

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**I.Lurýewa, O.Garaýewa, Ý.Batyrow**

# **UGLEWODORODLARYŇ FAZA ÜYTGEMESI**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

**I.Lurýewa, O.Garaýewa, Ý.Batyrow,** Uglewodorodlaryň faza üytgemesi.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby, Aşgabat – 2010 ý.

## GIRIŞ

Häzirki wagtda nebit we gaz halk hojalygyny çig mal we ýangyç bilen üpjün etmekde görnükli orny eýeleýär. Çylşyrymly nebit-gaz geçirijileriniň ulgamynyň işleýşi olardan akýan önümiň hiline baglydyr. Geçirijilerden akýan önüm ilki bilen tehniki şertlere laýyklykda guradylýar, gazdan arasylyňar, ýokary gaýnagly uglewodorodlar düzüminden bölünip aýrylýar, şeýle hem kükürtli wodorotdan we kömürturşy gazyzdan arassalanýar.

Önüminiň ýeterlikçe arassalanmasyzlygy magistral geçirijileriniň kuwwatlylygyny peseldýär, energiýanyň sarp edilşini artdyrýar we ş.m. Bir gaz geçiriji ulgamynyň hakyky görkezijilerini we hasap görkezijileriniň analizi, taslanan gidrawliki garşylyga sarp edilýan energiýadan 30% köp energiýanyň sarp edilýändigini görkezdi. Energiýanyň köp sarp edilmegi gidrawliki garşylygyň gazyň ýeterlikçe arassalanmagy sebäpli ýokarylanmady bilen düşündirilýar. Bu bolsa öz gezeginde şol bir mukdardaky gaza ugratmak üçin gaz gysyjy beketlerine goşmaça kuwwatlylyklaryň goýulmagyny talap edýär.

Köp sanly magistral nebit-gaz geçirijileriniň iş kadalylygynyň derňewi olaryň mümkinçilikleriniň 5-15%-niň ulanylmaýanlygyny görkezdi. Şonuň üçin hem nebit-gaz-kondensat ojaklarynyň önümlerini taýýarlamagyň tehnologiýasy promysllarda haryt önümini, ýagny nebiti, gazy, çig mal görnüşindäki kondensaty we ş.m. almaga niýetlenendir.

Gatlak önümini çykarmaklygy, taýýarlamaklygy, bir ýerden başga bir ýere daşamaklygy taslama işlerini ýokary hilli ýerine ýetirmek üçin nebitiň, gazyň, gaz kondensatynyň häsiýetlerini kesgitlemekligiň we faza üýtgemelerini anyklamagyň häzirki zaman inžener usullaryny özleşdirmek zerurdur.

“Uglewodarodlaryň faza üýtgemesi” dersi talyplaryň öwrenýän nebit we gaz ojaklaryny özleşdirmek, nebiti-gazy

çykarmagyň tehnologiýasy, gatlak fizika, fizika, himiýa, termodinamika ýaly derslerine esaslanýan we öz gezeginde tehnikanyň we tehnologiýanyň dürli bölümlerinde nebitiň, gazyň we gaz kondensatynyň häsiýetlerini ulanmaklyga ylmy-nazary esaslary bolup durýar.

Bu nazary okuw toplумы adaty bolan grafik usullary bilen bir hatarda has ygtybarly EHM-iň kömegi bilen ýerine ýetirilýän usullary hem beýan edilýär.

Nazary okuw toplумы “nebit we gaz ojaklaryny özleşdirmek” hünäriniň talyplarynyň “Uglewodorodlaryň faza üýtgemesi” dersi boýunça maglumatlary almak üçin niýetlenendir.

Häzirki zaman nebit we gaz ojaklary özleşdirmek bu tehnika we tehnologiýa tarapyndan çylşyrymly prosesdir. Özleşdirmegiň fiziki esaslary gazyň, suwuň, kondensatyň ýa-da olaryň garyndylarynyň gatlak ýagdaýyndaky süzülme kanunlaryndan durýar. Süzülme proseslerinde uglewodorod garyndylaryň faza üýtgemeleri wajyp orny eýeleýär. "Uglewodorodlaryň faza üýtgemesi" dersi ozal okalan "Gatlagyň fizikasy", "Ýerasty gidromehanika", "Nebit we gaz işleriniň esaslary" we başga dersler bilen baglanyşykly, şonun üçin şu ders dördünji kursyň talyplaryna hödürlenýär.

## Kondensat we ýeňil nebitiň işledilişiniň osüşü

Nebit-gazkondensatly ojaklarynyň bazasynda döredilen gazohimiki komplekslerini oýlanyşykly özleşdirmek we taslamak bu ojaklardaky gatlak garyndylarynyň fazaly ýagdaýlarynyň aýratynlyklaryny hasaba almazlyk mümkin däl.

Nebit-gazkondensatly ojaklarynyň gatlak garyndylarynyň fazaly ýagdaýlaryny eksperimental taýyndan öwrenmek işi uzak wagtlaýyň işdir we ol zähmeti köp talap edýär. Ojaklaryň köpüsindäki gatlak garyndylary ýokary korrozion işjeňlige we zäherleýjilige eýe bolan uglewodorod däl komponentleri öz içinde saklaýarlar. Bu ýagdaý synag geçirilende, goşmaça kynçylyklary döredýär.

Häzirki wagtda nebit-gazkondensatly ojaklary özleşdirilende, gatlakda, guýularda we senagat enjamlarynda bolup geýän prosesleri beýan edýän matematiki modelleri depginli ösüşde boldular.

Köp komponentli garyndylaryň ýylylyk fiziki häsiýetleriň we bug-suwuklyk deňagramlylygyň parametrini kesgitleýän hasaplaýyş usulyny kämilleşdirilmesinde we özleşdirilmesinde üstünligiň ep-eslisi ulanylýan usullaryň takyklygy bilen kesgitlenmän, eýsem gatlak garyndynyň düzümini takyk kesgitlemekden ybarat. Kä wagt düzümiň kesgitleniş ýalňyşlygynyň täsiri esasy bolup durýar.

Gazkondensat derňewlerini geçirmek boýunça Bütün Russiýa tebigy gaz ylmy-barlag institutynyň (WNIIGaz-yn) gönükdirijisine görä, uglewodorod boýunça gatlak garyndynyň düzümini butanlary hem goşup hasaba alýarlar we galan uglewodorodlary " $C_{5+}$  ýokarky" diýen toparyna birleşdirýärler. Ondan başga-da, gaýnama temperaturasy boýunça debutanizirlenen kondensatynyň fraksion dargatmasyny geçirýärler.

" $C_{5+}$  ýokarky" toparyna ortalaşdyrylan häsiýetleri bermek usuly ulanylanda, köp ýagdaýlarda bug-suwuklyk deňagramlylyk parametriniň we ýylylyk fiziki häsiýetleriniň

hasaplamalarynda ýalňyşlyklar ýüze çykýar. Termodinamikanyň faza öwremesiniň esasy ýagdaýlaryna geçmezden öň, nähili ýataklara gazokondensatly ýataklar diýilýändigini bellemeli.

Ojaklar özleşdirilende, gaz we suwuk uglewodorodly faza-kondensat diýen benzin we ondan agyr fraksiýanyň  $0,785 \text{ g/sm}^3$  we ondan pes dykzlykly garyndy çykarylan ojaklara gazkondensatly ojaklar diýilýär. Kondensatyň dykzlygy  $0,785 \text{ g/sm}^3$  köp bolsa, onda bu suwuklyk nebit bilen kondensatyň garyndysy bolup durýar.

Gazkondensatly ojaklary nebit ojaklaryndan suwuklygyň we gazyň faza deňagramlylyk ýagdaýy, suwuklygyň hili we özleşdirmek prosesinde gaz faktorlaryň ululyklarynyň azalmagynyň üznüksiz ösmegi bilen tapawutlanýar. Gazkondensatly ojaklaryň aşa gaýnaýjy uglewodorodlardan (kondensat) doýgunlaşma derejesi gazkondensatly faktoryň ululygy bilen kesgitlenip, özünden  $\text{m}^3$  gazyň (debiti) mukdarynyň durgunlaşan kondensatyň  $\text{m}^3$  (debitine) bolan gatnaşygyny ýüze çykarýar. Kä wagt Gazkondensatly faktory  $\text{m}^3/\text{t}$  ölçenilýär.

## I. TEBIGY GAZLARYŇ DÜZÜMI WE TOPARLARY

Gaz, nebit we gazkondensatly ojaklardan alynýan tebigy gazlar öz düzüminde metanyň gomologik hataryndaky uglewodorodlary ( $C_nH_{2n+2}$ ), şeýle hem azot ( $N_2$ ), kömürturşy gazy ( $CO_2$ ), kükürtli wodorod ( $H_2S$ ), inert gazlary (geliý, argon, kripton, ksenon), simap ýaly elementleri saklaýar. Uglewodorodlaryň molekulasyndaky uglerod atomlarynyň sany  $n=17$  we ondan-da ýokary sanlara ýetip biler.

Metan ( $CH_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), we etilen ( $C_2H_4$ ) normal şertlerde ( $P = 0,1013$  MPa we  $T = 273$  K) gaz halynda bolýarlar.

Propan ( $C_3H_8$ ), propilen ( $C_3H_6$ ), izobutan ( $i-C_4H_{10}$ ), butan ( $C_4H_{10}$ ), butilen ( $C_4H_8$ ) atmosfera şertlerinde gaz halynda, ýokarlandyrylan basyşda bolsa, suwuklyk halynda bolýarlar. Olar suwuk uglewodorod gazlaryna degişlidirler.

Izopentan ( $i-C_5H_{12}$ ) we ondan hem agyr uglewodorodlar ( $17 > n > 5$ ) atmasfera şertlerinde suwuk halda bolýarlar olar benzin fraksiýasynyň düzümine girýärler. Molekulalarynda 17 ( $C_{17}H_{36}$ ) we ondanam köp uglerod atomlary bolan uglewodorodlar atmosfera şertlerinde gaty halda bolýarlar.

Aşakda gury gazyň, gysylan gazyň we gaz benzininiň düzümleri getirilen:

1-nji tablisa

Düzümi	Garyndysy
Metan, etilen, etan	gury gaz
Propan, propilen, izobutan, adaty butan, butilen	gysylan gaz
Izopentan, adaty pentan, amilenler geksan	benzin

Tebigy gazlar 3 topara bölünýär:

1. Arassa gaz kánlerinden alynýan gazlar. Olar düzümi agyr uglewodorodlardan arassa gury gazlardyr.

2. Nebit bilen alynýan gazlar. Bu gazlar gaz benzini, propan-

butan fraksiýaly (gysylan gaz) we arassa gury gazyň garyndylarydyr.

3. Kondensatly gaz kánlerinden alynýan gazlar. Olaryň düzümi gury gazdan we suwuk uglewodorod kondensatlaryndan ybarat. Uglewodorod kondensatlarynda köp mukdarda agyr uglewodorodlar bolup, ondan benzin, kerosin, ligroin we ýaglaýjy fraksiýalary bölünip alynýar.

Gazgeneratorlarda we dürli peçlerde uly temperaturanyň we basyşyň täsiri astynda, gaty ýangyçlardan emeli gazlar hem alynýar.

Arassa gaz kániň deň alynýan tebigy gazda komponentleriň mukdary (göw. %)

2-nji tablisa

Kánler	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> +H <sub>1</sub> <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> +R <sub>*</sub>	CO <sub>2</sub>	Otnositel dykzlygy
Şatlyk	95,58	1,99	0,35	0,10	0,05	0,78	1,15	0,58

\*\* - inert gazlary (geliý, argon, kripton, ksenon)

Aşakda gury gazyň, suwuklandyrylan gazyň we gaz benzininiň düzümi görkezilen:

Metan, etilen, etan.....Gury gaz  
Propan, propilen, izobutan, butan, butilen .....Gysylan gaz  
Izopentan, pentan, amilenler, geksan.....Gaz benzini

Uglewodorod kondensatynyň düzüminde köp sanly agyr uglewodorodlar: benzin, ligron, kerosin kä halatlarda bolsa has hem agyr uglewodorodlar duş gelýärler.

## 1.1. Uglewodorod gazlarynyň fiziki we himiki häsiýetleri

Alkanlaryň esasy fiziki we himiki häsiýetleri 1 tablisada görkezilen, alkenleriň (olifenleriň) häsiýetleri 2 tablisada, şeýle hem tebigy gazyň düzümine girýän kábir gazlaryň häsiýetleri 3 tablisada görkezilen.



