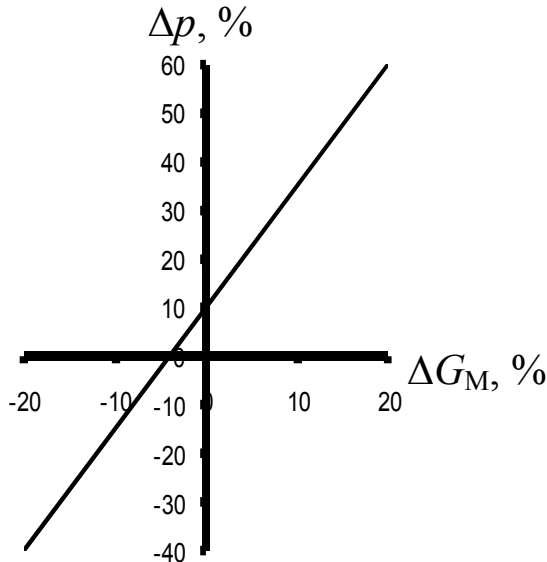
Sonuncu asılılığı aydınlaşdırmaq üçün müəyyən təcrübələr aparmaq lazımdır. Bir sıra çörək məhsulları üçün nəticələr müvafiq ədəbiyyatlarda vardır.

Mürəkkəb formalı kanallarda axının hesablanması üsulundan istifadə edərək, müxtəlif tərkibli maya məhluluna nəzərən, ona uyğun işçi təzyiqi avtomatik nizamlama sisteminin vericisinin quraşdırıldığı yerdə müəyyən etmək olar.

Hesablamanın nəticələrinə görə $\Delta \eta = \Delta \eta(\Delta G_M)$ qrafiki qurulmuşdur (şək. 4.2). Alınmış xətti asılılıq nizamlanma obyektini kimi xəmiryoğuran maşınlarında tətbiq oluna bilər. Düz xəttin əyilmə bucağının tangensi K_{OB} obyektinin ötürmə əmsalını $K_{OB} = 2,6$ qiymətində müəyyən edir. Təzyiqin qiyməti bütün komponentlərin normal dozalanması halında təcrübə yolu ilə alınmış

qiymətdən 12% fərqlənirdi.

Vaxtında nizamlanma prosesinə, yəni dinamik nizamlanmaya müəyyən tələblər irəli sürülür. Nizamlayıcının seçilməsi və onun qurulması zamanı onun t/T nisbəti ilə xarakterizə olunan xassələrini nəzərə almaq vacibdir. (t – nəqliyyatın gecikmə zamanı, s; T – obyektin zaman sabiti, s)



Şək. 4.2. $\Delta\eta = \Delta\eta(\Delta G_M)$
nizamlanma obyektinin
statik xarakteristikası

t kəmiyyətini yayılma əyrisinə üzrə obyektə təsir anından bu təsirə konsistensiya vericisinin reaksiyası anınadək keçən zaman kəsiyinin ölçülməsi yolu ilə təyin edirlər. Nəqliyyatın gecikmə zamanı xəmirin qabda orta qarışma sürətindən asılıdır. Konsistensiyanın dəyişmə intensivliyini xarakterizə edən zaman sabitini də bu əyriyə görə müəyyən edirlər.

Xəmir yoğuran maşından və dozalayıcı stansiyadan ibarət olan nizamlayıcı obyekt üçün izodrom qanun tətbiqi edilə bilər. İzodrom, yəni mütənasib-integral qanuna əsasən nizamlayıcı iki

qurulma parametrindən ibarətdir: nizamlayıcının K_O ötürmə əmsalı və T_{IZ} izodrom müddəti. K_O ötürmə əmsalı:

$$K_R = K_S / K_{OB} \text{ kimidir,} \quad (4.3)$$

burada: K_S – nizamlayıcı sistemin ötürmə əmsalı;

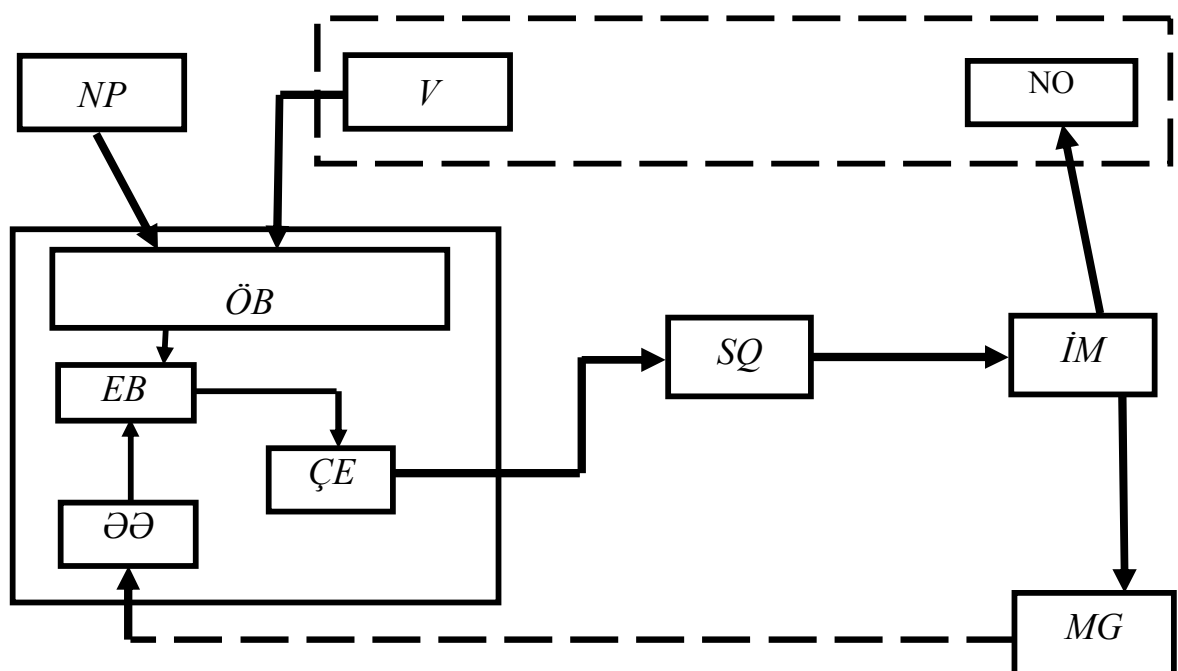
K_{OB} – obyektin ötürmə əmsalı.

Mexaniki nizamlanmanın quruluş sxemi şəkil 4.3-də göstərilmişdir. Maşının boru xəttinin çıxışında işçi təzyiqin qiymətinə mütənasib olan səs siqnalları $\underline{D}$ vericisindən elektron nizamlayıcıya daxil olur. Nizamlayıcının ölçmə bölməsində $\underline{OB}$ elektron siqnallar sabit əmsala vurulur və verilmiş qiymətlə müqayisə olunur. Nizamlanan parametrin verilmiş qiymətinin qurulması adətən naqilli potensiometrlə NP həyata keçirilir. Ölçmə bölməsi- çıxışı faza-həssas gücləndirici ilə birləşdirilmiş dəyişən cərəyan körpüsüdür.

Verilmiş qiymətdən fərqli qiymət alındıqda xəbərdarlıq signalı elektron bölməyə EB daxil olur, burada güclənir, müvafiq tənzimlənmə qaydası yaradılır və çıxış elementi $\underline{CE}$

vasitəsilə icraedici mexanizmin $\dot{I}M$ start qurğusuna SQ təsir edir. Bundan başqa elektron bölməyə naqilsiz vericidən mövqə üzrə siqnallar daxil olur ki, onlar da nizamlayıcı orqanla əks əlaqəni $\partial\partial$ təmin edir.

Elektrik icraedici mexanizmin əsas elementləri elektrik mühərriki, reduktor, nizamlayıcı orqanla NO mexaniki əlaqə üçün çıxış qurğusu və mühərrik söndükdə öz-özünə tormozlanmanı, fəvqəladə vəziyyətlərdə və s. mexanizmin dayanmasını təmin edən əlavə qurğudur. Nizamlayıcı orqan – maşının boru xəttinin çıxışında işçi təzyiqin qiymətindən asılı olaraq, maya dozatorunun qabında müəyyən səviyyədə dayanan porşendir. Sxemdə həmçinin nizamlayıcı orqan üçün mövqə göstəricisi MG də nəzərdə tutulmuşdur.



Şəkil. 4.3. Xəmirin konsistensiyasının mexaniki tənzimlənməsi
sxemi

MÜHAZİRƏ 11

FİZİKİ - KİMYƏVİ MÜHƏNDİSLİK MEXANİKASININ PRİNSİPLƏRİNİN

PRAKTİKİ TƏTBİQİ

Boru-kəmər nəqliyyatının hesablanması

Plan:

- 1.Qida istehsalı sənayesində boru-kəmər nəqliyyatın tətbiq edilməsi.**
- 2.Boru-kəmər xətlərin parametrləri.**
 - a)çıxış parametrləri;**
 - b) seçilən parametrlər;**
 - c) hesablanan parametrlər;**
- 3. Dozalaşdırma proseslərin hesablanması.**
- 4.Dozalaşdırmanın üsulları.**
- 5.Dozalaşdırıcı gurguların layihələndirilməsi.**

Süd, çörək, qənnadı və makaron istehsalı sənayesində qida materiallarının emalı zamanı əməliyyatlar arasında nəqliyyat vasitəsi kimi *boru-kəmər* nəqliyyatı tətbiq edilir.

Boru-kəmər xətlərinin layihələndirilməsindən əvvəl aşağıdakı parametrləri müəyyənləşdirmək lazımdır: boru xəttinin diametri, boruya daxil olanda məhsulun təzyiqi, möhkəmlik hesablarının yerinə yetirilməsi və mühərikün gücünün seçilməsi.