Tablisa 1

Kompo- nent	$c_{ij}$ bahasy							
	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	n- C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n- C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
N <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,130	0,025	0,010	0,090	0,095	0,100
CO <sub>2</sub>		0,000	0,135	0,105	0,130	0,125	0,115	0,115
H <sub>2</sub> S			0,000	0,070	0,085	0,080	0,075	0,070
CH <sub>4</sub>				0,000	0,005	0,010	0,025	0,030
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>					0,000	0,005	0,010	0,010
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>						0,000	0,000	0,020
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>							0,000	0,005
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>								0,000
n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>								
n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>								
n-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>								
n-C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>								
n-C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>								

Tablisa 2

Komponent	$c_{ij}$ bahasy				
	n- C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	n- C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	n- C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	n- C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
N <sub>2</sub>	0,110	0,115	0,120	0,120	0,125
CO <sub>2</sub>	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115
H <sub>2</sub> S	0,070	0,060	0,060	0,060	0,055
CH <sub>4</sub>	0,030	0,035	0,040	0,040	0,045
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>		0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>			0,000	0,000	0,000
n-C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>				0,000	0,000
-C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>					0,000

## Gaz garymlary

Jisimiň dykzlygy, ýa-da göwrüm massasy diýip, onuň dynçlyk ýagdaýyndaky massasynyň göwrümüne bolan gatnaşygyna aýdylýar.

Gazyň dykzlygy  $\rho$  normal fiziki şertlerde (0,1013 MPa we  $T=273$  K) aşakdaky formula bilen tapylýar:

$$\rho = M / 22,41, \quad (1.1)$$

M-molekulýar massa.

Eger gazyň dykzlygy 0,1013 MPa basyşda berlen bolsa, onda beýleki basyşlarda (şol bir temperaturada) onuň bahasyny ideal gaz üçin:

$$\rho = \rho_0 P / 0,1013, \quad (1.2)$$

formula bilen hasaplap bolar.

Köplenç halatlarda gazyň normal şertlede (0,1013 MPa we 273 K) howa görä oňnositel dykzlygy hasaplanýar:

$$\Delta_0 = \rho_0 / 1,293, \quad (1.3)$$

Gaz senagatyndaky hasaplamalaryň köpüsi standart fiziki şertlerde (0,1013 MPa we 293 K) hem alynyp barylýar.

## Suwuklyk garymlary

Suwuk garymlaryň düzümi oňa girýän komponentleriň massa we molýar konsentrasiýalary bilen häsiýetlendirilýär.

Suwuk garymlaryň ortaça molekulýar massasyny (4) we (5) formulalar bilen, ortaça dykzlygyny bolsa aşakdaky formula bilen tapyp bolar:

$$\rho_{rap} = \frac{100}{\frac{g_1}{\rho_1} + \frac{g_2}{\rho_2} + \dots + \frac{g_n}{\rho_n}} = \frac{100M_{gar}}{\frac{x_1M_1}{\rho_1} + \frac{x_2M_2}{\rho_2} + \dots + \frac{x_nM_n}{\rho_n}}; \quad (1.4)$$

bu ýerde  $g_1, g_2, g_n$  – suwuk garymyň komponentleriniň massa konsentrasiýasy, %;  $M_1, M_2, M_n$  – komponentleriň molekulýar massasy.

$M_{gar}$  – suwuk garymyň molekulýar massasy,  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$  – suwuk garymyň komponentleriň dykzlygy,  $\text{kg/m}^3$ .

Suwuk uglewodorodlar bugarandan (normal fiziki şertlerde) soňky emele gelen buguň göwrümini aşakdaky formula boýunça hasaplamak bolar:

$$V_H = G / \rho_H = 22,41G / M, \quad (1.5)$$

bu ýerde  $G$  – suwuk uglewodorodyň massasy,  $\text{kg}$ ;  $M$  – uglewodorodyň molekulýar massasy;  $\rho_H$  – uglewodorod buglarynyň 0,1013 MPa we 273 K şertlerdäki dykzlygy,  $\text{kg/m}^3$ .

Eger-de suwuk uglewodorodyň garymynyň buglarynyň göwrümini tapmak talap edilse, onda (5) formulada  $M$  – derek uglewodorod garymynyň ortaça molekulýar massasyny  $M_{gar}$  goýup, tapmak bolar.

**Nusga.** 90 kg suwuk garymyň bugarandaky göwrümini tapmaly. Garymyň düzümi: propan 60%, butan 40%.

**Çözüwi.** Garymyň ortaça molekulýar massasyny (5) formula arkaly tapalyň:

$$M_{gar} = \frac{100}{\frac{60}{44,097} + \frac{40}{58,124}} = 48,8,$$

Onda buguň göwrümi:  $V_H = 22,41 \cdot 90 / 48,8 = 41,33 \text{ m}^3$ ,

## II. TEBIGY GAZYŇ WE GAZKONDENSATYNYŇ HÄSIÝETLERINI HASAPLAMAGYŇ ANALITIK USULLARY

Gaz garymlary (suwuklyk garymlary ýaly) düzümine girýän komponentleriň massa ýa-da molýar konsentrasiýalary bilen häsiýetlendirilýär.

Gaz garymlarynyň göwrüm düzümi takmynan molýar düzümi bilen gabat gelýär. Awogadronyň kanunyna görä, 1 kmol ideal gazlaryň göwrümi bir meňzeş fiziki şertlerde şol bir san baha eýedir. Meselem, 273 K temperaturada we 0,1013 MPa basyşda (normal şertlerde) 22,41 m<sup>3</sup> deňdir.

Gaz garymlarynyň ortaça molekulýar massasyny, ortaça dykzylygyny (kg/m<sup>3</sup>) ýa-da howa görä otnositel dykzylygyny bilmek zerurdyr.

Eger-de gaz garymynyň molýar düzümi prosentlerde belli bolsa, onda ortaça molekulýar massasy:

$$M_{gar} = \frac{Y_1 M_1 + Y_2 M_2 + \dots + Y_n M_n}{100}, \quad (2.1)$$

formula bilen hasaplanlýar. Bu ýerde  $y_1, y_2, \dots, y_n$  – komponentleriň molýar (göwrüm) mukdary, % ;  $M_1, M_2, \dots, M_n$  – komponentleriň molekulýar massasy.

Eger-de garymyň massa düzümi belli bolsa, onda onuň ortaça molekulýar massasy:

$$M_{gar} = \frac{100}{\frac{g_1}{M_1} + \frac{g_2}{M_2} + \dots + \frac{g_n}{M_n}}, \quad (2.2)$$

formula bilen hasaplanylýar. Bu ýerde  $g_1, g_2, \dots, g_n$  – komponentleriň massa mukdary %.

Gaz garymynyň dykzylygy  $\rho_{rap}$  hasaplanan ortaça molekulýar massasynyň  $M_{gar}$  üsti bilen tapylýar:

$$\rho_{gar} = M_{gar} / 22,41, \quad (2.3)$$

Gaz garymynyň howa görä otnositel dykzlygy aşakdaky formula bilen hasaplanýar:

$$\Delta_{gar} = \rho_{gar} / \rho_b = \rho_{gar} / 1,293, \quad (2.4)$$

Bu ýerde  $\rho_{gar}$  we  $\rho_b$  – degişlilikde garymyň we howanyň dykzlyklary (0,1013 MPa we 273 K-şertlerde).

Tebigy gazyň düzüminde agyr uglewodorodlaryň saklanmagy we olaryň mukdarlary gaz senagatyndaky hasaplamalar üçin zerur ululyklardyr.

Eger-de gazyň massa we molýar düzümleri belli bolsa, onda agyr uglewodorodlaryň mukdaryny hasaplamak bolar:

$$A = 10g\rho_{rap} = 10y\rho, \quad (2.5)$$

Bu ýerde g-berlen agyr uglewodorodyň massa mukdary, %;  $\rho_{rap}$  tebigy gazyň ortaça dykzlygy,  $\text{kg/m}^3$ ; y-berlen agyr uglewodorodlaryň molýar mukdary, %;  $\rho$ -berlen agyr uglewodorodlaryň dykzlygy;  $\text{kg/m}^3$ .

Gazyň düzümindäki komponentleriň konsentrasiýasy anyklanandan soň ondaky butanyň we gaz benzininiň mukdarlary hasaplanylýar. Hasaplamada pentan we ondan ýokardakylaryň ( $\text{C}_{5+}$ ) hem-de butanyň pentan we ondan ýokardakylaryň ýarsyna deň bolan mukdary tutuşlygyna gaz benzininiň düzümi girizilýär.

**Nusga.** Şatlyk gaz ojagynyň tebigy gazyň mysalynda gazyň düzümindäki propanyň we gaz benzininiň mukdaryny kesgitlemeli. Gazyň massa düzümi, %; metan 95,58 ; etan 1,99; propan 0,35; butan 0,1; pentan we ýokardakylar 0,05; azot 0,78; kömürtyrşy gazy 1,15.

**Çözüwi.** Gazyň ortaça molekulýar agramy (5) formuladan anyklaýarys:

$$M_{gar} = \frac{100}{\frac{95,58}{16,04} + \frac{1,99}{30,07} + \frac{0,35}{44,10} + \frac{0,1}{58,12} + \frac{0,05}{72,15} + \frac{0,78}{28,02} + \frac{1,15}{44,01}} = 16,42$$

Gazyň ortaça dykzylygy (6) formula boýunça:

$$\rho_{\text{rap}} = 16,42 / 22,41 = 0,733 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Gazdaky agyr uglewodorodlar:

$$\text{Propan} \dots\dots\dots 100,35 \cdot 0,733 = 2,57$$

$$\text{Butan} \dots\dots\dots 100,1 \cdot 0,733 = 0,733$$

$$\text{Pentan we ýokardakylar} \dots\dots\dots 100,05 \cdot 0,733 = 0,37$$

$$\text{Hemmesi: } 2,57 + 0,733 + 0,37 = 3,67 \text{ g/m}^3$$

Diýmek, gaz benzini (pentan бүтүнleşin) we butan (pentanyň mukdarynyň ýarysy) berlen tebigy gazyň mukdarynda  $0,37 + 0,37/2 = 0,555 \text{ g/m}^3$  bolup durýar.

Ideal gaz garymlary parsial basyşyň we parsial göwrümiň aditiwligi bilen häsiýetlenýärler. Bu bolsa, her gazyň (komponentiň) özüne berlen göwrümde ýeke-täk mahalyndaky ýaly alyp barmagyny aňladýar. Gazyň parsial basyşy-bu başlangyç temperaturada we göwrümde gaz garymyna girýän gazyň göwrümi berlen gaz garymynyň göwrümiçe bolan mahalynda görkezýän basyşydyr.

Gazyň parsial göwrümi - bu gaz garymyna girýän gazyň, (komponentiň) gaz garymynyň temperaturasynda we basyşynda dolduryp biljek göwrümidir. Parsial basyşyň aditiwlik häsiýeti Daltonyň kanuny bilen aňladylýar:

$$P = \sum p_i, \quad (2.6)$$

Bu ýerde  $P$ -gaz garymynyň umumy basyşy:  $P_i$ -gaz garymynyň düzümine girýän  $i$ -nji komponentiň parsial basyşy

$$P_i / P = n_i / N = y_i, \quad (2.7)$$

ýa-da

$$P_i = y_i P, \quad (2.8)$$

bu ýerde  $n_i$ -gaz garymynyň  $i$ -nji komponentiň mol sany;  $N$ -gaz garymynyň umumy mol sany  $y_i = n_i / N$  -  $i$ -nji komponentiň molýar mukdary. Ideal gaz garymynyň komponentiniň  $P_i$  parsial basyşy onuň garymdaky molýar mukdarynyň  $y_i$  gaz garymynyň umumy basyşyna  $P$  köpeldilmegine deňdir. Gaz garymynyň komponentleriniň parsial göwrümleriniň aditiw

häsiýeti Amaganyň kanuny boýunça aňladylýar:

$$V = \sum V_i, \quad (2.9)$$

bu ýerde  $V$ -gaz garymynyň umumy göwrümi;  $V_i$ -gaz garymynyň  $i$ -nji komponentiniň parsial göwrümi.

$$V_i / V = n_i / N = y_i, \quad (2.10)$$

ýa-da

$$V_i = y_i V, \quad (2.11)$$

Ideal gaz garymynyň komponentiniň parsial göwrümi  $V_i$  onuň garymdaky molýar mukdarynyň  $y_i$  gaz garymynyň umumy göwrümüne köpeldilmegine deňdir.

Gaz halyndaky tebigy gazyň dykzylygyny aşakdaky formula bilen hasaplamak bolar:

$$\rho_{p,t} = \rho_{p_0,t_0} \frac{P z_0 T_0}{P_i z T}, \quad (2.12)$$

Doýgun uglewodorod kondensatynyň dykzylygyny aşakdaky usullar bilen tapyp bolar:

1. Katsyň we Stendingiň grafonolitik metody.
2.  $P_{get}$  bilen  $z_{or}$  arasyndaky korrelýasion baglanyşyk bilen.

Katsyň we Stendingiň metody boýunça standart şertlerde suwuklygyň dykzylygyny aşakdaky formula bilen tapylýar:

$$\rho_{p_{st}T_{st}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i M_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i M_i}{\rho_i}}, \quad (2.13)$$

bu ýerde  $x_i$ ,  $M_i$  we  $\rho_i$  – deňişlikde  $i$ -nji komponentiň molýar mukdary, molekulýar massasy we dykzylygy.

Soňra standart şertlerde hasaplanan dykzylygy berlen basyşa ( $\Delta\rho_p$ ) we temperatura ( $\Delta\rho_T$ ) görä düzediş girizilýar:

$$\rho_{pet} = \rho_{p_{st}T_{st}} + \Delta\rho_p - \Delta\rho_T, \quad (2.14)$$

Getirilen dykzylyk  $\rho_{get}$  bilen gazyň ortaça kritiki aş gysylyjylyk koeffisiýentiniň  $z_{ok}$  arasyndaky korrelýasion

baglanşygyň kömegi bilen doýgun uglewodorod kondensatynyň dykzlygy aşadaky ýaly hasaplanýar:

$$\rho_{p_{st}T_{st}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i M_i \right) \rho_{get}}{\sum_{i=1}^n x_i V_{kp.i}}, \quad (2.15)$$

$$\rho_{p,T} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i M_i \right) \rho_{get}}{\sum_{i=1}^n x_i V_{kp.i}}, \quad (2.16)$$

Bu ýerde  $V_{kp.i}$  –  $i$ -nji komponentiň kritiki molýar göwrümi. Getirilen dykzlyk Wiksiň formulasy bilen tapylýar:

$$\rho_{get} = 1,20 + (5,563 - 11,03Z_{ok})(1 + T_{ret})0,8Z_{ok}^{0,31}, \quad (2.17)$$

Ortaça kritik aş gysylyjylyk koeffisiýenti:

$$Z_{or} = \sum_{i=1}^n x_i z_{kp.i}, \quad (2.18)$$

bu ýerde  $z_{kp.i}$  –  $i$ -nji komponentiň kritiki aş gysylyjylyk koeffisiýenti. (1 tablisa seret). Doýgun suwuklygyň getirilen temperaturasy bolsa:

$$T_{get} = T / \sum_{i=1}^n x_i T_{kp.i} \quad (2.19)$$

$i$ -nji komponentiň kritik göwrümi:

$$V_{kp.i} = \frac{Z_{kp.i} RT_{kp.i}}{P_{kp.i}}, \quad (2.20)$$

Tebigy gazlar üçin getirilen ululyklar – hakyky basyşyň, temperaturanyň, göwrümiň, dykzlygyň we aş gysylyjylyk koeffisiýentiniň psewdokritiki (ortaça kritiki) ululyklara bolan gatnaşygy bilen aňladylýar:



$$\begin{aligned}
P_{get.gar} &= P / P_{kp.rap}, \\
T_{get.gar} &= T / T_{kp.rap}, \\
V_{get.gar} &= V / V_{kp.rap}, \\
\rho_{get.gar} &= \rho / \rho_{kp.rap}, \\
Z_{get.gar} &= Z / Z_{kp.rap},
\end{aligned}
\tag{2.21}$$

bu ýerde garymyň psewdokritiki (ortaça kritiki) ululyklary  $g_{get.gar}$ ,  $T_{get.gar}$ ,  $V_{get.gar}$ ,  $\rho_{get.gar}$ ,  $Z_{get.gar}$  Keýanyň aditiwlik düzgüni bilen hasaplanýar:

$$\begin{aligned}
P_{kp.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i P_{kp.i}, \\
T_{kp.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i T_{kp.i}, \\
V_{kp.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i V_{kp.i}, \\
\rho_{kp.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i \rho_{kp.i}, \\
Z_{kp.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i Z_{kp.i},
\end{aligned}$$

bu ýerde  $y_i$  – gaz garymynyň  $i$ -nji komponentiniň molýar mukdary;  $P_{kp.i}$ ,  $T_{kp.i}$ ,  $V_{kp.i}$ ,  $\rho_{kp.i}$ ,  $Z_{kp.i}$  – degişlikde kritiki basyş, absolýut temperatura, molýar göwrüm, dykzlyk we aş gysylyjylyk koeffisiýenti;  $n$  – komponentleriň sany.

Kritiki basyş, absolýut temperatura, molýar göwrüm, dykzlyk we aş gysylyjylyk koeffisiýenti we beýleki ululyklar 1–2-nji tablisada görkezilen.

**Nusga.** *Getirilen dykzlygyň kritiki we aş gysylyjylyk koeffisiýenti bilen baglanyşygyny peýdalanyň, doýgun uglewodorod kondensatynyň dykzlygyny tapmaly. Suwuk uglewodorod kondensatynyň düzümi molýar mukdarda  $P=7$  MPa we  $T=399,8$  K-de berlen.*

**Çözüwi.** *Tablisa seret.*  $z_{ok}=0,28965$ ;  $T_{get}=2,05246$ ;  
 $\rho_{get}=5,13849$ ;  $\rho_{P.T}=0,864$ ;

## **2.1. Atmosfera basyşynda we dürli temperaturada gazyň şepbeşiklik koeffisiýenti kesgitlemegiň analitiki usuly**

Eger gazyň düzüminde uglewodorod däl komponentler bar bolsa, onda  $\mu_{at}$  ululygyna olaryň täsiri degişli düzedişi girizmek bilen hasaba alynýar. Gazda uglewodorod däl komponentleriň bolmagynda düzediş bahalaryny analitiki formulalar boýunça hasaplamak mümkin, alnan düzedişiň bahalary  $\mu_{at}$  ululygyndan aýrylýar

$$\mu_{N_2} = \left[ \left( 0,07132x_{N_2}^{0,5} - 0,09011 \right) \rho^{-0,25} + \left( 0,02379 - 0,01996x_{N_2}^{0,5} \right) \right] \cdot 10^{-6}$$

(2.1.1)

$$\mu_{CO_2} = \left[ \left( 0,06759x_{CO_2}^{0,5} - 0,07853 \right) \rho^{-0,25} + \left( 0,02906 - 0,03213x_{CO_2}^{0,5} \right) \right] \cdot 10^{-6}$$

(2.1.2.)

$$\mu_{H_2S} = \left[ \left( 0,09007x_{H_2S}^{0,5} - 0,12753 \right) \rho^{-0,25} + \left( 0,09674 - 0,06753x_{H_2S}^{0,5} \right) \right] \cdot 10^{-6}$$

(2.1.3)

1-nji suratdan kesgitlenen  $\mu_{get}^*$  ýalňyslygy 3-5 %.

Berlen basyşda we temperaturada dinamiki şepbeşiklik koeffisiýentini hasaplamagyň analitiki usuly.

$$\mu_{get}^* = \sum_{i=0}^4 \sum_{j=0}^4 a_{ij} P_{get}^i T_{get}^j \quad (2.1.4)$$

$a_{ij}$  koeffisiýntiniň bahasy 1-nji tablisada görkezilen

#### 4-nji formuladaky $a_{ij}$ koeffisiýentiniň bahalary

1-nji tablisa

i	j				
	0	1	2	3	4
0	0,17781	$-0,47358 \cdot 10^{-1}$	0,37594	-0,11057	$0,97366 \cdot 10^{-2}$
1	0,10415	$-0,10395 \cdot 10$	0,34607	$-0,36813 \cdot 10^{-1}$	-
2	$0,33453 \cdot 10^{-2}$	$0,301582 \cdot 10^{-1}$	$-0,19083 \cdot 10$	$0,27406 \cdot 10^{-2}$	-
3	$-0,27980 \cdot 10^{-2}$	$0,10317 \cdot 10^{-2}$	$0,20286 \cdot 10^{-3}$	$-0,67054 \cdot 10^{-4}$	-
4	$0,68869 \cdot 10^{-4}$	$-0,40429 \cdot 10^{-4}$	$0,39972 \cdot 10^{-5}$	$0,38265 \cdot 10^{-6}$	-

#### 6-nji formuladaky $a_{ij}$ koeffisiýentiniň bahalary

2-nji tablisa

i	J			
	0	1	2	3
0	-2,462118	2,970547	$-2,862640 \cdot 10^{-1}$	$8,054205 \cdot 10^{-3}$
1	2,808609	-3,498033	$3,637302 \cdot 10^{-1}$	$-1,443241 \cdot 10^{-3}$
2	$-7,933857 \cdot 10^{-1}$	1,396433	$-1,491449 \cdot 10^{-1}$	$4,410155 \cdot 10^{-3}$
3	$8,393818 \cdot 10^{-2}$	-0,186409	$2,033679 \cdot 10^{-2}$	$-6,095793 \cdot 10^{-4}$

#### 8-nji formuladaky $b_{ij}$ formuladaky $a_{ij}$ koeffisiýentiniň bahalary

3-nji tablisa

i	J		
	0	1	2
0	$1,112319 \cdot 10^{-2}$	$1,677266 \cdot 10^{-5}$	$2,113605 \cdot 10^{-9}$
1	$-1,094850 \cdot 10^{-4}$	$-6,403164 \cdot 10^{-8}$	$-8,993745 \cdot 10^{-11}$
2	$4,577352 \cdot 10^{-7}$	$2,129034 \cdot 10^{-10}$	$3,977322 \cdot 10^{-13}$

Psewdo çäk ululyklary

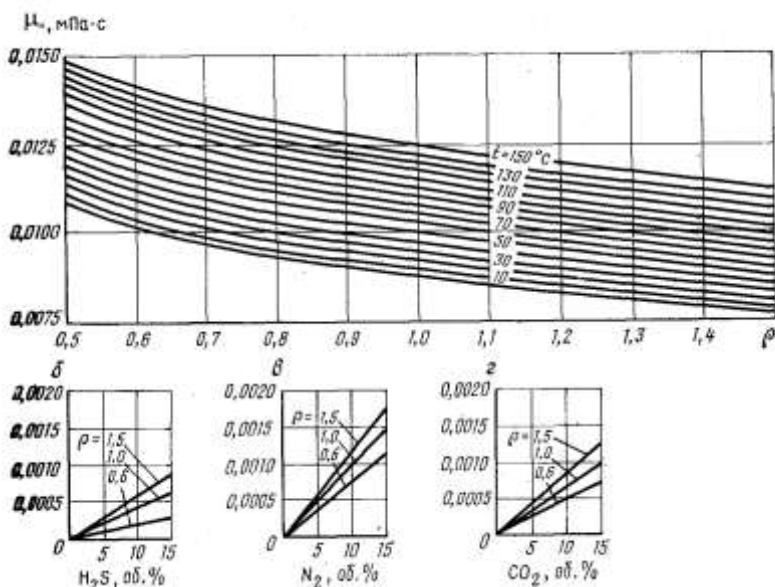
$$P_{pc} = \sum_i x_i P_{ci}; T_{pc} = \sum_{i=1}^n x_i T_{ci} \quad (2.1.5)$$

3-njy formulanyň deregine indiki aňlatmany ulanmak bolar:

$$\ln[(\mu/\mu_{at})T] = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} T_{geti} P_{getj} \quad (2.1.6)$$

Bu ýagdaýda  $\mu_{at}$

$$\mu_{at} = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 b_{ij} M_i \quad (2.1.7)$$



Sur.1. Uglewodorod gazlarynyň şepbeşikliginiň  $\mu$  howa görä otnositel dykzlylygyna (a) we  $H_2S$  (b),  $N_2$  (ç),  $CO_2$  (d) düzýän gazlaryň şepbeşikliginiň ululyklarynyň düzedişine bolan baglansygy.