диаметр трубопровода, давление продукта на входе в трубу и мощность для выполнения прочностных расчётов и для подбора двигателя.

- I. Çıxış parametrləri.
 1. Reseptura.
 2. Boru kəmərinin məhsuldarlığı, M_C , kq/saat:

$$M_C = \frac{M_{CM}}{3600 \cdot t_p}, \quad (5.1)$$

burada: M_{CM} – növbə ərzində istehsal, kq;

t_s – səmərəli iş müddəti, s.

3. Döngələri nəzərə almaqla boru-kəmərlərin xəttinin ümumi uzunluğu $l(m)$ (dönmə dairəsinin radiusunun borunun diametrinə olan nisbəti yerli müqavimətlərdə itkilər nəzərə alınmazsa, altıdan çox olmalıdır).

II. Seçilən parametrlər.

Məhsulun boru xətti ilə hərəkət sürəti w_0 , m/s, (məhsulun özlülüyü nə qədər çoxdursa, sürət bir o qədər azdır).

III. Hesablanan parametrlər.

1. Həcm sərfi V_C , m³/s:

$$V_C = \frac{M_C}{\rho}. \quad (5.2)$$

2. Boru xəttinin diametri d_0 , m:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4V_C}{\pi w_0}}. \quad (5.3)$$

Diametrin qiymətinə görə QOST üzrə ən yaxın kəmiyyəti d , m seçirlər. Həqiqi orta sürət w (m/s) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$w = \frac{4V_C}{\pi d^2}. \quad (5.4)$$

3. Konsistensiya dəyişənini (sürət qradienti) $\dot{\epsilon}$, 1/s, bu düsturla hesablanır:

$$\dot{\epsilon} = \frac{8w}{d}. \quad (5.5)$$

Qeyri-müntəzəm konsistensiya dəyişəni belə hesablanır:

$$\dot{\epsilon}_* = \frac{8w}{\dot{\epsilon}_1 d}, \quad (5.6)$$

burada: $\dot{\epsilon}_1 = 1$, sürət qradienti olub, onun ölçü vahidinə bərabərdir.

4. Konsistensiya dəyişəni (deformasiya gərginliyi) τ , Pa, bu düsturla müəyyən edilir:

$$\tau = A_1 \dot{\epsilon}_*^n = A_1 \left(\frac{8w}{\dot{\epsilon}_1 d} \right)^n, \quad (5.7)$$

və ya

$$\tau = \frac{pd}{4l}, \quad (5.8)$$

burada: A_1 –sürət qradientinin vahid qiymətində deformasiya gərginliyi, Pa;

n – axın indeksi;

p – təzyiq itkisi və ya nasosun çıxışındakı təzyiqdir, Pa.

A_1 и n –nin qiymətlərini cədvəldən seçib götürür və ya düsturlar üzrə hesablayırlar:

$$A_1 = B_0^* \varepsilon_1 \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n, \quad (5.9)$$

$$n = 1 - m, \quad (5.10)$$

burada: sürət qradientinin vahid qiymətində B_0^* – effektiv özlülükdür, Pa·s;

m – uyğun olaraq strukturun dağılması sürətidir.

Təzyiq itkisi p , Pa – məhsulun nasosun çıxışındakı təzyiqi olub, aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$p = \frac{4l\tau}{d}. \quad (5.11)$$

Nasosun faydalı gücü N , kVt:

$$N = pV_C \cdot 10^{-3}. \quad (5.12)$$

IV. Avadanlığın seçilməsi.

1. Nasosu boru kəmərinin tələb olunan məhsuldarlığı M_C və ya $M_q = 3600 M_C$ görə seçirlər, buzaman nəzərə alırlar ki, həcmi **к.п.д.** вляет 0,5 ÷ 0,6 təşkil edir.

2. Elektrik mühərrikinin gücü N_{EM} , kVt:

$$N_{EM} = \frac{\alpha}{K_{\delta}} \left(\frac{N}{K_n} + \frac{N_{\delta}}{K_{\delta}} \right), \quad (5.13)$$

burada, α – güc ehtiyatı əmsalı (qısa boru kəməri üçün 5 m, $\alpha = 1,2$; uzun boru üçün $\alpha = 1,5$);

K_{δ} , K_n , K_{δ} –elektrik mühərrikindən, nasos və şneklərdən nasosa olan elektrik ötürmələrinin

к.п.д.;

N , N_{δ} – nasos və şnekə uyğun yaranan faydalı gücdür, kVt.

Elektrik mühərriki kataloq üzrə seçirlər.

Dozalaşdırma proseslərinin hesablanması

Dozalaşdırma prosesləri təyinatına görə olduqca müxtəlifdir. Dozalaşdırmanın vacib məsələlərindən biri eyni zamanda dəqiqliyin təmin olunması və resepturaya əməl edilməsi şərti ilə, istehlak proseslərinin mexanikləşdirilməsi və avtomatlaşdırılması üçün bazanın yaradılmasıdır. Dozalaşdırmanın ən səciyyəvi funksiyaları məhsulun verilmiş həcmə, kütləyə, uzunluğa və verilmiş həcm və ya kütlə sərfinin saxlanmasına görə ölçülməsidir.

Dozalaşdırmanın iki üsulu var: həcm və kütləyə görə. Həcmi dozalaşdırma zamanı məhsulun reoloji xassələri və qəlibin doldurulma üsulu prosesi və maşının quruluşunu müəyyənləşdirir, kütlə üzrə dozalaşmada isə ikinci dərəcəli əhəmiyyət kəsb edirlər. Buna görə də plastik-özlü kütlələrin dozalaşdırılması misalında ancaq birinci üsulu nəzərdən keçirəcəyik. Həcmi dozalaşdırma metodunu ümumi şəkildə məhsulun müəyyən miqdarının ölçülməsi və taranın doldurulması kimi təsəvvür etmək olar. Bir taraya bir neçə komponenti dozalaşdırmaq olar. Məhsullar axıcı olmadığına görə, onların maşının işçi orqanına verilməsini təzyiqli navalçaların və ya kürəklərin, nasosların və ya porşenli şprislərin köməyi ilə məcburi həyata keçirilməlidir.

Dozalaşdırıcı qurğuların layihələndirilməsi zamanı, adətən, məhsulun axma dinamikası və onun reoloji xassələri ilə kinetik hesablamaları əlaqələndirmədən, qidalandırıcı qurğuların kinematikasına əsaslanırlar. Qabın plastik-özlü məhsulla doldurulması qeyri-stasionar prosesdir. Məhsul qaba yaxınlaşaraq deformasiyaya uğrayır və onda hərəkət edir, qabarmış səthə malik olur. Qapağa və ya qabın dibinə yaxınlaşdıqca, məhsulun sürəti zəifləyir və boşluğun küncləri dolmağa başlayır. Proses ovaxt bitmiş hesab olunur ki, qabın bütün həcmi məhsulla dolmuş olsun. Bu təzyiq üçün lazım olanlar aşağıdakılardan ibarətdir: yerli müqavimətlərdə itkilər – qabın girişində qəfil sıxılma p_Y ; qabın uzunluğu boyunca hərəkət zamanı itkilər p_{UZ} təzyiq; qabın tam dolması üçün lazım olan itkilər p_{SX} (bütün künclər məhsulla dolanda onu qapağın mərkəzində müəyyən edirlər).

Qabın dolma müddəti adətən, məlumdur. Buna görə də əsas kəmiyyət kimi tam təzyiq götürülə bilər, hansı ki, bu təzyiq qabı verilmiş zaman aralığında doldurmaq üçün onun qarşısında yaradılmalıdır. Əgər təzyiq normadan artıqdırsa, onda məhsul sıxılır, onun qalınlığı artır, bu da kütlə miqdarının artmasına gətirib çıxarır. Təzyiq kifayət qədər olmadıqda, kütlə miqdarı müəyyənləşdirilmiş qiymətdən az olur.

Beləliklə, formaya daxil olarkən tam optimal təzyiq p , Pa:

$$p = p_Y + p_{UZ} + p_{SX} \quad (5.14)$$

təşkil edəcək. Ümumi təzyiqin tərkib hissələri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$p_Y = A_2 \theta_0^{0,4} d_e^{-0,86} w^{0,56}; \quad (5.15)$$

$$p_{UZ} = C_1 l d_e^{-1} \eta_{ef} \rho n i s b i w; \quad (5.16)$$

$$p_{SX} = D \cdot 10^{aw^*}, \quad (5.17)$$

burada: A_2, C_1, D – empirik əmsallar;

l, de – dozatorun uzunluğu və en kəsiyinin diametrinin ekvivalenti эквивалентный диаметр поперечного сечения;

w – dozatorun orta dolma sürəti, m/s;

w^* – məhsulun dozatorda hərəkətinin orta sürətindən asılı olan kinematik əmsal;

a –, dozatorun enkəsiyinin sahəsi F , m, onun forması və boşluqlarının dolma xüsusiyyətlərindən asılı olan həndəsi əmsal, sonuncusu a^* kəmiyyəti ilə ifadə edilir.

$$w^* = w + 0,004, \quad (5.18)$$

$$a = 56 (F \cdot 10^2)^{2,5} + a^*. \quad (5.19)$$

Deformasiyanın gərginlik həddi və effektiv özlülük cədvəldən götürülür və ya təcrübi qiymətlər əsasında hesablanır.

MÜHAZİRƏ 12

REOMETRİYA VƏ SÜD SƏNAYESİ

Süd məhsullarının yerdəyişmə, sıxılma və səthi Xarakteristikaları

Plan:

1. Maye sistemlərin yerdəyişmə xarakteristikaları.
2. Südün özlülüğü.
3. Qatılaşdırılmış südün özlülüğü
4. Turşudulmuş süd məhsulların ızlülüğü.
5. Kərə yağın özlülüğü.
6. Bərk cisimlərin yertdəyişmə xarakteristikaları.
7. Pendirin yerdəyişmə xassələri.