4-nji tablisa

Gazyň düzümi	Komponentleriň paýy	Molekulyýar massasy, M	$\mu_i, \text{MPa}^*$	$\mu_i x_i$	$\sqrt{M_i}$	$\mu_i x \sqrt{M_i}$	$x_i \sqrt{M_i}$
CH <sub>4</sub>	0,7410	16,042	0,0123	0,00911	4,005	0,0365	2,9678
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0748	30,068	0,0104	0,00078	5,483	0,0043	0,4101
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,0337	44,094	0,0081	0,00031	6,640	0,0020	0,2238
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0076	58,120	0,0088	0,00007	7,623	0,0005	0,0579
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,0168	58,120	0,0085	0,00014	7,623	0,0010	0,1281
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0057	72,151	0,0078	0,00004	8,494	0,0003	0,0484
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,0032	72,151	0,0078	0,00002	8,494	0,0001	0,0272
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,0063	85,178	0,0072	0,00004	9,366	0,0003	0,0584
N <sub>2</sub>	0,0609	28,016	0,0197	0,00120	5,293	0,0063	0,3223
H <sub>2</sub> S	0,0200	34,082	0,0148	0,00030	5,837	0,0018	0,1167
CO <sub>2</sub>	0,0300	44,011	0,0169	0,00050	6,634	0,0033	0,1990
$\Sigma$	1,000	-	-	-	-	0,0564	4,5597

$a_{ij}$  we  $b_{ij}$  koeffitsiyentleriniň bahasy 2 we 3-nji tablisalarda getirilen formula ulanylanda getirme basyşy we temperaturany kesgitlemek üçin indiki formula peýdalanylýar

$$P_{\text{get}} = 145,1 \text{ P} / [700,55 - 47,94(M/28,97)], \quad (2.1.8)$$

$$T_{\text{get}} = [1,8T - 459,67] / [175,59 + 307,97(M/28,97)], \quad (2.1.9)$$

M – gazyň molekulýar massasy.

**Mysal 1.** Atmosfera basyşynda we 340 K temýeraturada gazyň aşakdaky düzümi üçin (%) şepbeşikligi hasaplamaly:  $\text{CH}_4$  – 74,10;  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 7,48;  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 3,37; n- $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 1,68; i- $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 0,76; i- $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 0,32; n- $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 0,57;  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  – 0,63;  $\text{N}_2$  – 6,09;  $\text{H}_2\text{S}$  – 2,00;  $\text{CO}_2$  – 3,00. Otnositel dykzylygy  $\bar{\rho} = 0,763$ .

1-nji surat boýunça  $\bar{\rho} = 0,763$  we  $T = 340 \text{ K}$ .

$$\mu_{\text{at}} = 0,0112 - 0,0005 - 0,0001 - 0,0002 = 0,0104 \text{ MPa} \cdot \text{c}.$$

**Mysal 2.** Öňki mysaldaky başlangyç maglumatlar boýunça şepbeşikligi analitiki usul bilen kesgitlemek

340 K bolanda 1-nji surat boýunça her komponentiň  $\mu_{\text{at}}$  kesgitlemeli.

Formula boýunça gazyň şepbeşikligini hasaplamaly.

Başlangyç maglumatlar we hasaplamanyň netijeleri 7-nji tablisada getirilen. Kesgitlemeli ululyk

$$\mu_{\text{at}} = 0,0564/4,5597 = 0,0124 \text{ MPa} \cdot \text{c}.$$

**Mysal 3.** 340 K bolan temperaturada  $\mu_{\text{at}}$  kesgitlemeli. Metan üçin  $M = 16,042$ ;  $\sigma = 3,808$ ;  $\varepsilon/k = 140$ ;  $\delta = 0$  1-nji tablisadan tapyp, 7-nji tablisa boýunça  $\Omega \mu_i = 1,103$ .

$$\mu_{\text{CH}_4} = \frac{0,002669 \sqrt{16,042 \cdot 340}}{3,808^2 \cdot 1,103} = 0,0123 \text{ MPa} \cdot \text{c}.$$

**Mysal 4.** Atmosfera basyşynda we 340 K temperaturada kükürtli wodorodyň şepbeşikliginiň hasaplamasy.

H<sub>2</sub>S üçin M = 34,082; σ = 3,49; ε/k = 343; δ = 0,21 taparys.

T\* = 340/343 = 0,991 we δ = 0,21 bolanda 7-nji tablisa boýunça

$$\Omega_{\mu_{iat}} = 1,6077.$$

(59) formula boýunça şepbeşikligi hasaplaýarys:

$$\mu_{H_2S} = \frac{0,002669 \sqrt{34,082 \cdot 340}}{3,49^2 \cdot 1,6077} = 0,0148 \text{ mPa}^* \text{c}.$$

**Mysal 5.** Temperatura 340 K we basyş 14,71 MPa bolanda gazyň şepbeşikligini kesgitlemek.

μ<sub>at</sub> = 0,0124 mPa\*c, P<sub>ç</sub> = 4,67 MPa; T<sub>ç</sub> = 218,4 K. P<sub>get</sub> = 14,71/4,67 = 3,15; T<sub>get</sub> = 340/218,4 = 1,56; μ\* = 1,5 berlenler üçin

$$\mu = 1,5 \cdot 0,0124 = 0,0186 \text{ mPa}^* \text{c}.$$

## 2.2. Gazyň şepbeşikligi

Şepbeşiklik, gazlaryň we suwuklyklaryň häsiýeti bolup, olaryň içki gatlaklarynyň hereket edende bir-birine görkezýän garşylygyny kesgitleýär.

Şepbeşiklik mukdar taýdan – dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti bilen häsiýetlendirilýär. Berlen basyşda we temperaturada dinamiki şepbeşikligi kesgitlemek, nebit we gaz senagatyndaky hasaplamalar üçin zerur bolup durýar.

Nýutonyň kanunyna görä suwuklygyň bir gatlagynyň

beýlekä görä otnositel hereket edende emele gelyän içki sürtülme güýji hereketiň otnositel tizligine we bu gatlaklaryň galtaşma meýdanyna göni proporsionaldyr.

Nýutonyň bu kanuny matematiki şertinde aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$F = \mu s \frac{d\omega}{dx}, \quad (2.5.1)$$

bu ýerde  $\mu$  – dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti, Pa·s;  $s$  – parallel hereket edýän gatlaklaryň meýdany,  $m^2$ ;  $d\omega/dx$  – galtaşýan gatlaklaryň meýdanlaryna perpendikulýar ugurly tizligiň gradiýenti.  $\omega$ -m/s,  $x$ -m.

Gazyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýentiniň onuň dykzlygyna bolan gatnaşygyna kinematiki şepbeşiklik koeffisiýenti diýilýär:

$$\nu = \mu / \rho, \quad (2.5.2)$$

Şepbeşikligiň birlik ölçegleri indiki tablisada görkezilen

1-nji tablisa

Birlik ölçeşleri	Kg.s/m <sup>2</sup>	Kg.sag/m <sup>2</sup>	H*S/m <sup>2</sup>	Puaz	Lbt*S/ft <sup>2</sup>
Kg.s/m <sup>2</sup>	1	2,7778*10 <sup>4</sup>	9,80066	98,0066	0,20482
Kg.sag/m <sup>2</sup>	3600	1	35304	353040	737,34
H*S/m <sup>2</sup>	0,10197	2,8325*10 <sup>5</sup>	1	10	0,020885
Puaz	0,010197	28325*10 <sup>6</sup>	0,1	1	0,0002088
Lbt*S/ft <sup>2</sup>	4,8824	1,3562*10 <sup>3</sup>	47,880	478,80	1

Çep sütüni kese setire köpeltmeli.

Getirme şepbeşikligiň  $\mu^*_{\text{get}}$  ululygy 1-nji surat boýunça kesgitlenýär.

$$\mu^*_{\text{get}} = \mu(P, T) / \mu_{\text{at}}(P_{\text{at}}, T) \quad (2.5.3)$$



bu ýerde  $\mu_{at}$  – atmosfera basyşynda  $P_{at} = 0,10$  MPa we berlen temperaturada gazyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti; indiki formula boýunça hasaplanýar

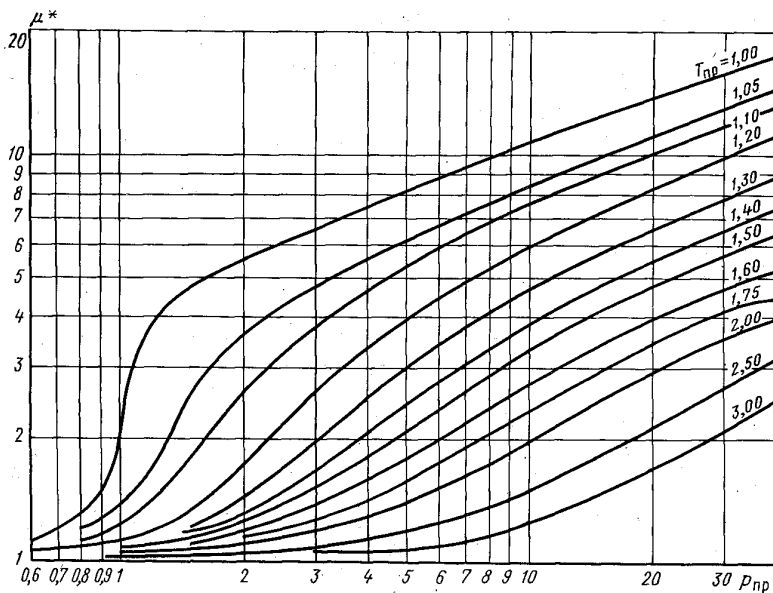
$$\mu_{at} = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i M_i^{0,5}}{\sum_{i=1}^n x_i M_i^{0,5}} \quad (2.5.4)$$

bu ýerde  $\mu_i$  – berlen temperaturada we atmosfera basyşynda  $i$  komponentiň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti.

$\mu_{at}$  ululygy görkezilen grafikden ýa-da indiki formula boýunça kesgitlenýär

$$\mu_{iat} = 0,002669 \sqrt{M_i T} / \sigma_i^2 \Omega \mu_{iat} \quad (2.5.5)$$

bu ýerde  $M_i$  –  $i$  komponentiň molekulýar massasy;  $\Omega \mu_{iat}$  – iteklemegiň integraly;  $T$  – gazyň temperaturasy;  $\sigma_i$  – potensiallaryň ululygy.

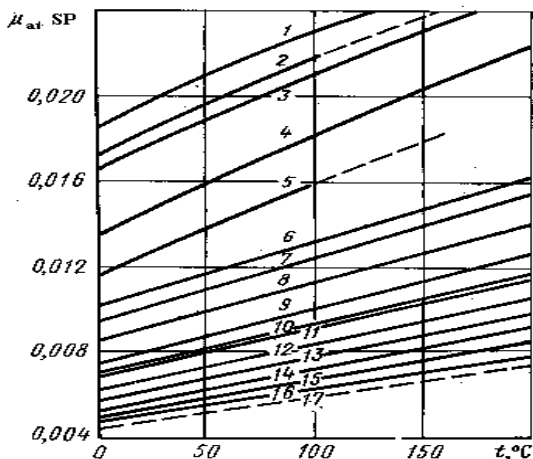


Sur.1. Getirme şepbeşikligiň  $\mu^*$  getirme basyşa we temperatura baglanşygy.

$\sigma_i$  we  $\Omega_{\mu_{iat}}$  hemişelik bahalaryny 1 we 5 tablisa boýunça tapylýar.  $\Omega_{\mu_{iat}}$  tapmak üçin ilki aşakdaky ululygy hasaplanýar

$$T_i^* = T / (\varepsilon/k)_i. \quad (2.5.6)$$

$(\varepsilon/k)$  ululygy 1-nji tablisada berlen Polýar däl komponentler üçin  $\sigma = 0$ .  $\Omega_{\mu_{iat}}$  bahasy  $T^*$  ululyga bagly 2 we 3 tablisalarda getirilen.



Sur.2. Gazlaryň şepbeşikliginiň atmosfera basyşynda temperatura bolan baglanşygy: 1-geliý; 2-howa; 3-azot; 4-kömürturşy gazy; 5-kükürtli wodorod; 6-metan; 7-etilen; 8-etan; 9-propan; 10- i-butan; 11- n-butan; 12- n-pentan; 13- n-geksan; 14- n-geptan; 15- n-oktan; 16- n-nonan; 17- n-dekan.

Polýar däl komponentler üçin itekleme integralynyň bahasy

2-nji tablisa

T*	$\Delta$							
	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
0,1	4,1005	4,2660	4,833	5,742	6,739	8,624	10,340	11,890
0,2	3,2626	3,3050	3,516	3,914	4,439	5,570	6,637	7,618
0,3	3,8399	2,8360	2,936	3,168	3,511	4,329	5,126	5,874
0,4	2,5310	2,5220	2,586	2,749	3,004	3,640	4,282	4,985
0,5	2,2837	2,2770	2,329	2,460	2,665	3,187	3,723	4,249
0,6	2,0838	2,0810	2,130	2,243	2,417	2,862	3,329	3,786
0,7	1,9220	1,9240	1,970	2,072	2,225	2,614	3,028	3,435
0,8	1,7902	1,7950	1,840	1,934	2,070	2,417	2,788	3,260
0,9	1,6823	1,6890	1,733	1,820	1,944	2,258	2,596	2,933
1,0	1,5929	1,6010	1,644	1,725	1,838	2,124	2,435	2,746
1,2	1,4551	1,4650	1,504	1,574	1,670	1,913	2,181	2,451
1,4	1,3551	1,3650	1,400	1,461	1,544	1,754	1,989	2,228
1,6	1,2800	1,2890	1,321	1,374	1,447	1,630	1,838	2,053
1,8	1,2219	1,2310	1,259	1,306	1,370	1,532	1,718	1,912
2,0	1,1757	1,1840	1,209	1,251	1,307	1,451	1,618	1,715
2,5	10,0933	1,1000	1,119	1,150	1,193	1,304	1,435	1,578
3,0	1,0388	1,0440	1,059	1,083	1,117	1,204	1,310	1,428

3,5	0,9986	1,0040	10,016	1,035	1,062	1,133	1,220	1,319
4,0	0,9699	0,9732	0,9830	0,9991	1,021	1,079	1,153	1,236
5,0	0,9268	0,9291	0,9360	0,9473	0,9628	1,005	1,058	1,121
6,0	0,8917	0,8979	0,9030	0,9114	0,9230	0,9545	0,9955	1,044
7,0	0,8727	0,8741	0,8780	0,8845	0,8935	0,9181	0,9505	0,989
8,0	0,8538	0,8549	0,8580	0,8632	0,8703	0,8901	0,9164	0,948
9,0	0,8379	0,8338	0,8414	0,8456	0,8515	0,8678	0,8895	0,916
10,0	0,8243	0,8251	0,8273	0,8308	0,8356	0,8493	0,8676	0,890
12,0	0,8018	0,8024	0,8039	0,8065	0,8101	0,8201	0,8337	0,850
14,0	0,7836	0,7840	0,7852	0,7872	0,7899	0,7976	0,8081	0,821
16,0	0,7683	0,7687	0,7696	0,7712	0,7790	0,7730	0,7878	0,798
18,0	0,7552	0,7554	0,7562	0,7575	0,7592	0,7642	0,7711	0,780
20,0	0,7346	0,7435	0,7445	0,7455	0,7470	0,7512	0,7569	0,764
25,0	0,7198	0,7200	0,7204	0,7211	0,7221	0,7250	0,7289	0,734
30,0	0,7010	0,7011	0,7014	0,7019	0,7026	0,7047	0,7076	0,711
35,0	0,6854	0,6855	0,6858	0,6861	0,6867	0,6883	0,6905	0,693
40,0	0,6723	0,6724	0,6726	0,6728	0,6733	0,6745	0,6762	0,678
50,0	0,6510	0,6510	0,6512	0,6513	0,6516	0,6524	0,6534	0,655
75,0	0,6140	0,6241	0,6143	0,6145	0,6147	0,6148	0,6148	0,615
100	0,5887	0,5889	0,5894	0,5900	0,5903	0,5901	0,5895	0,588

3-nji tablisa

$\Omega_{\mu_{iat}}$  Polýar komponentler üçin dürli  $T^*$  -da itekleme integralynyň bahasy

$T^*$	$\Omega_{\mu_{iat}}$	$T^*$	$\Omega_{\mu_{iat}}$	$T^*$	$\Omega_{\mu_{iat}}$	$T^*$	$\Omega_{\mu_{iat}}$
0,30	2,785	1,35	1,375	2,80	1,058	4,90	0,930
0,35	2,628	1,40	1,353	2,90	1,048	5,00	0,927
0,40	2,492	1,45	1,333	3,00	1,039	6,00	0,896
0,45	2,368	1,50	1,314	3,10	1,030	7,00	0,877
0,50	2,257	1,55	1,296	3,20	1,022	8,00	0,854
0,55	2,156	1,60	1,279	3,30	1,014	9,00	0,838
0,60	2,065	1,65	1,264	3,40	1,007	10,0	0,824
0,65	1,982	1,70	1,248	3,50	0,999	20,0	0,743
0,70	1,908	1,75	1,234	3,60	0,993	30,0	0,700
0,75	1,841	1,80	1,221	3,70	0,987	40,0	0,672
0,80	1,780	1,85	1,209	3,80	0,981	50,0	0,650
0,85	1,725	1,90	1,197	3,90	0,975	60,0	0,633
0,90	1,675	1,95	1,186	4,00	0,970	70,0	0,619
0,95	1,629	2,00	1,175	4,10	0,965	80,0	0,608
1,00	1,587	2,10	1,156	4,20	0,960	90,0	0,597

1,05	1,549	2,20	1,138	4,30	0,955	100,0	0,588
1,10	1,514	2,30	1,122	4,40	0,951	200,0	0,532
1,15	1,482	2,40	1,107	4,50	0,946	300,0	0,502
1,20	1,452	2,50	1,093	4,60	0,943	400,0	0,481
1,25	1,424	2,60	1,081	4,70	0,938	-	-
1,30	1,399	2,70	1,069	4,80	0,934	-	-

**Nusga.** 25 °S we 0,1 MPa-da metanyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti  $12,08 \cdot 10^{-6}$  Pa·s-deň. Metanyň knimatiki şepbeşiklik koeffisiýentini tapmaly. Berlen temperaturada we basyşda metanyň dykzylygy  $0,657 \text{ kg/m}^3$ .

**Çözüwi:**  $v = 12,08 \cdot 10^{-6} / 0,657 = 0,000184 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Tebigy gazyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti getirilen ululyklaryň kömegi bilen takyklamak bolýar. Düzümi belli bolmadyk tebigy gazlaryň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti 5 MPa-dan pes bolan basyşlarda aşakdaky şepbeşikligiň getirilen basyşa görä korrelýasion baglansygy bilen tapmak bolýar:

$$\begin{aligned} [(\mu - \mu_0) \varepsilon 10^{-4}]^{1/4} = & 0,0610230 + 0,06023364 \rho_{ret} + 0,058533 \rho_{ret}^2 \\ & - 0,040758 \rho_{ret}^3 + 0,0093324 \rho_{ret}^4 \end{aligned} \quad (2.5.7)$$

bu ýerde  $0,1 < P_{ret} < 3,0 \text{ MPa}$ ,  $\mu_0$  – tebigy gaza degişilikde  $P$  we  $P_0 = 0,1013 \text{ MPa}$  basyşlardaky we berlen temperaturadaky dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti (mPa·s)

$$\varepsilon = T_{ret}^{1/6} (M^{1/2} P_{ret}^{2/3}), \quad (2.5.8)$$

ýokary basyşlarda ( $P > 5 \text{ MPa}$ ) gazyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti aşakdaky baglansykdan tapylyp bilner:

$$(\mu - \mu_0) \varepsilon = 10,8 \cdot 10^{-5} (\exp(1,439 \rho_{ret}) - \exp(-1,111 \rho_{ret}^{1,858})) \quad (2.5.9)$$

Atmosfera basyşynda we berlen temperaturada tebigy gazlaryň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti aşakdaky formula bilen hasaplap bolýar:

$$\mu_{T,Pat} = 0,0101 T^{1/8} - 1,07 \cdot 10^{-3} M_{rap}^{1/2}, \quad (2.5.10)$$

$$\text{ýa-da} \quad \mu_0 = 0,0101 T^{1/8} - 5,76 \cdot 10^{-3} \Delta_{rap}^{1/2}, \quad (2.5.11)$$

(2.5.10) we (2.5.11) formulalar bilen getirilen hasaplamalaryň  $12 < M_{can} < 100$  we  $283 < T < 277 \text{ K}$  aralykdaky ýalňyşlygy 5%-den geçmeýär.

**Nusga.** Aşakdaky şertlerde gaz kondensatly garymyň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýentini hasaplamaly:  $P = 35 \text{ MPa}$ ;

$$T=409 \text{ K}; \Delta_{rap}=0,46;$$

$$P_{ret}=P/P_{kp}=350/47,25=7,41,$$

$$T_{ret}=T/T_{kp}=409/194,79=2,1,$$

$$\varepsilon=194,79^{1/6}(16,42^{1/2}\cdot 47,25^{2/3})=0,045,$$

$$\mu_0=0,0101\cdot 136^{1/8}-0,00576\cdot 0,46^{1/2}=0,016 \text{ mPa s},$$

$$\mu=0,016+10,8\cdot 10^{-5}/0,045\cdot \exp(1,439\cdot 0,733)-\exp(-1,111\cdot 0,733^{1,858})=0,022 \text{ mPa s},$$

Köp sanly gazkondensatly ojaklaryň uglewodorod kondensatlaryň dinamiki şepbeşiklik koeffisiýenti berlen basyşlarda we temperaturada takmynan A.A Mutalibowýň, W.W. Şuiniň we A.N. Abdurahmanowýň emperiki formulasy bilen hasaplamak mümkin:

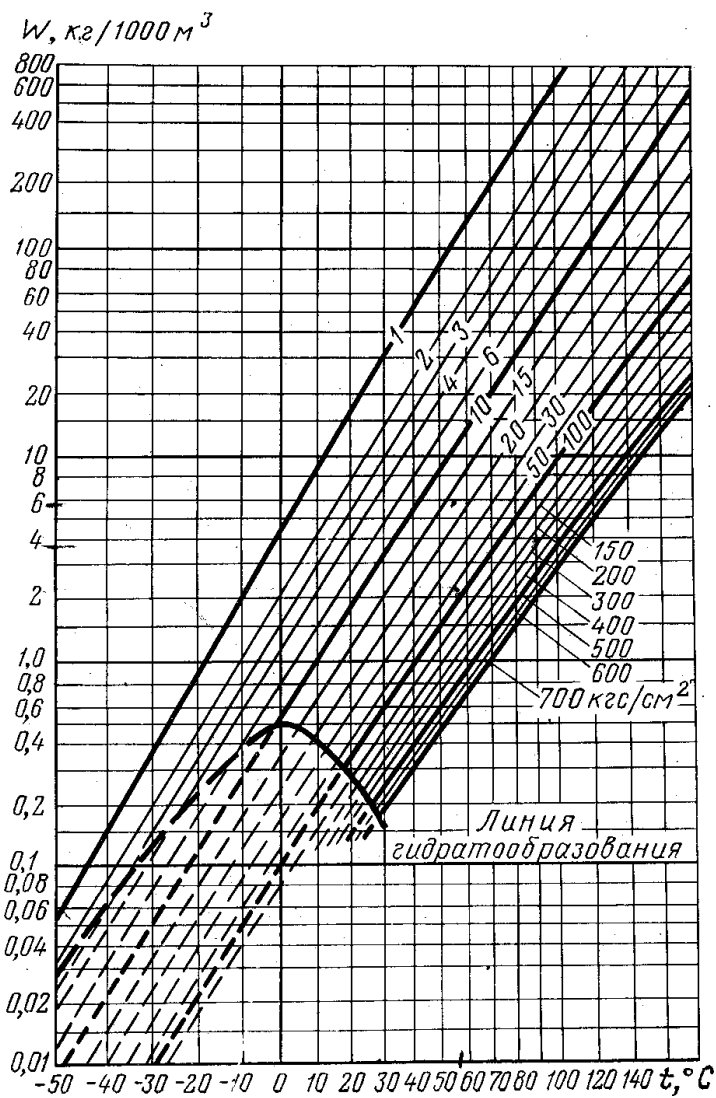
$$\mu_k = \left( \frac{100}{t} \right)^{3/4} \left( 0.34 + 4 \cdot 10^{-4} \frac{P}{P_{st}} \right), \quad (2.5.12)$$

(2.5.12) formula  $30 < T < 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $0,1 < P < 50,0 \text{ MPa}$  aralyklar üçin ýazylandyr.

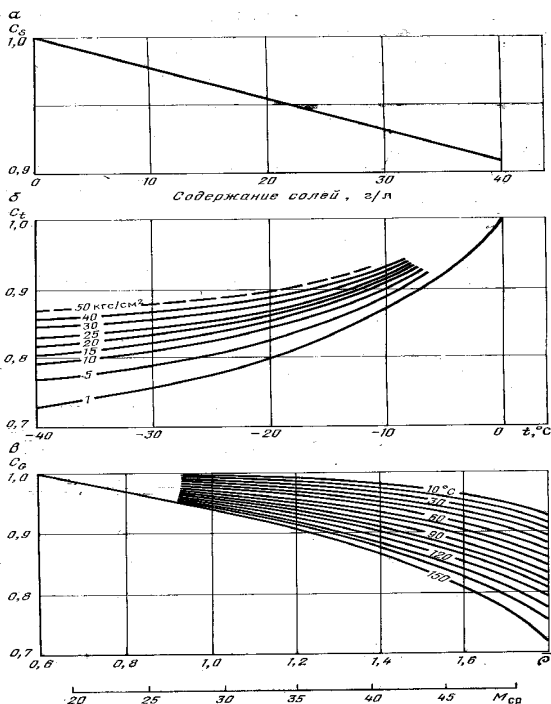
### 2.3. Gazyň çyglylygy

Çyglylyk – bu berlen şertdäki tebigy gazyň birlik göwrümünde ergin suw buglarynyň mukdary. Gazdaky suw buglarynyň düzümi absolýut we otnositel çyglylyk bilen häsiýetlendirilýär. Berlen basyşda we temperaturada gazyň absolýut çyglylygy diýip, gazyň düzümindäki suw bugunyň massasynyň suw buglary aýrylan standart şerti getirilen gazyň göwrümüne bolan gatnaşygyna aýdylýar. Absolýut çyglylyk  $\text{kg}/1000 \text{ m}^3$  ölçeýär. Otnositel çyglylyk – bu berlen basyşda we temperaturada gazyň birlik göwrümindäki suw buglarynyň hakyky düzüminiň onuň çyglylyk sygymyna, ýagny şol bir şertinde şol göwrümde suw buglarynyň mukdaryna bolan gatnaşygydyr. Otnositel çyglylyk paý birliginde ýa-da göterim hasabynda ölçeýär.