Məhsula tətbiq olunan qüvvə və ya gərginliyin növünə görə reoloji xassələri bir-biri ilə bağlı olan üç qrupa bölmək olar. Yerdəyişmə xassələri deformasiya, toxunma gərginliyinin təsiri

zamanı məhsul həcmnin davranışını xarakterizə edir. Reologiyada onların öyrənilməsi mühüm yer tutur. Sıxılma xassələri qapalı həcmdə, iki lövhə arasında və ya məhsul nümunəsinin hər hansı digər dartılma–sıxılma üsulunda normal gərginliyin təsiri zamanı məhsul həcmnin davranışını xarakterizə edir. Səthi xassələr məhsulun səthinin digər bərk materialla ayrılma sərhədində normal (adgeziya, yapıma) və toxunan (xarici sürtünmə) gərginliyin təsiri zamanı onun davranışını xarakterizə edir.

Maye sistemlərin yerdəyişmə xarakteristikaları

İnək südü polidispers sistem olub, onun dirspers mühitini su (83 – 89 %), dispers fazasını yağ, zülallar, qazlar və s. (17 – 11%) təşkil edir.

Süd məhsullarının özlülüyü dirspers mühitin və dirspers fazanın özlülüklərinin cəmi kimi, eləcə də strukturun yaranması nəticəsində özlülüyn artması kimi təsəvvür etmək olar:

$$\eta = 0,69 \cdot 10^{-3} \exp \left(\frac{19000T^*}{R} \right) \left\{ (1 + 4,5V_{DF}) + 1,67 \left[\exp \left(\frac{3800T^*}{R} \right) - 1 \right] \right\}$$

(6.1)

burada: T^* – izafi tərs mütləq temperatur, 1/K;

R – universal qaz sabiti, 8,314 C/(mol·K);

V_{DF} – dispers fazanın həcmi konsentrasiyası, m³/m³.

Fiqurlu mötərizədən əvvəl dayanan kəmiyyət - temperaturdan asılı olaraq özlülüyn dəyişməsinə xarakterizə edir; 4,5 V_{DF} – dispers fazaya əlavə; fiqurlu mötərizələrdə olan ikinci kompleks özlülüyn struktur hesabına artmasını ifadə edir.

Südün özlülüyn struktur komponenti ona mexaniki təsir etdikdən sonra yox olur (məsələn, südün eyni hissəsinin kapilyar borudan keçirilməsi), bu da özlülüyn azalmasına səbəb olur.

Qatılaşdırılmış zülallı süd məhsullarında isə əksinə, özlülüyn struktur komponenti o qədər böyükdür ki, onunla dirspers mühitin özlülüynü müqayisə etsək, onu nəzərə almamaq olar. Bununla bərabər, qatılaşdırılmış zülal kütləsinə yerdəyişmənin gərginlik həddi və anormal özlülük xas olacaqdır.

Heppler viskozimetrində ölçülmüş südün özlülüyn temperaturun artması ilə azalır (şək.6.1). Bu, o vaxta qədər müşahidə olunur ki, südün temperaturu zülalların denaturasiyasının baş verdiyi temperatur həddindən yüksək olmayacaqdır. Eyni zamanda melanoidlərin yaranması reaksiyası müşahidə olunur ki, bunun da nəticəsində temperaturun artması ilə südün özlülüynün artma sürəti də çoxalır. Bu proses dönməzdir, buna görə də südü soyutduqdan sonra onun

özlülüğü əvvəlkindən yuxarı olacaqdır.

Südə duzun əlavə edilməsi onun özlülüyünü artırır, südü yüksək temperaturda pasteurizasiya etdikdən sonra özlülük daha da artır, südə hidrogen-peroksid əlavə edilməsi həmçinin onun özlülüyünün artmasına səbəb olur. *Qatılaşdırılmış süd məhsullarının özlülüğü*

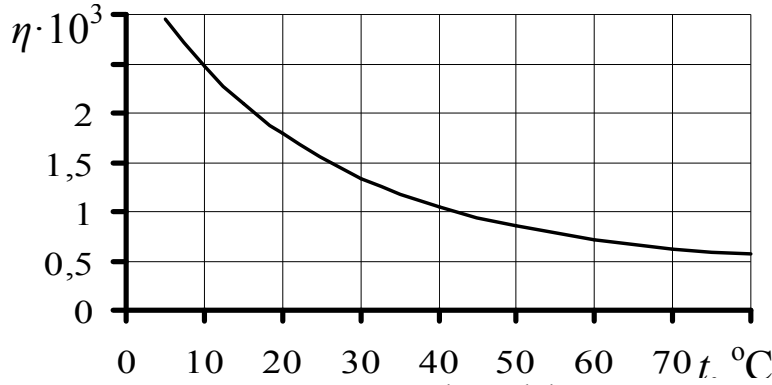


Рис. 6.1. Təzə südün özlülüyünün temperaturdan asılılığı

olduqda anormal özlülük az təzahür edir.

Qatılaşdırılmış şəkərli süd məhsulları saxta elastik qeyri-nyuton mayeləri hesab olunur. Bu adda bütün qatılaşdırılmış şəkərli süd məhsulları üçün özlülüğün vahid istilik-invariant xarakteristikası işlənilib hazırlanmışdır, onun qrafik təsviri şəkil 6.2-də verilmişdir:

$$(\eta / \eta_0) - (\tau_p \dot{\gamma}), \quad (6.2)$$

burada: η – sürət gradienti $\dot{\gamma}$ (s^{-1}), Pa·s olduqda özlülük;

η_0 – ən böyük nyuton özlülüğü, Pa·s;

τ_p – orta relaksasiya dövrü, s.

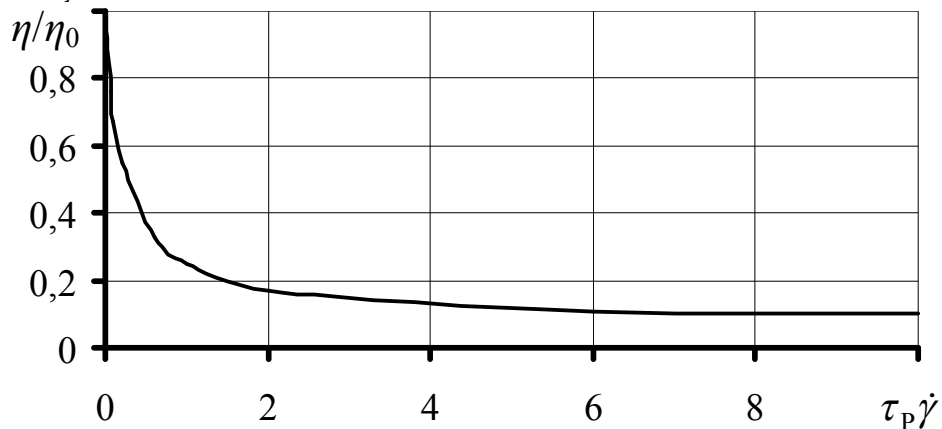


Рис. 6.2. Ölçüsüz özlülüğün (η/η_0) verilmiş sürət gradientindən ($\tau_p \dot{\gamma}$)

orta

asılılığı.

dəyişmə

intervalında ($\tau_p \cdot \dot{\gamma}$) ölçüsüz özlülük aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\eta / \eta_0 = \frac{1}{3(\tau_p \cdot \dot{\gamma})^{0,85}}. \quad (6.3)$$

Qatılaşıdırılmış şəkərli süd məhsulları üçün ən böyük nyuton özlülüyünün qiyməti 2-5 Pa·s-dir.

Belə məhsulların özlülüyü strukturun yaranması nəticəsində, xüsusilə ilk günlərdə sürətlə artır. Özlülüyün nəzərəcarpan artımı birinci üç ay ərzində davam edir, bundan sonra isə artım sürəti kəskin azalır və özlülüyün qiyməti asimptotik olaraq, qismən son həddə yaxınlaşır. Qatılaşıdırılmış süd məhsullarının özlülüyünə tətbiq olunan qatılaşıdırma metodu əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Məsələn, südün uzun müddət vakuumlu buxarlandırıcılarda saxlanması nəticəsində onun özlülüyü plyonkalı buxarlandırıcılarda qatılaşıdırılmış südə nisbətən çoxdur. Qatılaşıdırılmış şəkərli süd məhsullarının özlülüyü, həm də şəkərin südə daxil edilməsi üsulundan da asılıdır.

Turşudulmuş süd məhsullarının özlülüyü tətbiq olunan mayanın növü, eləcə də stabilizatorunun növündən və miqdarından asılıdır. Qaymağa natrium-kazeinatın əlavə edilməsi laxtanın strukturunun möhkəmlənməsinə və ən yaxşı strukturun bərpasına səbəb olur. Məsələn, yağılılığı 20% olan qaymağa 1,2% natrium-kazeinat əlavə edərək, ondan həmin qatılıqda, həm də 30% yağılılığa malik xama almaq olar.

İnək südündən olan qaymağın özlülüyü. Yağın miqdarından asılı olaraq qaymağı həm nyuton, həm də qeyri-nyuton mayələrinə aid edirlər. 30%-ə qədər yağılılığa malik qaymaqda anormal özlülük çox az təzahür edir və mühəndis hesablamalarında onu nyuton mayələrinə aid etmək olur. Nyuton mayələrinə həm də yağılılığı daha çox və yağı əriniş halda olan qaymaq da aid edilir.

Yağılılığı 0,3 – 0,5 kq/kq qaymağın özlülüyü V.A. Eresko düsturu ilə müəyyən edilir:

$$\eta = 0,07\varphi^{4,22}\dot{\gamma}^{-0,6}\exp\frac{5527\dot{\gamma}^{0,09}\varphi^{-0,4}}{RT}. \quad (6.4)$$

Yağılılığı 0,6 – 0,83 kq/kq olan qaymaq üçün:

$$\eta = 0,9\varphi^{5,9}\dot{\gamma}^{-1,0}\exp\frac{8709\dot{\gamma}^{0,09}\varphi^{-0,15}}{RT}. \quad (6.5)$$

Формула справедлива при значениях $\dot{\gamma} = 30 \div 1300 \text{ s}^{-1}$; $T = 293 \div 363^\circ \text{ K}$; $R = 8,314 \text{ C}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ olduqda etibarlıdır.