Sur.1. Otnositel dykyzlygy  $\bar{\rho} = 0,6$  bolan tebigy gazyň çyglylygynyň basyşa we temperatura baglanşygy.



Sur.2. Gazyň çyglylygyna düzediş koeffisiýentleriniň gazyň düzümine (a), temperatura (b) we odnositel dykzyzlyga  $\bar{\rho}$  (ýa-da molekulýar massasyna M) (ç) bolan baglanşygy.

$W_{0,6}$  ululygy 1-nji suratda görkezilen grafik baglanşygy approksimirmek arkaly alnan formula boýunça hasaplamak bolar:

$$W_{0,6} = A/P + B,$$

(2.2.1)

bu ýerde A – ideal gazyň çyglylygy; B – gazyň düzümine bagly koeffisiýenti; P – basyş.

A we B koeffisiýentleri analitiki ýoly bilen kesgitlemek bolar.

(2) formuladaky A we B koeffisiýentleriň bahasy)

1-nji tablisa

T, K	A	B	T, K	A	B	T, K	A	B
233	0,1451	0,00347	281	8,20	0,0630	329	120,0	0,487
235	0,1780	0,00402	283	9,39	0,0696	331	138,0	0,521
237	0,2189	0,00465	285	10,72	0,0767	333	152,0	0,562
239	0,2670	0,00538	287	12,39	0,0855	335	166,5	0,599
241	0,3235	0,00623	289	13,94	0,0930	337	183,3	0,645
243	0,3930	0,00710	291	15,75	0,1020	339	200,5	0,691
245	0,4715	0,00806	293	17,87	0,1120	341	219,0	0,741
247	0,5660	0,00921	295	20,15	0,1227	343	238,5	0,793
249	0,6775	0,01043	297	22,80	0,1343	345	260,0	0,841
251	0,8090	0,01168	299	25,50	0,1453	347	283,0	0,902
253	0,9600	0,01340	301	28,70	0,1595	349	306,0	0,965
255	1,1440	0,01510	303	32,30	0,1740	351	335,0	1,023
257	1,3500	0,01705	305	36,10	0,1895	353	363,0	1,083
259	1,5900	0,01927	307	40,50	0,2070	355	394,0	1,148
261	1,8680	0,02115	309	45,20	0,2240	357	427,0	1,205
263	2,1880	0,02290	311	50,80	0,2420	359	462,0	1,250
265	2,5500	0,02710	313	56,25	0,2630	361	501,0	1,290
267	2,9900	0,03035	315	62,70	0,2850	363	537,5	1,327

T, K	A	B	T, K	A	B	T, K	A	B
269	3,4800	0,03380	317	69,25	0,3100	365	582,5	1,367
271	4,0300	0,03770	319	76,70	0,3350	367	624,0	1,405
273	4,6700	0,04180	321	85,29	0,3630	369	672,0	1,445
275	5,4000	0,04640	323	94,99	0,3910	371	725,0	1,487
277	6,2250	0,05150	325	103,00	0,4220	373	776,0	1,530
279	7,1500	0,05710	327	114,00	0,4540	383	1093,0	2,620

A ululygy indiki formula boýunça kesgitlemek mümkin

$$A = \frac{P_{d.b}^M H_2 O^{P_{at}}}{RT_{st} Z_{at}} \quad (2.2.3)$$

bu ýerde  $P_{d.b}$  – tablisa maglumatlary boýunça kesgitlenýän kondensirlenen fazalaryň üstündäki doýgun suw buglarynyň basyşy. Bu dürli temperatura üçin 2-nji tablisada görkezilen ýada  $203 \leq T \leq 373$  K bolanda takmynan indiki formula boýunça hasaplanýar

$$P_{db} = \exp[-0,60212(0,017)^4 + 1,475(0,017)^3 - 2,97304(0,017)^2 + 7,19863(0,017) + 6,41465] \quad (2.2.4)$$

$373 \leq T \leq 623$  K bolanda

$$P_{db} = \exp[-0,0366(0,017)^4 + 0,4375(0,017)^3 - 2,2148(0,017)^2 + 6,8574(0,017) + 6,4856]. \quad (2.2.5)$$

### Temperatura görä $P_{d.b}$ bahasy

2-nji tablisa

T, K	$P_{d.b}$ , MPa	T, K	$P_{d.b}$ , MPa	T, K	$P_{d.b}$ , MPa
233	0,000013	283	0,00126	333	0,02057
238	0,000023	288	0,00176	338	0,02582
243	0,000038	293	0,00241	343	0,03219
248	0,000065	298	0,00327	348	0,03982
253	0,000106	303	0,00441	353	0,04892
258	0,000170	308	0,00580	358	0,05971
263	0,000268	313	0,00762	363	0,07242
268	0,000496	318	0,00989	368	0,08731
273	0,000628	323	0,01274	373	0,10466
278	0,000902	328	0,01625	383	0,14799

B koeffisiýentiň bahasyny indiki formula boýunça takmynan

kesgitlemek mümkin

$$B = 10^{-3} \exp[0,0685(0,017)^4 - 0,3798(0,017)^3 + 1,06606(0,017)^2 - 2,00075(0,017) + 4,2216], \quad (2.2.6)$$

bu ýerde  $T$  – temperatura,  $^{\circ}\text{C}$ .

$W_{0,6}$  bahasyny 1-nji tablisada getirilen  $A$  we  $B$  boýunça maglumatlary gaýtadan işlemek arkaly alynan formula boýunça hasaplamak bolar:

$$W_{0,6} = 0,4736 \exp(0,0735T - 0,00027T^2) + 0,0418 \exp(0,054T - 0,0002T^2). \quad (2.2.7)$$

Uly göwrümlü hasaplamalar EHM-de geçirilende 2-nji suratda görkezilen (a we b) düzedişleriň egrisini approksirlenýär

$$C_d = 1 - 0,225 \cdot 10^{-5} K, \quad (2.2.8)$$

$$C_p = 10^{-7}T^2 - 1,1 \cdot 10^{-3}T - 0,079 \bar{\rho}^2 + 0,73 \cdot 10^{-3}T + 0,156 \bar{\rho} + 0,927, \quad (2.2.9)$$

bu ýerde  $K$  – suwlaryň duzlylygy,  $\text{kg/m}^3$ ;  $T$  – temperatura,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\bar{\rho}$  - gazyň otnositel dykzylygy.

Gazyň çyglylygyny kesgitlemegiň ýokarda görkezilen grafiki we sanama usullary tursy komponentleriň bolmagyny hasaba almaýar. Gazda  $\text{CO}_2$  we  $\text{H}_2\text{S}$  bolmagy gazyň çyglylygyny ýokarlandyrýar,  $\text{N}_2$  bolsa peseldýar.

Gazda 2 %-e çenli kükürtli wodorodyň bolmagynda çyglylygy indiki usul boýunça kesgitlemek mümkin:

suwlaryň ýaýrama koeffisiýenti hasaplanýar

$$K = \frac{P_{db}}{P} \frac{(f_s)_{H_2O} / P_{db}}{(f_s^*)_{H_2O} / P} \left[ \frac{P}{P_{db}} \right]^{0.0049} \quad (2.2.10)$$

bu ýerde  $f_s$ ,  $f_{s^*}$  - Pd.b we P basyşda, berlen temperaturada suw buglarynyň açaçanlygy.

Bu ululyklar 3-4-nji suratlarda görkezilen grafiklerden kesgitlenýär. Otnositel dykzlygy  $\bar{\rho} = 0,6$  bolan gazyň çyglylygy

$$W_{0,6} = K[f_s/f]^z, \quad (2.2.11)$$

bu ýerde  $f$  - getirme basyşa we temperatura bagly 4-nji suratda görkezilen grafikden kesgitlenýän, suw buglary bolmadyk tebigy gazlaryň uçgunlygy;  $Z$  – gazdaky turşy komponentleri hasaba almak bilen kesgitlenen aş gysyjylyk koeffisiýenti.

Eger gazda kükürtli wodorodyň düzümi 20.%-den ýokarlansa, onda çyglylygy gazda kükürtli wodorodyň barlygyny hasaba alýan additiwlik düzgüni boýunça kesgitlenýär.

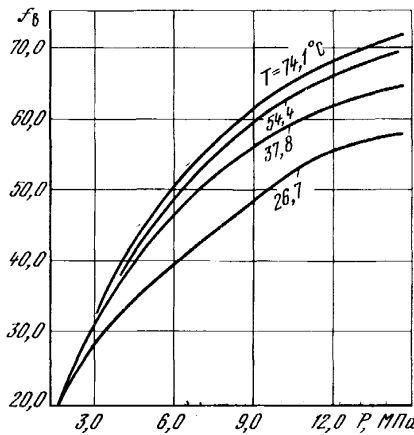
$$W_{0,6} = xW + x_{CO_2} W_{CO_2} + x_{H_2S} W_{H_2S}, \quad (2.2.12)$$

bu ýerde  $x, x_{CO_2}, x_{H_2S}$  - gazdaky uglewodorod

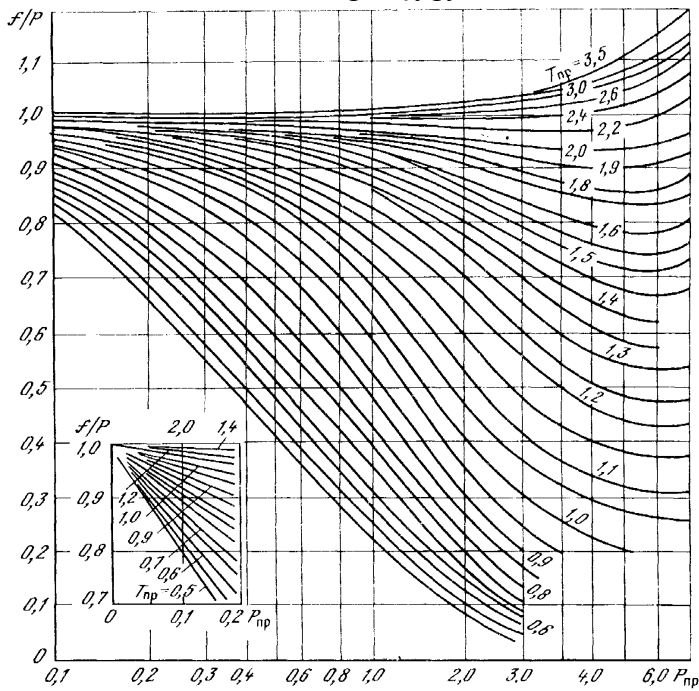
komponentleriniň, kömürturşy gazlaryň we kükürtli wodorodyň mol paýy;  $W, W_{CO_2}, W_{H_2S}$  - gazyň

uglewodorodly çyglylygynyň düzümi.

$W, W_{CO_2}, W_{H_2S}$  bahalary 1, 5 we 6 suratdaky grafiklerden kesgitlenýär.

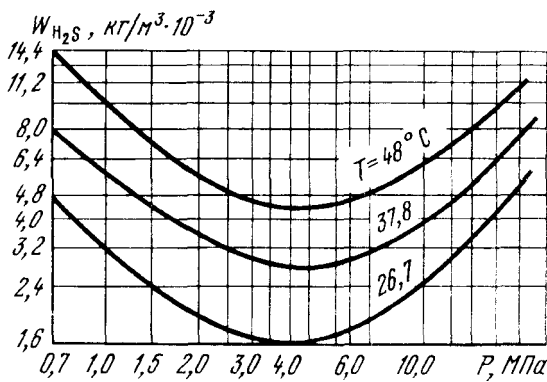
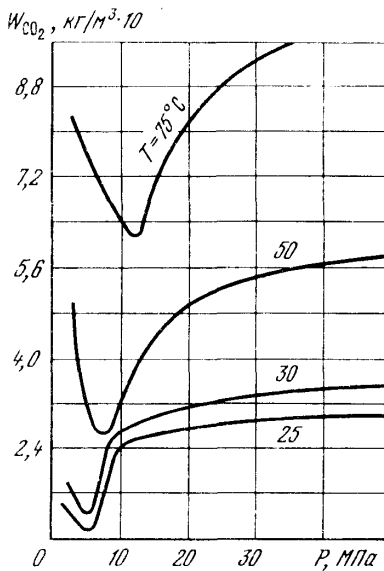


Sur.3. Suw buglarynyň uçgunlyk koeffisiýentiniň  $f_s$  basyşa bolan baglanşygy.