Qaymağın aktivləşmə enerjisi onda olan yağın miqdarından, həmçinin sürət qradientinin qiymətindən asılıdır.

Bir çox hallarda qaymağın özlülüyü yuxarı və aşağı temperaturlarda əriyən yağ

hissəcikləri, davamiyyəti və saxlanma şəraiti ilə təyin edilir. Qaymaq yetişdikdən sonra və yağa daxil edilməmişdən əvvəl, təzə süddən alınan və yetişməyən qaymağa nisbətən yüksək özlülüyə malik olur.

Kərə yağının özlülüğü. ərinmiş yağın özlülüğü praktiki olaraq, eyni temperatura və eyni yağ tərkibinə malik qaymağın özlülüyunə uyğundur. "Reotest" viskozimetrində yağ hissəciklərinin faza keçidinə uyğun temperaturdan aşağı temperaturda alınan yağın özlülüğü η_{ef} (Pa·s) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\eta_{ef} = K\dot{\gamma}^{n-1}. \quad (6.6)$$

Fasiləsiz çalınma üsulu ilə alınan yağın özlülüyunü aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$\eta_{ef} = A\dot{\gamma}^{n-1}\exp(-at). \quad (6.7)$$

Bərk sistemlərin yerdəyişmə xarakteristikaları

Adi şəraitdə kazein, kazeinat, koprisipitatların məhlulları və suspenziyaları, bəzi kəsmik məmulatları, pendir zərdabından alınan məhlulşəkilli zülal kütləsi və ərinmiş pendir kütləsi bərk halda ola bilər. Bu məhsulların yerdəyişmə xassələrini başlıca olaraq, gərginlik həddi və özlülük göstəriciləri ilə qiymətləndirirlər.

Pendirlərin yerdəyişmə xassələri. Pendirlərin yerdəyişmə xarakteristikaları tədqiq olunarkən, daha çox nüfuzetmə və reoloji zondlama üsulları tətbiq olunur. Nüfuzetmə "Labor" (Macarıstan) və ya AP 4/1 (Almaniya) yarımavtomat cihazlarda həyata keçirilir. Nüfuzetmə göstəricilərində (1 nüfuzetmə vahidi $1 \cdot 10^{-4}$ m-ə bərabərdir) cihazın hərəkətli hissəsinin səmərəli kütləsinin təsiri altında konus və ya kürəşəkilli indentorun məhsula batırılma dərinliyini ölçürlər. Konusla nüfuzetmə göstəricisinin qiymətinə görə nüfuzetmə möhkəmliyini θ_r , Pa hesablayırlar. Rebinder düsturundan istifadə edərək yerdəyişmənin gərginlik həddini aşağıdakı düsturla tapmaq olar:

$$\theta_0 = \frac{K_\alpha g M}{h_{\max}^2} = \frac{KM}{h_{\max}^2}, \quad (6.8)$$

burada: M – konusa təsir göstərən yük kütləsi, kq (indentor yayının sürtünmə və müqavimət qiymətini çıxmaqla);

K_α – konus sabiti olub, təpə bucağından asılıdır.

Nüfuzetmə möhkəmliyinin qiyməti (əmsal 0,8 – 0,9) pendirdə Rebinderin konusşəkilli plastometr üsulu ilə təyin edilmiş yerdəyişmənin gərginlik həddi θ_0 ilə sıx əlaqədardır. Reoloji zondlama zamanı məhsulun dərinliyinə indentordan yuxarıda olan hündürlükdən metal konus (diametr 0,015 – 0,025 m, bucaq 45 – 90°) və ya kürə (diametr 0,012 – 0,016 m) sabit sürətlə yeridilir, bu zaman məhsulun müqavimət qüvvələri hesablanır.

Konusşəkilli indentor vasitəsilə reoloji zondlamanın nəticələrinə əsasən, möhkəmlik həddini τ_H , gərginlik həddini τ_s , effektiv özlülüüyü η_{ef} və yerdəyişmə modulunu aşağıdakı düsturlarla hesablamaq olar:

$$\tau_H = \frac{K_\alpha P_{\max}}{l^2}; \quad (6.9)$$

$$\tau_y = \frac{K_\alpha P_s}{l^2}; \quad (6.10)$$

$$\eta_{ef} = \frac{K_\alpha P_s \sqrt{l^2 + r^2}}{2wl^2}; \quad (6.11)$$

$$G = K_\alpha \frac{(P_{son} - P_{baş})\sqrt{l^2 + r^2}}{2l^2(h_d - r)}, \quad (6.12)$$

burada: $P_{\max}$, P_s , $P_{baş}$, P_{son} – indentorun yeridilməsi zamanı müqavimət qüvvələri: maksimal; sabit axın sahəsində; huk deformasiyasının əvvəlində və sonunda, H;

$h_d - P_K$, m ölçüsünə uyğun indentorun nüfuzetmə dərinliyi;

l – konusun hündürlüyü, m;

r – konus əsasının radiusu, m;

w – indentorun hərəkət sürəti, m/s;

K_α – konusun təpə bucağından asılı olan düzəliş;

Kürəşəkilli indentorun tətbiqi zamanı effektiv özlülüüyü şərti olaraq, Stoks düsturu ilə təyin olunur:

$$\eta_{ef} = \frac{P_s}{6\pi rw}, \quad (6.13)$$

burada: r – kürənin radiusu, m.

Pendirin keyfiyyət göstəriciləri ilə, xüsusilə konsistensiyanın orqanoleptiki qiymətləndirilməsi ilə nüfuzetmə göstəriciləri və fırlanma kəsiyi daha tez-tez əlaqələndirilir (asililiq əmsalı 0,80 – 0,92).

MÜHAZİRƏ 13

Süd məhsulların sıxılma xarakteristikaları

Plan:

- 1.Süd məhsulların sıxılma xüsusiyyətləri.
- 2.Müxtəlif materialların (pendir,kəsmik) məsaməliyinin hesablanması.
- 3.Səthi xarakteristikalar.
- 4.Səthi gərilməyə təsir edən amillər.
5. Süd sənayesində emal prosesi zamanı və hazır məhsulun reoloji xassələrinin ölçülməsi.

Məhsulların sıxılaraq kipləşməsi bir qayda olaraq, onların faza dəyişikliyi ilə müşayiət olunur. Zülallı süd məhsullarının faza vəziyyəti məsaməli dispers cisimlərdir, onları faza həcmələri (həcmi məsaməlilik) ilə xarakterizə etmək olar ki, bunu da aşağıdakı düsturlarla hesablamaq olar

$$v_m = \left(\frac{V_{qaz} + V_{maye}}{V} \right);$$

(6.14)

$$v_m = \frac{V_{qaz}}{V},$$

(6.15)

где: v_m – məhsulun ümumi məsaməliliyi, m^3/m^3 ;

v_{qaz} – məhsulun qaza görə məsaməliliyi, m^3/m^3 ;

V , V_{maye} , V_{qaz} – uyğun olaraq, maye, ya da qazla dolan bütün məhsulun və məsamələrin həcmi.

Materialların məsaməliliyini tez-tez məsaməlilik əmsalı ilə ε_m xarakterizə edirlər, o da ümumi həcmi məsaməliliklə aşağıdakı kimi bağlıdır: Пористость материалов часто характеризуют также коэффициентом пористости который связан с общей объемной пористостью соотношением:

$$\varepsilon_m = \frac{v}{1-v}.$$

(6.16)

Kəsmiyin və pendirin ümumi məsaməliliyini xarakterizə edən kəmiyyətlər cədvəl 6.1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 6.1. Kəsmiyin və pendirin ümumi məsaməliliyi

Məhsul	Rütubət, kq/kq	Ümumi məsaməlilik, m ³ /m ³	Məsaməlilik əmsalı
Yağlı kəsmik	0,70	0,73	2,76
Yağlı kəsmik	0,60	0,64	1,78
Pendirlər:			
Uqliç	0,48	0,54	1,19
Holland	0,40	0,44	0,79
Rusiya	0,41	0,49	0,97

Pendir kütləsinin qaza görə məsaməliliyi məhsulun formalanma üsulundan asılıdır. Pendir kütləsində müxtəlif formalanma üsulları zamanı boşluqların həcmi xarakterizə edən kəmiyyətlər cədvəl 6.2-də göstərilmişdir.

СЭВМЭД 6.2. Pendir kütləsinin müxtəlif üsullarla formalanması zamanı boşluqların faza həcmələri

Pendir kütləsinin xarakteristikaları	Qaza görə məsaməlilik, m ³ /m ³
Qəlibə səpilərək yığılan dənəvər pendir kütləsi	0,170 – 0,210
Preslənmədən sonra	0,025 – 0,079
Zərdab qatı altında preslənmiş formalanmış pendir kütləsi	0,003 – 0,007
Vakuum üsulu tətbiq etməklə formalanmış və ya preslənmiş pendirlər təzyiq, Pa:	
34,5 · 10 ³	0,008 – 0,038
8 · 10 ³	0,002 – 0,004

Sıxılma xarakteristikalarından olan nisbi deformasiyanı ε , və həcmi sıxılma əmsalını β aşağıdakı düsturlar vasitəsilə müəyyən etmək olar:

$$\varepsilon(p, \tau) = \alpha_{\varepsilon} p^a (1 + a_2 \lg \tau), \quad (6.17)$$

$$\beta = \frac{\Delta V}{V \Delta p} = \frac{\varepsilon(p, \tau)}{\Delta p}, \quad (6.18)$$

burada: α_e , a_1 , a_2 – həndəsi və mexaniki amillərdən, məhsulun fiziki-kimyəvi halından, onun tərkibindən və ilkin xammalın xüsusiyyətlərindən asılı olan əmsallardır.