Sur.4. Tebigy gazyň uçgunlygynyň getirme basyşa we temperatura bolan baglanşygy.





Sur.5. K  m  rtur  y gazyny     yglylygyny    $W_{CO_2}$  basy  a we temperatura bolan baglan  ygy. K  k  rtli wodorody  n   yglylygyny    $W_{H_2S}$  basy  a we temperatura bolan baglan  ygy.

Glikol erginleri bilen indiki formula boýunça kesgitlemek bolar

$$W = 7,752 P_{db}^{gl} \left[ \frac{100}{P_{kr}} + 0,00913 \exp(0,00007 T_{kr}^2 - 0,0195 T_{kr}) \right] \quad (2.2.13)$$

bu ýerde  $P_{db}^{gl}$  – glikol erginiň üstündäki suw bugunyň maýyşgaklygy,  $\kappa Pa$ ;  $P_{kr}$  – gaz-glikol çäginin basyşy,  $\kappa Pa$ ;  $T_{kr}$  – çägiň temperaturasy,  $K$ .

$P_{db}^{gl}$  bahasy şu formuladan kesgitlenýär

$$P_{db}^{gl} = 0,129 P_{db} \gamma_{H_2O} x_{H_2O} \quad (2.2.14)$$

bu ýerde  $P_{db}$  – 2-nji tablisada getirilen maglumat boýunça ýa-da hasaplama arkaly kesgitlenýän berlen temperaturadaky suw bugunyň maýyşgaklygy.

$P_{db}$  ululygy indiki formula boýunça kesgitlenýär

$$P_{db} = 4,579 \exp(0,735 T_{kr}(T_{kr} - 273) - 0,00027 T_{kr}(T_{kr} - 273)^2). \quad (2.2.15)$$

Suwuň işjeňlik koeffisiýenti  $\gamma_{H_2O}$

$$\gamma_{H_2O} = \exp \left\{ -2,303 / \left[ \left( m \frac{x}{1-x} + n \right)^2 (T_{kr} - 273) \right] \right\} \quad (2.2.16)$$

DEG üçin  $m = 0,0245$ ;  $n = 0,173$ ; ÜEG üçin  $m = 0,0187$  we  $n = 0,111$ . Ergindäki suwuň mol paýy  $x_{H_2O}$  suwlaryň

massalaýyn paýy we glikol molekulýar massasy belli bolanda indiki formula boýunça kesgitlenýär

$$x_{H_2O} = (g/M_{H_2O}) / (g/M_{H_2O} + g/M_{gl}), \quad (2.2.17)$$

bu ýerde  $M_{gl}$  – glikolyň molekulýar massasy.

DEG üçin  $M_{gl} = 106,12$ , ÜEG üçin  $M_{gl} = 150,18$ ;  $g$  – glikolyň suwly ergininiň massasy, kg.

**Mysal.** Basyş  $P = 9,8$  MPa we temperatura 333 K bolanda 10 %-ni duz düzýän suw bilen galtaşýan 0,7 otnositel dykzlykly gazyň çyglylygyny kesgitlemeli..

$P = 9,8$  MPa we  $T = 333$  K bolanda 1-nji surat boýunça  $W_{0,6}$  kesgitleäris:

$$W_{0,6} = 2,1 \text{ kg/1000 m}^3.$$

$T = 333$  K bolanda 1-nji tablisa boýunça  $A = 15,2$ ,  $B = 0,562$  taparys:

$$W_{0,6} = \frac{15,2}{9,80} \cdot 0,562 = 0,881 \text{ kg/1000 m}^3.$$

$\bar{\rho} = 0,7$  üçin  $C_p = 0,98$  duzlylyga düzedişi  $C_d = 0,93$  kesgitleňýär. Tapmaly çyglylygy indiki deň bolar.

$$W = 0,881 \cdot 0,98 \cdot 0,93 = 0,805 \text{ kg/1000 m}^3.$$

## 2.4. Gazyň ýylylyk sygymy

Gazyň ýylylyk sygymy diýip ony kesgitli termodinamiki prosese getirilen ýylylygyň gaza laýyklykdaky üýtgän temperaturasyna bolan gatnaşygyna aýdylýar. Ýagny berlen jisimiň temperaturasyny 1 °C ýokarlandyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryna ýylylyk sygymy diýilýär.

Ýylylyk sygymyň gazyň birlik mukdaryna bolan gatnaşygyna udel (massa ýa-da molýar) ýylylyk sygymy diýilýär.

Udel ýylylyk sygymynyň ölçeg birlikleri: J/kg\*°C; kkal/kg\*°C; kal/r\*°C; (1 kal/r\*°C = 4,1868 J/kg\*°C) ýa-da gazyň bir moluna bolan gatnaşygy boýunça J/mol\*°C; kkal/mol\*°C.

Hasaplamalar üçin hemişelik basyşda, massa ýa-da molýar ýylylyk sygymy ulanylýar.  $C_p$  (izobar ýylylyk sygymy).

T we P bolanda gazyň izobar ýylylyk sygymy indiki formuladan kesgitlenýär

$$C_p = C_p^o + \Delta C_p$$

(2.3.1)

bu ýerde  $C_p^o$  – atmosfera basyşynda we berlen temperaturada izobar ýylylyk sygymy, kkal/kg\*°C;  $\Delta C_p$  – basyşa düşediş, kkal/kg\*°C.

$C_p^o$  ululygy düzümi belli tebigy gaz üçin indiki ýaly kesgitleýär

$$C_{p.gar}^o = \sum_{i=1}^n g_i C_{p,i}^o \quad (2.3.2)$$

bu ýerde  $C_{p,i}^o$  – T we atmosfera basyşynda i-komponentiň izobar ýylylyk sygymy, kkal/kmol\*°C ýa-da kkal/kg\*°C;  $g_i$  – i-komponentiň massa paýy

$$C_{p,i}^o = E_i + nF_i + n^2G_i + n^3H_i + \frac{N_i}{n}, \quad (2.3.3)$$

bu ýerde  $E_i$ ,  $F_i$ ,  $G_i$ ,  $H_i$ ,  $N_i$  – 1.11.15 tablisa boýunça her komponent üçin kesgitlenýän koeffisiýentleri,  $n = T/100$ ; T – temperatura, K.

Iki parametr boýunça  $\Delta C_p$  kesgitlemek üçin suratda görkezilen grafik ulanylýar.

## 2.5. Gazy drosselirmek Joul-Tomsonyň koeffisiýenti

Gazyň adiabatiki giňelmegi netijesinde onuň temperaturasynyň üýtgemeginde basyşyň üýtgemegine bolan gatnaşygyna drossel effekti ýa-da Joul-Tomsonyň effekti diýilýär.

Material jisimiň energetiki izolirlenen sistemasynda bolup geýän, şeýle-de gurşayan sredanyň we arasyndaky işi ýa-da ýylylyk çalyşmazdan ýüze çykýan prosese adiabatiki diýilýär.

Basyş 1 kg\*g/m<sup>2</sup> üýtgemeginde temperaturanyň üýtgemegine Joul-Tomsonyň koeffisiýenti diýilýär.

Joul-Tomsonyň koeffisiýenti tebigy gazlar üçin indiki aňlatmadan kesgitlenýär.

$$D_i = \frac{T_{cak} f(D_i)}{P_{cak} C_p},$$

bu ýerde  $f(D_i)$  suratda görkezilen grafik boýunça kesgitlenýän funksiýa, kkal/kg\* $^{\circ}$ C.

Drosselirlmek – drosselden geçende gazyň giňelmesi – ýerli gidrawliki garşylyk (wentil, kran, turbagecirijileriň daralmagy we ş.m.), temperaturanyň üýtgemegi bilen bir wagtda ýüze çykýar.

Real tebigy gaz drosselirlmek hadysasynda onuň ştuserden, zadwižkadan, basyş sazlaýjydan, kesiji-klapandan geçen hereketinde gazyň temperaturasy kiçelýär.

Izoentalpiýa giňelmesinde gazlaryň we temperaturanyň üýtgemegine Joul-Tomsonyň effekti diýilýär, i bolsa, köplenç Joul-Tomsonyň koeffisiýenti diýilýär

$$\varepsilon_i = (\partial T / \partial P)_i = [T(\partial V / \partial T)_p - V] / C_p$$

Gazyň galan göwrümi  $V_o$  ideal ( $RT/P$ ) we real  $g(V)$  gazlaryň göwrümleriniň arasynda tapawut bar

$$V_o = RT/P - V$$

bu ýerde  $V_o = f(P, T)$ .

Ýokarky deňlemäni  $P = \text{const}$  bolanda  $T$  boýunça differensirläp indiki baglanşygy alarys

$$\varepsilon_i = [V_o - T(\partial V_o / \partial T)_p] / C_p$$

ýa-da

$$\varepsilon_i = \frac{T_{cak} f(P_{get}, T_{get})}{P_{cak} C_p}$$

bu ýerde

$$f(P_{get}, T_{get}) = 1,14[V_{oget} - T_{get}(\partial V_{oget} / \partial T_{get})_{P_{get}}],$$

$$V_{oget} = V_o / V_{oçäk}$$

$f(P_{get}, T_{get})$  funksiýanyň bahasyny surat boýunça kesgitlemek mümkin ýa-da 7 %-den az ýalňyslygy bilen I.M.Guhmanyň we T.B.Nagarewiň korrelýasion baglanşygy boýunça hasaplanýar.

$$1,6 \leq T_{get} \leq 2,1 \text{ we } 0,8 \leq P_{get} \leq 3,5 \text{ bolanda}$$

$$f(P_{\text{get}}, T_{\text{get}}) = 2,343T_{\text{get}}^{-2,04} - 0,071 (P_{\text{get}} - 0,8)$$

Real təbiiy gazlar üçün Joule-Tomsonun koeffisiyentini (110) formuladan həm başqaça qazın aşağı gysylyk koeffisiyentiniñ üstü bilən aňladyp bolýar:

$$\varepsilon_i = \frac{AmRT^2}{C_p P} \left( \frac{\partial Z}{\partial T} \right)_p,$$

$(\partial Z/\partial T)$ , real təbiiy gazlaryñ ýagdaý deňlemesinden kesgitlemek mümkin, meselem Penga-Robinsonun ýagdaý deňlemesinden

$$\left( \frac{\partial Z}{\partial T} \right)_p = \frac{BZ^2 - \left[ 6B^2 + 2B - 2A - \frac{Am}{\alpha} \left( \frac{T}{T_{\text{cak}}} \right)^{1/2} \cdot Z + 3B^3 + 2B^2 - 3AB - \frac{ABm}{\alpha} \left( \frac{T}{T_{\text{cak}}} \right)^{1/2} \right]}{T[3Z^2 + 2(B-1)Z - 3B^2 - 2B + A]}$$

Eger  $(Z/T)_p \rightarrow 0$ , onda gaz drosselirleme hadysasynda sowayan bolsa, gaz giňelme hadysasynda gyzýar. Şeýle bolanda inwersiýa nokadyny alarys. Köplenç ýagdaýda gaz drosselirme hadysasynda sowayan, suwuklyk bolsa, gyzýar.

Drosselirmek hadysasynda qazın ahyrky temperaturasyny indiki formula boýunça kesgitlemek mümkin

$$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = \frac{3,57P_{\text{get}}^{1/4}}{\bar{C}_p T_{\text{get}1}} \left[ 0,05 \cdot 10^{-3} \ln \frac{P_1}{P_2} + 0,29 \cdot 10^{-7} (P_1^2 - P_2^2) - 209 \cdot 10^{-7} (P_1 - P_2) \right]$$

Bu ýerde  $\tilde{P}_{\text{get}} = (P_1 + P_2) / 2 \cdot P_{\text{cak}}$ ;  $T_{\text{get}1} = T_1 / T_{\text{cak}}$

$$\bar{C}_p = \bar{C}_p(\tilde{P}_{\text{get}}, T_{\text{get}1}).$$

Təbiiy gazlar üçün Joule-Tomsonun koeffisiyentiniñ ortaça bahasy qazın düzümine, basyşyñ düşmegine we qazın başlangyç temperaturasyna baglylykda 2-den 4 K/MPa çenli üýtgeýär. Nebit üçin 0,4-den 0,6 K/MPa çenli üýtgeýär, suw üçin 0,235 K/MPa deňdir.