Δp – təzyiq dəyişməsidir, Pa.

Pendirlərin sıxılma xassələrini sabit sürətlə onun silindrik və ya düzbucaqlı biroxlı sıxılması metodu ilə müəyyən edirlər. Bu zaman sıxılma göstəricisi kimi nümunənin hündürlüyünün onun sıxılmaya qədərki hündürlüyünə olan faiz nisbəti qəbul edilmişdir.

Səthi xarakteristikalar

Xam və üzsüz südün səthi gərilməsi α [N/m] temperatur artıqca azalır. Üzsüz südün səthi gərilməsi xam süddən çoxdur, belə ki, temperaturun artması ilə bu fərq azalır.

Səthi gərilmənin qiymətinə onun homogenləşdirilməsi təsir edir. Pasterizə edilməmiş xam südün homogenləşmə təzyiqinin artması südün səthi gərilmə qiymətinin bir qədər azalmasına səbəb olur ki, bu da yalnız süddə yağ kürəciklərinin parçalanması ilə deyil, həm də zülal hissəciklərinin mexaniki zədələnməsi, yəni zülal-yağ aqreqatlarının hissəvi parçalanması ilə izah edilir.

Qatılaşdırılmış südün səthi gərilməsi vakuum cihazının çıxışında bir qədər azdır, ancaq zaman keçdikcə bu qiymət artır və 2-3 saatdan sonra xam südə nisbətən çox olur.

Süd sənayesində emal prosesi zamanı və hazır məhsulun reoloji xassələrinin ölçülməsi

İstənilən texnoloji prosesdə hər hansı bir parametreyə fasiləsiz nəzarət girişdə, çıxışda və aralıq fazalarda bu prosesin gedişini, onun sürətini, istiqamətlənməsini və sairəni elə həmin parametrlərin diskret laboratoriya nəzarətinə nisbətən daha dəqiq və obyektiv əks etdirir. Yeyinti sənayesində materialların reoloji xassələri üçün bu, xüsusilə zəruridir, çünki, burada emal edilən materiallar emal prosesində çox vaxt öz quruluşunu, kimyəvi tərkibini və s. əsaslı surətdə dəyişir. Bir qayda olaraq, reoloji xassələrin dəyişməsi emal olunan materialın kimyəvi, quruluş və digər çevrilmələri ilə sıx bağlı olur ki, bu, çevrilmələrin və prosesin özünün başlanğıcı, sonu, sürəti və istiqamətlənməsi haqqında mühakimə yürütməyə imkan verir.

Bütün bu deyilənlərdən aydın olur ki, reoloji parametrlərə fasiləsiz nəzarət yeyinti sahəsi üçün xüsusilə vacibdir. Buna görə də cihazların fasiləsiz reoloji nəzarət üçün işlənməsi aktual problemlərdən hesab olunur. Bu cihazların iki tipi ayırd edilir: I tip cihazlar boru xətlərində quraşdırılır və axında xassələrin ölçülməsinə xidmət edir; II tip cihazlar bilavasitə işçi

vannada, maşında və ya aparatda quraşdırılır və qida materiallarının emalı prosesində reoloji xassələrin dəyişməsinə nəzarət edir.

I tip cihazlar boru xətti ilə emala verilən materialların və ya işçi maşından çıxan materiallara nəzarət etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Onların köməyi ilə verilən materialların yalnız xassələrini tənzimləmək olar, onlar bilavasitə təkrar emal prosesinin gedişini izləməyə imkan vermir. Bunun üçün II tip cihazlardan istifadə olunur. Emal proseslərinə nəzarət etmək üçün nəzərdə tutulmuş bəzi cihazların quruluşunu nəzərdən keçirək.

«Elqep» cihazı (şək.6.3) süd laxtasının konsistensiyasını bilavasitə vannada müəyyən etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Onun iş prinsipi süd laxtasının içindən indentoru çəkib uzatmaqdan ibarətdir. Süd qarışığına, demək olar ki, vannanın dibinə üç halqalı xaç şəklində indentoru 8 endirirlər. Sap 7 güc ölçən cihazın bloku vasitəsilə atılır. Sonra sıfır bölgülü şkalası 5 olan hərəkətli göstəricini 3 yerləşdirir və dəstəyin 4 köməyi ilə dairəvi lövhənin üzərində yarığı həmin şkalanın laxtanın lazımı konsistensiyasına uyğun bölgüsünə əks olaraq quraşdırırlar. Tumbler 1 vasitəsilə cihaz işə salındıqdan sonra, üzərinə sapın sarındığı barabana 6 birləşmiş mühərrik işə düşür. Bu zaman indentor qalxmağa başlayır və laxtanı kəsir.

Laxtalanma prosesində laxtanın qatılığı və indentorun hərəkətinə qarşı müqavimət də artır. Süd laxtası lazımı qatılığa çatdığı zaman (lövhənin üzərindəki yarıq göstəricinin səviyyəsində olduqda) avtomatik olaraq qırmızı lampə yanır 2 və səs signalı eşidilir. Qurğunun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, laxtalanmış qarışıq lövhənin üzərinə yapışır, bu da laxtanın hazır olmasını göstərən nəticələrin təhrif olunmasına gətirib çıxarır.

Bu iş prinsipi ilə işləyən daha bir qurğu ЛТИХПa plastometridir, onun quruluş sxemi şəkil 6.4-də göstərilmişdir. Cihazın iş prinsipi tənzimlənən mühitdə çarxın yaratdığı 2 elektromaqnit sahəsinin təsiri altında lövhələrin 3 yerdəyişməsi zamanı tangensial yerdəyişmə gərginliyinin müəyyən edilməsinə əsaslanır.

Nəzarət nümunə götürülmədən, hermetik dəyişdiricinin bilavasitə mühitlə birgə çənə batırılması zamanı həyata keçirilir. Batırılmanın dərinliyini qeyd etmək üçün verici 1 nəzərdə tutulmuşdur. Belə ki, sürüşmənin qarşısını almaq üçün lövhələrin üzərində hazırlanmış qırçınlara 3 ölçmələr zamanı material yapışır ki, bu da çox keçmədən ölçmələrin nəticələrinə öz təsirini göstərir.

Daşınan elastometr (şək. 6.5) laxtanın kəsilməyə hazır olmasını müəyyən etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. O, ölçmə bloku 2, tilləri olan indentor 6 və dinamometrik qurğudan 5 ibarətdir. Elastometr vannanın yuxarı hissəsinə kronşteyn 7 və vintli sıxacın 1 köməyi ilə bərkidilir.

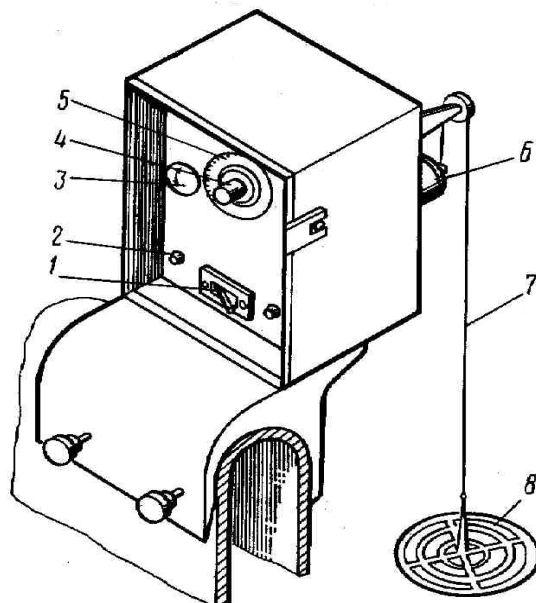


Рис. 6.3.
«Elqep» konsistometri

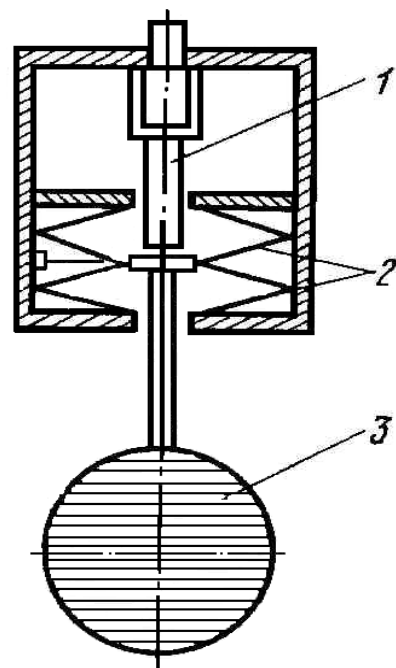


Рис. 6.4.
ЛТИХПа plastometri

Qursağ mayasını əlavə etdikdən sonra ölçü silindrinə süd qarışığına salırlar. Onun hərəkətinə qarşı müqavimət laxtanın strukturu bərkidiyinə görə artır və bunu dərəcələnməmiş dairə 4 qeydə alır. Diskin 3 köməyi ilə elastometr müqavimətin müəyyən bir qiymətinə görə qurulur və bu qiymətə çatdıqda laxtanın hazır olduğunu bildirmək üçün cihazda səs signalı eşidilir. Bu laxtanın kəsilməsini verilmiş struktur-mexaniki xassələr zamanı aparmağa, kəsilmə zamanı laxtanın xassələrini obyektiv qiymətləndirməyə imkan verir, yağların və quru maddələrin itkisini azaldır.

Bu cihazın çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, xammalın biokimyəvi tərkibi dəyişərsə, laxtanın da struktur-mexaniki xassələri də dəyişəcək, bu isə laxtanın kəsilmə vaxtının müəyyən edilməsində böyük səhvlərə gətirib çıxara bilər.

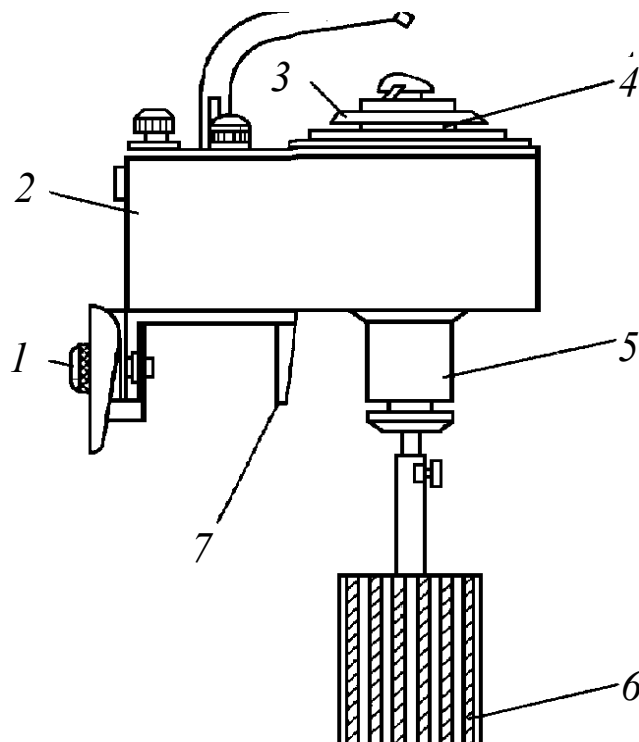
Kemerovo texniki institutunun «Materialların müqaviməti» laboratoriyasında rotasiyalı verici «Сруктох-Р1» işlənilib hazırlanmışdır və əvvəlki modellərə nisbətən daha da təkmilləşdirilmişdir. Bu cihazın quruluş sxemi şəkil 6.6-da göstərilmişdir.

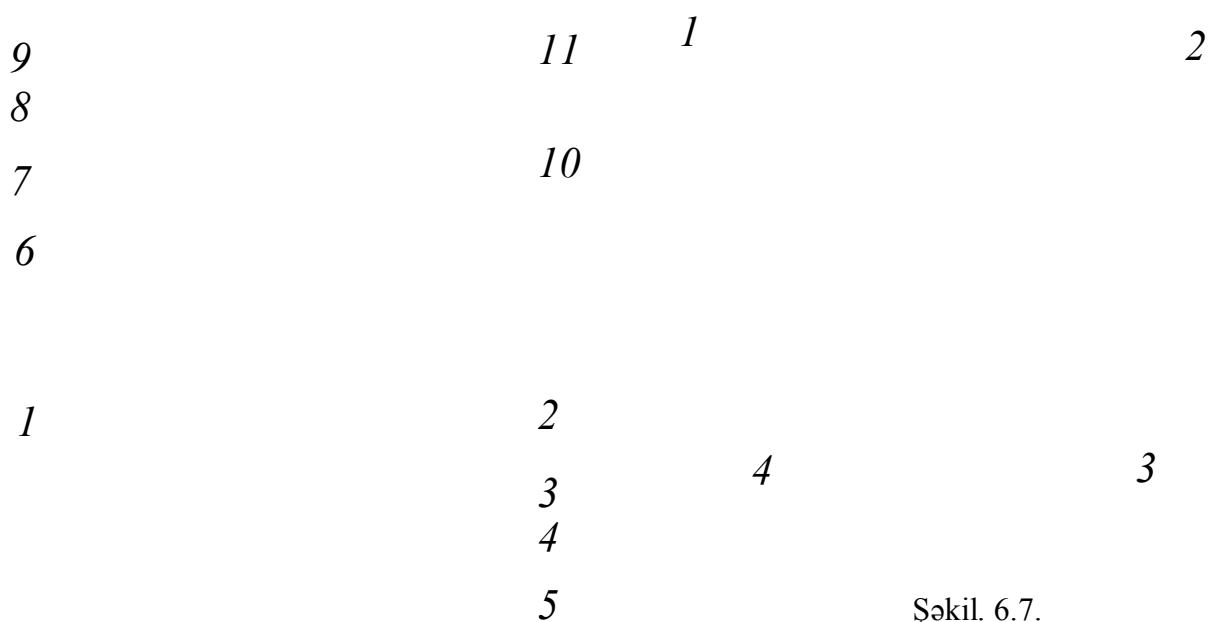
Cihaz gövdədən 1 ibarətdir. Onun diyircəkləri 2 üzərində kiçik val 3 quraşdırılmışdır. Ona aşağıdan qıfıl 4 vasitəsilə qırçınlı ölçü silindri 5 birləşdirilmişdir, yuxarıdan isə val 3 ox istiqamətində sinxron mühərrikin 6 valı ilə birləşmişdir, onun yuxarı hissəsində gövdəyə 1 bərkidilmiş çərçivə 9 üzərində quraşdırılmış rezistoru 8 idarə edən dayaq quraşdırılmışdır 7.

Güc ölçən yay aşağı ucundan 10 elektrik mühərrikinə 6, aşağı ucundan çərçivəyə 9 bərkidilmişdir. Cihaz həm də örtüyə malikdir. Silindrin ölçmə bucağının ölçülməsini çox dəqiq müqavimət vericisi ölçür ki, onun əsas siqnalı emal və indikasiya blokuna göndərilir. Bu cihaz fırlanan valın bir təsbit edilmiş sürətinə və bir güc ölçənə malik olduğuna görə onun quruluşu və ölçüləri azalmışdır. Lakin, əvvəlki verici cihazda olduğu kimi, bu cihazda da çatışmazlıqlar vardır: öyrənilən materialın işçi orqana yapışması və iş vaxtı məhsulun qismən parçalanması.

Yuxarıda sadalanan bütün cihazlar «dağıdıcı» nəzarət metodları ilə işləyir ki, bu da onların ümumi, ən başlıca çatışmayan cəhətidir.

Südün laxtalanması prosesinə fasiləsiz nəzarəti həyata keçirmək üçün “dağıtmayan” nəzarət üsulu ilə işləyən vericinin quruluşu məlumdur. Laxtanın hazır olmasını müəyyən edən membranlı cihaz (şək. 6.7) yüksək təzyiqin təsiri ilə membranların deformasiya etməsi prinsipi əsasında işləyir. Cihaz daxili səthinə büzməli membranlar qoyulmuş iki qovuqdan 3 və 4 ibarətdir. Onlar bütünlüklə südlə dolu qaba batırılır. Nasosun 2 köməyi ilə (2 dəqiqədə bir dəfə) artırılmış təzyiq dövrü olaraq 3 qovuğuna verilir, bu isə membranların deformasiyasına səbəb olur və bu təsir laxtalanən məhsula ötürülür. Süd qarışığı laxtalanmayınca membranların bu deformasiyası 4 qovuğuna ötürülür. Qəbuledici qovuq təzyiq kamerasından və xətti diferensial göstəricilərə malik transformator vericisindən 1 ibarət qəbuledici qurğu ilə əlaqədardır. Südün laxtalanması və laxtanın sıxlığının artması zamanı qəbuledici qovuğun membranı böyüyür. Cihazın çatışmayan cəhəti onun quruluşunun mürəkkəb olmasıdır.





Şəkil. 6.6.
«Сгусток – P1» cihazı

Şəkil. 6.7.
Membranlı verici

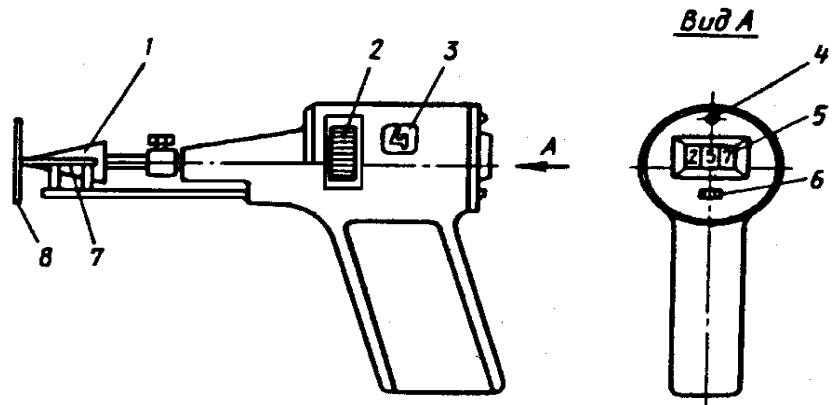
Hər hansı məhsulun emalı zamanı baş verən proseslərə fasiləsiz nəzarət etməklə yanaşı, materialların laboratoriya şəraitində tədqiqi də zəruri hesab olunur. Bu, yeni məhsulların işlənilib-hazırlanması zamanı, hələ onları istehsala buraxmazdan əvvəl bu və ya digər texnoloji parametrlərin dəyişməsinin onların xassələrinə necə təsir edəcəyini bilməyə, daha səmərəli emal və saxlanma rejimlərini seçməyə imkan verir.

Qida sənayesində istifadə olunan yığcam cihazlar çox əlverişlidir. Onlar nəinki son məhsula nəzarət etməyə, həm də onun struktur-mexaniki xassələrini laboratoriya şəraitində tədqiq etməyə imkan

yaradır. Belə cihazlara yığcam deformasiya ölçən cihazlar aiddir. Maşınqayırma zavodu **ВНИИМСа** tərəfindən pendirin konsistensiyasına nəzarət üçün Tabaçnikov cihazı hazırlanır (şək. 6.8). Onun əsas elementi xüsusi çıxarıla bilən probgötürən və ona birləşdirilmiş, fırlanma hərəkətini ölçən dinamometrdir. Probgötürən xarici səth boyunca uzununa qırçınlarla örtülmüdür ki, bunlar pendirə nəzarən sürüşmənin qarşısını alır.

КемТИППа –дә “Tətbiqi mexanika” laboratoriyasında bərk və yumşaq pendirlərdə deformasiyanın gərginlik həddini müəyyən etmək üçün CP –1 cihazının layihəsi işlənib hazırlanmışdır (şək. 6.9). Bu cihazın fərqləndirici xüsusiyyəti, içərisində ölçmə silindrinin 4, oxun 3 üzərində yerləşdirilmiş, 90° bucaq altında dörd vintli pərlər şəklində hazırlanmış və vintli kəsməsi olan konusşəkilli sonluqla 1 təhciz edilmiş burğunun 2 olmasıdır, bu isə cihazı materiala nəzarən şaquli vəziyyətdə daha dəqiq quraşdırmağa imkan verir. Çünki kəsmənin forması 2 (konusun bucağı) silindrin gövdəsinin aşağı iti tərəfinin bucağına uyğundur. Lakin burğunun diametri ölçmə silindrinin oyğunun diametrindən kiçikdir. Ölçmə zamanı verilənlərin avtomatik qeydə alınması üçün qurğu ötüb keçmə halqası şəklində hazırlanmış tormoza malikdir ki, bu da ölçmənin dəqiqliyini artırır.

ПІІМ – 4 penetrometri (şək. 6.10) konusşəkilli indentorun materiala yeridilməsinə əsaslanır. Onun üstünlüyü dörd ədəd asan dəyişilə bilən gücölçən gilizlərin olmasıdır, onlar müxtəlif bərkliyə malik materialların öyrənilməsinə imkan verir, bundan başqa cihazda rəqəmli indikator- təzyiq ölçən cihaz vardır. İndentor kimi müxtəlif uçlara malik konuslardan, eləcə də bir və ya dördiyənəli indentorlardan istifadə etmək olar.



Şəkil 6.10. Penetrometr ППМ – 4

MÜHAZİRƏ 14

Reometriya makaron, qənnadı və çörək istehsalında

Çörək, qənnadı və makaron istehsalında yarımfabrikatların və hazır məmulatların reoloji xassələri

Plan:

1.Süd mayası mürəkkəb sistem kimi və onun xarakteristikaları.

2.Xəmir hazırlanma prosesinin intensivləşdirmə üsulları.

3.Baranki xəmirini PM-1 viskozimetrlə tətqiqi.

4.Makaron xəmirinin reoloji tətqiqi.

5.Reoloji xassələrə onun təsiri.

Xəmir hazırlanmasında tətbiq olunan *süd mayası* mürəkkəb dispers sistemdən ibarətdir. 1kq maya üçün 0,65 – 0,67 kq nəmlik intervalında sabit axıcılıq həddi müşahidə olunmur. Nəmliyin 0,63-ə qədər azalması bu həddin meydana çıxmasına səbəb olur: maya deformasiya gərginliyinin dinamik həddinə malikdir və 3,5-6 aralığında dəyişir. Yerdəyişmə sürəti $20-105 \text{ s}^{-1}$ diapazonunda olduqda axma indeksinin qiyməti 0,8-ə, quruluşun dağılma tempi 0,2-yə bərabər olur.

PM-2 vizkozimetrində alınan $\eta_{ef}(\dot{\gamma}, W, p)$ asılılığı göstərir ki, süd turşusu mayası anormal özlülüyə malikdir.

Özlülüü 0,663 – 0,669 kr çovdar mayası rotasiyalı PM-2 vizkozimetrində $3,6-122 \text{ c}^{-1}$ deformasiya gəlginliyində öyrənilmişdir. Asılılıq qrafikinə $\dot{\gamma}(\tau)$ qurulması zamanı müəyyən olunmuşdur ki, öyrənilən deformasiya sürətində axma indeksi 0,45-ə bərabərdir. Nəmlik 0,7 olduqda maya anormal maye sistem, 0,61 olduqda isə bərk sistem olur.

Deformasiya sürəti 50 c^{-1} –dən çox olduqda özlülüünün azalma intensivliyi nisbətən azdır, yəni, özlülük praktiki olaraq deformasiya sürətindən asılı deyildir.

Çovdar mayasının effektiv özlülüü onun sıxlığından ($\dot{\gamma} = 27,1 \text{ c}^{-1}$) asılıdır:

$\rho, \text{ kq/m}^3$	750	800	850	900	950
$\eta_{ef}, \text{ Pa}\cdot\text{s}$	2,25	2,35	2,65	3,05	3,35

I və II sort buğda unundan hazırlanmış maye oparanın özlülüü 0,62 – 0,68 nəmlik diapazonunda 28°C temperaturda PB-8 rotasiyalı viskozimetrində öyrənilmişdir. Tədqiqatlar

göstərmişdir ki, nəmliyi 0,65 və 0,7 öz xassələrinə görə nyuton mayelərinə yaxınlaşır.

Xəmir hazırlanması prosesinin intensivləşdirilməsinin ən səmərəli üsullarından biri maye çörəkçilik yarımfabrikatlarının akustik emalıdır. Reoloji xassələrin öyrənilməsi üçün PM-2 viskozimetrindən istifadə etmişlər. Emal prosesində oparanın özlülüyünün ən böyük qiyməti 120 dəq qıçqırdıqdan sonra əldə edilir.

Nəmliyi 0,44 – 0,62 olan, əla və I sort buğda unundan hazırlanmış mayasız xəmirin özlülüyü 30 °C temperaturda «Reotest» viskozimetrində öyrənilmişdir. Alınmış $\eta_{ef}(\dot{\gamma})$ asılılıqları müxtəlif nəmliklərdə (W , 1 kq xəmirə 1 kq) eksponensial xarakter daşıyır, onlar aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\eta_{ef} = a_1 + \exp \cdot a_2 / (100W)^{a_3}, \quad (7.1)$$

burada: a_1, a_2, a_3 – empirik əmsallardır. Buğda unundan hazırlanmış xəmirin özlülük xarakteristikaları deformasiya sürəti $0,01 - 0,1 \text{ c}^{-1}$ olduqda PB-8 viskozimetrində müəyyən edilmişdir. Təcrübələrin nəticələrinin təhlili zamanı plastik özlülüyn nəmlikdən asılılığını əldə etmək mümkün olmuşdur:

$$\eta = a_1 \dot{\gamma}^{a_2 W - a_3}, \quad (7.2)$$

burada: W – nəmlik, kq/kq;

a_1, a_2, a_3 – əmsallardır.

Möhkəmlik modulunun G_1 və elastikliyin G_2 nəmlikdən asılılığı aşağıdakı kimidir:

$$G = b_1 \exp(-b_2 W), \quad (7.3)$$

burada: b_1 və b_2 – empirik əmsallardır.

Baranki xəmirinin PM-1 rotasiyalı viskozimetrində tədqiqi göstərmişdir ki, bu xəmir elastik-plastik cisimlərə aiddir. Baranki, vanilli və şəkərli xəmir üçün $\eta_{ef}(\dot{\gamma}, t)$ asılılığı aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$\eta_{ef} = \exp(a_1 / t^{a_2}), \quad (7.4)$$

burada: t – temperaturdur, °C;

a_1, a_2 , – deformasiya sürətindən asılı olan əmsallardır.

Temperaturun artması zamanı nəinki özlülük, həm də digər reoloji xassələr: G_1 möhkəmlik, G_2 elastiklik modulu və deformasiyanın gərginlik həddi θ_0 də azalır. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, reoloji xarakteristikalara temperaturun 30 – 40 °C aralığında dəyişməsi daha çox təsir edir. Nəmlik artdıqda η_{∞} , G_1 , G_2 , θ_0 kəmiyyətlərinin qiyməti azalır. Xəmirin yetişməsi zamanı baranki xəmirinin özlülük, möhkəmlik və elastiklik modulları kiçilir. Təzyiq nəinki

özlülüyə, həm də baranki xəmirinin digər reoloji xarakteristikalarına da təsir göstərir.

Makaron xəmirinin reoloji xan tədqiqi rotasiyalı viskozimetrdə (t , W) və təzyiq ($98 \cdot 10^5$ Pa) parametrlərindən asılı olaraq aparılmışdır. Makaron xəmirinin axma əyrilərinin təhlili onu Şvedov-Binqam cisminə aid etməyə imkan verir, deformasiya sürəti artdıqca makaron xəmirinin özlülüyü azalır. Xəmirin temperaturunun artması da özlülüyn artmasına gətirib çıxarır. Deformasiya sürətinin artması ilə temperaturun təsiri zəifləyir. Temperatur artan zaman həm də deformasiyanın gərginlik həddi azalır: 18°C – 183000 Pa, 40°C – 5600 Pa, 56°C – 2100 Pa olur.

Temperatur 40°C və təzyiq $49 \cdot 10^5$ Pa olarsa, deformasiyanın gərginlik həddinin $\theta_0 \cdot 10^{-3}$, nəmlikdən asılılığı aşağıdakı kimi Pa W , kg/kg olacaq:

W	0,281	0,294	0,306	0,316	0,322	
0,355						
θ_0	8,9	6,55	4,75	3,80	3,0	2,20

Deformasiyanın gərginlik həddi təzyiq artdıqca çoxalır. I sort undan hazırlanmış xəmir üçün nəmlik $0,3 \text{ kg/kg}$, temperatur 40°C olduqda θ_0 qiymətinin dəyişməsi aşağıdakı kimi olacaqdır:

$p \cdot 10^{-5}, \text{ Pa}$	34	49	68	88
$\theta_0, \text{ Pa}$	4300	5600	6050	6350

Reoloji xassələr həm də unun sortundan da asılıdır. Məsələn, unun sortundan asılı olaraq, deformasiyanın gərginlik həddi dəyişir: nəmlik $0,3 \text{ kg/kg}$, temperatur 40°C və təzyiq $49 \cdot 10^5$ Pa olduqda, əla sort undan hazırlanmış xəmir üçün o, 3280 Pa; I sort üçün – 5600 Pa; iri üyüdülmüş un üçün – 15000 Pa-dır.

Plastik özlülüyn təzyiqdən asılılıq qrafikinə qurulması göstərdi ki, o, deformasiya sürəti $0,13-1,16 \text{ c}^{-1}$ aralığında olanda xətti xarakter daşıyır:

$$\eta = a + bp, \quad (7.5)$$

burada: p – təzyiq, Pa;

a və b – əmsallardır.

PB-8 и PM-1 cihazlarında vizkozimetriyanın öyrənilməsi onları özlü-plastik Binqam cisimlərinə aid etməyə imkan verir. Deformasiyanın gərginlik həddinə θ_0 və plastik özlülüyə η_{pl} temperaturun və yağıllığın, qismən də nəmliyin dəyişilməsinin (resept daxilində) təsiri üstünlük təşkil edir.

Elmi təcrübələr göstərir, deformasiya sürətinin artması ilə özlülüyn qiyməti azalır və sürətin $\dot{\gamma} \approx 7 \text{ c}^{-1}$ qiymətində ən kiçik qiyməti alır, quruluşun dağılması həddinə yaxınlaşır. Fəza quruluşunun möhkəmliyini xarakterizə edən son həddən aşağı gərginlikdə axıcılığın zəif keçməsi müşahidə olunur. Belə çox kiçik axma zamanı quruluş dağılır, lakin yenidən bərpa oluna bilər. Bunun səbəbi kiçik deformasiya gərginlikləri zamanı müşahidə olunan praktiki olaraq ən böyük daimi (nyuton) özlülüydür.

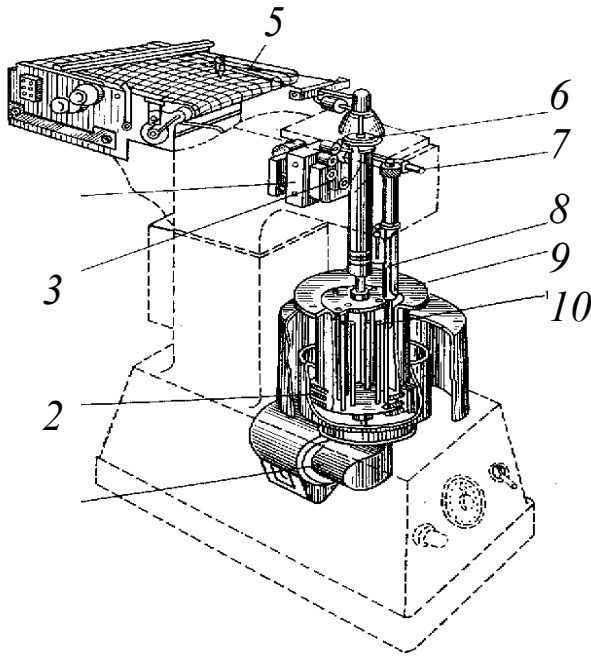
MÜHAZİRƏ 15

Texnoloji prosesləri modelləşdirən müxtəlif cihazlarda unun və xəmirin xassələrinin ölçülməsi

Plan:

- 1."Bradenber" firmasının amilografi.**
- 2.Cihaz vasitəsilə xəmirin yogrulması zamanı özlülüyn dəyişməsi.**
- 3.Amilografin iş prinsipi.**
- 4.Farinograf vasitəsilə xəmirin konsistensiyasına müxtəlif amillərin təsiri.**
- 5.Farinografin iş prinsipi.**

Çörəkbişirmə sənayesində tətbiq edilən bəzi cihazlarda bilavasitə məhsulun özlülüynün ölçülməsi həyata keçirilmir, lakin onlarda alınan diaqram, onun forması və ölçüləri bu kəmiyyətin qiymətindən asılı olur. Bu cihazlara «Brabender» (Almaniya) firmasının təqdim etdiyi *amilografi* misal göstərmək olar (şək. 7.1).



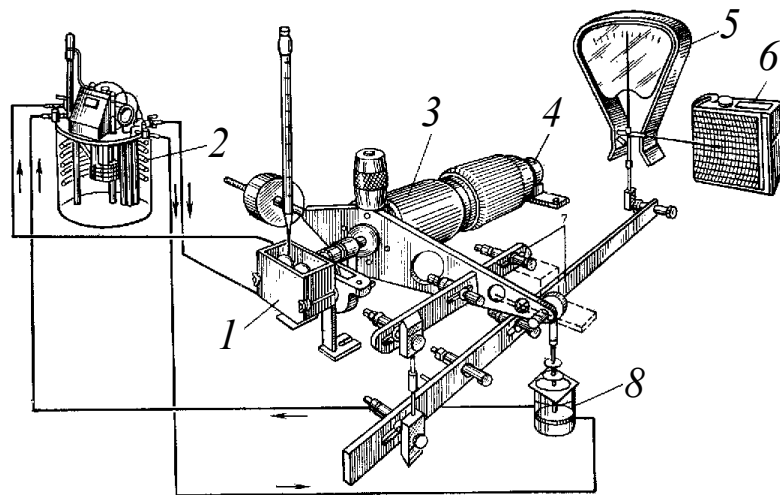
Şəkil 7.1. Amiloqraf

Bu cihaz xəmirin yoğrulması zamanı özlülüyn dəyişməsinə dolayı yolla müəyyən etməyə imkan verir. Qarışdırıcı cihaz 9 unun suda suspenziyası ilə doldurulur, onun içinə həssas ölçü sistemi 6 ilə bağlı olan detal salınır.

Elektrik mühərrikinin 1 köməyi ilə qarışdırıcı 9 müntəzəm şəkildə fırladılır, bu zaman özlü material detailı 10 bir qədər bucaq altında çevrilməyə məcbur edir. Beləliklə əmələ gələn an ölçü sistemindən keçərək yazıcı qurğuda 5 qeyd olunur. Lazım gəldikdə suspenziyanı elektrik qızdırıcısı 2 ilə isitmək də olar, temperatur

termometrlə 8 tənzimlənir, zəruri temperaturun qurulması dəstəyin 7 fırladılması ilə həyata keçirilir. Tədqiqatı daimi, həm də fasiləsiz və bərabər artan temperaturlarda aparmaq mümkündür. Sonuncu halda avtomatik idarəetmə üçün sinxron mühərrikli 4 qurğu qoşulur. Beləliklə, fasiləsiz hərəkət edən vərəqdə diaqram çəkilmiş olur, nəzərə almaq lazımdır ki, yazan qurğunun yerdəyişməsi suspenziyanın özlülüynü ilə mütənasibdir.

Texnoloji laboratoriyalarda buğda unundan hazırlanmış xəmirin keyfiyyətinin və xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi üçün *farinoqraf* adlanan cihazdan istifadə edilir (şək. 7.2). Bu cihazın iş prinsipi ondan ibarətdir ki, xəmir yoğurana 1 450q xəmir qoyulur, yoğurucu pərlər elektrik mühərriki 3 vasitəsilə hərəkətə gəlir, onun oxu diyircəkdə 4 yerləşir. Tədqiq olunan xəmirdə yoğuryoğuran maşının pərlərinə edilən müqavimət dəyişilir və reaktiv bir an kimi mühərrikin gövdəsinə ötürülür və onu əks istiqamətdə çevirir. Bu müqavimət, titrəyişləri yağlı dempfer 8 vasitəsilə azaldılan linglər sistemindən 7 keçərək tərəziyə 5 və qeydetmə cihazına 6 ötürülür. Cihazda «gərginlik-zaman» oxlarında diaqram çəkilir, əyrinin hündürlüyü isə xəmirin sıxlığını göstərir. Termostat 2 xəmir yoğurana və dempferi qızdırır.



Şəkil 7.2. Farinoqraf

Farinoqrafda temperaturun, müxtəlif əlavələrin və saxlama zamanının xəmirin konsistensiyasına təsirini öyrənmək üçün xüsusi tədqiqatlar həyata keçirmək olar.

Çörək xəmirinin bəzi tədqiqatlarının çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, tədqiq olunan xəmir nümunəsində mühüm komponentlərdən biri olan maya yoxdur. Bu çatışmazlıq «Brabender» firmasının təqdim etdiyi cihazda – maturoqrafda aradan qaldırılmışdır (şək. 7.3).

Cihaz bir ucu şarnirlə bərkidilmiş, o biri ucunda təkərcik olan, yumruqcuqlu şayba ilə əlaqədə olan ligdən 1 ibarətdir, kinematik cütüklərin kilidlənmə cəhdləri lingin üzərində qeyri-simmetrik yerləşmiş yük 4, onun üzərində lövhə ilə 3 möhkəm bərkidilmiş, qeydedən pərlə mexaniki sürətdə bağlı olan val tərəfindən yaradılır.

3 Xəmir porsiyası (150 q) qaba qoyulur və kameraya yerləşdirilir ki, burada temperatur 30°C və nisbi rütubət 80 – 85%-dir. Təcrübənin əvvəlində qabın dibi və lövhə arasında məsafə çox az olur (36 mm). Cihaz elə tənzimlənir ki, lövhənin xəmirə təzyiqi maturoqrafda təyin edildiyi kimi-200 vahid olsun. Hər 2 dəqiqədə mexaniki şəkildə qaba yerləşdirilmiş xəmirin sıxılması

baş verir, bundan sonra lövhə daimi yük kimi qıcqıran xəmirə təzyiq göstərir. Qıcqırma zamanı ayrılan qazların miqdarından, xəmirin qazsaxlama qabiliyyəti və möhkəmliyindən asılı olaraq lövhə müxtəlif səviyyələrə qalxır, amma 2 dəqiqədən sonra yenidən xəmirin içərisinə batır. Diskin yerdəyişməsi qeydetmə mexanizminin diaqramında təsbit edilir. Unun çörəkbişirmə

xassələrinin qiymətləndirilməsi üçün üç kəmiyyətdən istifadə olunur: yekun saxlanma müddəti, xəmirin müqaviməti və saxlanma prosesinin sonunda xəmirin sabitləşməsi.