### III. FAZA GECMEĞİN TERMODINAMİKASYNŲ ANYKLANYLYŞY WE ESASY DÜŞÜNJELERI

#### 3.1. Termodinamiki sistema we onuň häsiýetleri.

##### Ýagdaý görkezijileri

Suwuklyklaryň we gazlaryň, olaryň garyndylarynyň ýylylyk fiziki häsiýetlerini kesgitlemegiň köp usullary, şonuň ýaly hem faza öwrülişikleriniň fiziki häsiýetleriniň we jisimiň agressiw ýagdaýlaryny derňemegiň termodinamiki usullarynyň ulanylmagyna esaslanandyr.

**Termodinamiki usul** özara baglanyşykly maddalaryň sistemasynyň, sistemadaky bolup geçýän energiýalar öwrülişiginiň mukdarlaýyn baglanyşygyny we şertlerini derňelip öwrenmeklikden durýar. Bu usul termodinamiki sistemasyny derňemek üçin ulanylýar. **Termodinamiki sistema** kesgitlenen çakli gutarnykly ölçeglere eýe bolan öz aralygynda we gurşap alýan sreda (massa we iş görnüşli energiýa we ýyllylyk görnüşli çalyşyklar) bilen özara täsire girmäge ukyply makroskopiki obýektleriň jemi (material jisimler we meýdanlar). Çäkler sistemasyny düzýän bölekler bolmaýar, emma onuň daşyndakylara daşky sreda (gurşap alýan) diýilýär.

Eger-de sistema gurşap alýan sreda bilen özara täsirleşmese, onda oňa **izolirlenen** sreda, eger-de onuň massasy üýtgemeyän bolsa, onda oňa ýapyk sreda diýilýär. Sistema izolirlenen bolsa-da, onuň aýratyn bölekleri öz aralarynda täsirleşip bilýärler ýapyk sistema bolanda, onuň aýratyn bölekleriniň massasy üýtgemegi mümkin (meselem, bugsuwuklyk deňagramlylyk ýagdaýda fazalaryň - arasyndaky massa çalyşgy).

Arasynda üst bölünişigi bolman düzümi we häsiýeti bilen tapawutlanýan mikroskopik bölekler **gomogen termodinamiki sistema** diýilýär. Gomogen sistema (üçin sistemanyň ähli göwrümi boýunça häsiýetleriň hemişeliligi ýa-da olaryň üznüksiz üýtgemekligi mahsusdyr. Gomogen sistema

gaz garyndylary, suwuklyk we gaty erginler degişli.

**Geterogen** sistema diýip üst böleklerе bölünen bölekleriň dürli häsiýetlere eýe bolsan sistema aýdylýar, meselem, ereýän buz we çygly bug.

Bir jynsly fiziki sistema diýlip, eger-de onuň göwrüm boýunça deň bu sistemanyň makroskopiki bölejikleriň hemmesiniň düzümi we fiziki häsiýetleri bir meňzeş bolan sistema aýdylýar. Meselem, bu daşky güýç meýdançasynyň täsirinde bolmadyk arassa gaz (bir maddadan düzülen). Daşky güýç meýdançasy ýok bolanda fiziki taýdan birmeňzeş termodinamiki sistemanyň hemme gomogen bölejikleriniň jemine faza diýilýär. Köp fazaly sistemada dürli fazalar dürli agregat hallarynda bolmagy mümkin. Meselem, çygly bug 2 fazadan ybarat-gaýnaýan suwuklyk we gury doýgun bug. Iki faza bir agregat halýnda bolmagy mümkin. Meselem, nebit we suw.

Sistemanyň hemme fazalaryny döretmek üçin ýeterlikli zerur bolan iň az sanly her biri birmeňzeş molekulardan durýan dürli maddalara termodinamiki sistemanyň **komponentleri** diýlip aýdylýar. Gaz, kondensat we nebit ojaklarynyň gatlak garyndylaryň komponentleri - uglewodorod, **H<sub>2</sub>S**, **C<sub>02</sub>**, **N<sub>2</sub>**, inert gazlary we başgalar.

Sistemanyň termodinamiki parametrleri özara baglanyşykly. Hallaryň esasy parametrleri - basyş **P**, temperatura **T** we udel (ýa-da molýar) göwümi **V**. Içki energiýa, entalpiýa, entropiýa we başgalar köplenç esasy parametrleriň funksiýasy hökmünde seredilýär.

Termodinamiki sistemanyň hallarynyň parametrleri ekstensiw we intensiw parametrlere bölünýär. **Ekstensiw** - bu bahasy sistemadaky maddalaryň mukdaryna bagly bolan (göwrüm, massa) hallaryň parametrleri. Sistemadaky maddanyň mukdaryna bagly bolmadyk parametrlere **intensiw** diýip atlandyrylýar (**P**, **T**, konsentrasiýasy). Ekstensiw häsiýetler sistemanyň ölçeglerini häsiýetlendirýärler.

Intensiw ululyklar potensial faktory bolup we geçirme



prosesiň hereketlendiriji güýjini: basyşyň tapawudy - hereketiň mukdaryny impuls beriji prosesi, temperaturalaryň tapawudy - ýylylyk berijilik prosesi we başgalaryny emele getirýär.

Termodinamiki parametrleri ýylylyk we kaloriki parametrlere hem bolup bolýar. **Ýylylyk** parametrlere basyş **P**, temperatura **T**, göwrüm **V** we ýylylyk koeffisiýenti degişli: izotermiki aşa gysyjylyk koeffisiýenti

$$\alpha_T = - \left( \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T,$$

göwrümleýin giňelme koeffisiýenti

$$\alpha_v = \left( \frac{1}{V} \frac{\partial V}{\partial P} \right)_P,$$

basyşyň ýylylyk koeffisiýenti  $\alpha_p = \left( \frac{1}{P} \frac{\partial P}{\partial T} \right)_v.$

**Kaloriki** parametrlere entropiýa **S**, içki energiýa, entalpiýa **H**+**U**+**PV**, izohor-izotermiki potensial (Gelmgolsyň erkin energiýasy) **F**=**U**-**TS**, izobar-izotermiki potensial (Gibbsiň erkin energiýasy) **F**=**H**-**TS**, ýylylyk sygym **C<sub>a</sub>**(**C<sub>p</sub>**,**C<sub>v</sub>**) degişli.

Eger-de halyň parametrleriň bahasy maddanyň hemme massasyna degişli bolsa, onda oňa **umumy**, eger-de massasynyň birligine (meselem, 1 kg) degişli bolsa, onda oňa **udel**, maddanyň bahasy bir mol bolsa, oňa - molýar diýilýär.

Termodinamiki sistemanyň halynyň her dürli üýtgemegi termodinamiki proses diýilýär. **Deňagramly** diýlip sistemanyň üznüksiz deňagramlyk ýagdaýyny gelýän termodinamik prosese aýdylýar. Termodinamikanyň **öwrülýän** prosesi, sistemanyň başlangyç ýagdaýyna gelende, daşky sredada hiç hili üýtgeşik bolmazlygyna mümkinçilik berýän proses. Ters özgermeýän prosese - bu haçanda sistemanyň başlangyç ýagdaýa gaýdyp gelende, gurşap alýan sredada **üýtgeşiklik galdyryýan** prosese aýdylýar.

Haçanda sistemanyň intensiwlik hasiýeti wagta bagly bolmasa, sistema we ony gurşap alýan sredanyň arasynda energiýa ýa-da massa çalşygy ýok bolsa, ol sistema deňagramlyk ýagdaýynda bolýar. Hakyky sistema hiç haçan deňagramlyk ýagdaýyna yetmeýär ýöne oňa çäksiz ýakyn bolmagy mümkin.

Deňagramlyklary durnukly (stabil), durnukly dal (labil) we otnositel durnukly (metastabil) diýen gornüşlere bölmek bolýar. Deňagramlyk ýagdaýyna şu ýagdaýdan sistemany käbir gyýşarma getiren üýtgemäni aýyrsak, sistema öz-özünden başlangyç deňagramly ýagdaýyna gelýän bolsa, oňa **durnukly deňagramlyk** diýilýär. Näçe kiçi üýtgame hem bolanda termodinamik sistemanyň deňagramly ýagdaýa gelip bilmezlik durnuksyz deňagramlyk ýagdaý, diýip aýdylýar. Otnositel durnukly deňagramlykda kiçi üýtgemelerde sistema öz-özünden deňagramlyk halyna gelýär. Emma üýtgame berlen sistemanyň käbir häsiýetnamasyndan uly bolsa, onda sistema başlangyç halyna gelmeýär.

Kanun bolşy ýaly tebigy uglewodorodlaryň garyndysynyň faza öwrülişigini, olaryň gatlakdaky syzyjylygyny, guýynyň sütündäki we ýerasty desgalardaky hereketeni durnukly deňagramlyk şertlerinde derňelýär.

Termodinamiki sistemanyň haly, halyň funksiýanyň biri esasynda beýan edilýär: içki energiýa  $U$ , entalpiýa  $H$ , entropiýa  $S$ , izohora-izotermik potensial  $F$ , izobara-izotermiki potensiala  $\varphi$ .

## IV. PARSIAL BASYŞ WE PARSIAL GÖWRÜMI

### 4.1. Daltonyň kanuny. Amaganyň kanuny. Aditiwlik düzgüni

Gaz garyndysynyň komponentiniň parsial basyşy, temperatura  $T$  we başlangyç göwrümi üýtgemezden, göwrümden garyndynyň beýleki komponentleri aýyranyňda ýeke özüniň edýän basyşyna aýdylýar. Parsial göwrüm diýlip başlangyç göwrüm  $V$  we temperatura  $T$  saklanýan şertlerde ondan beýleki komponentler aýyrylanda, gazyň garyndysynyň berlen komponentiniň tutýan göwrümüne aýdylýar.

Ideal gazlaryň garyndysy additiwligi bilen hasiýetlendirilýär. Additiwlik diýlip garyndynyň komponentleriniň şu molýar birliginiň koeffisiýentleriniň jemi komponentiň hasiýetlerine täsir etmegi bilen kesgitlenmegine garyndylaryň fiziki hasiýetleriň jemine aýdylýar.

$$\begin{aligned}P_{kr.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i P_{kri}; & T_{kr.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i T_{kri}; \\V_{kr.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i V_{kri}; & & \\ \rho_{kr.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i \rho_{kri}; & z_{kr.gar} &= \sum_{i=1}^n y_i z_{kri}.\end{aligned}\tag{4.1}$$

Bu ideal garyndydaky her bir gaz özüni göwrümde ýeke özi bar bolan ýaly alyp barýandygyna düşündirilýär.

Parsial basyşyň additiwligini Daltonyn kanuny arkaly aňladylýar:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i. \tag{4.2}$$

Bu yerde  $P$  - gazlaryň garyndylaryň umumy basyşy;  $P_i$  -

garyndydaky  $i$  komponentiniň parsial basyşy.

Ondan başga-da  $P_i$  gaz garyndysyndaky komponentiň parsial basyşy. Onuň molýar ülüşini  $y_i$  gaz garyndynyň umumy basyşyna  $P$  köpeltmeklige

$$P_i = y_i P. \quad (4.3)$$

Gaz garyndysynyň komponentiniň additiwligi Amaganyň kanuny bilen aňladylýar:

$$V = \sum_{i=1}^n v_i, \quad (4.4)$$

bu ýerde  $V$  - garyndylaryň umumy göwrümi;  $V_i$  -  $i$  komponentiniň parsial göwrümi.

Garyndynyň parsial göwrümi üçin (4.3) menzeş.

$$V_i = y_i V \quad (4.5)$$

## 4.2. Ýagdaý deňlemesi

**Mendeleyew-Klaýpeýronyň deňlemesi. Wan-der-Walsyň deňlemesi. Peng-Robinsonyň deňlemesi. Redlih-Kwongyň deňlemesi. Asentriçnost faktory**

Ýönekeý ýa-da çylşyrymly maddalaryň üýtgemelerini beýan edýän parametrleriň arasyndaky analitiki baglanyşyklaryna halyň deňlemesi diýilýär. Şunuň ýaly parametrlere hökmünde:  $P$  basyş,  $V$  göwrüm,  $T$  temperatura ulanylýar. Halyň deňlemesini tebigy gazlaryň fiziki hasiýetlerini hasaplamak üçin ulanylýar.

Mendeleyew we Klaýperon ideal gaz halynyň deňlemesini hodürledirler

$$PV = GRT, \quad (4.6)$$

bu ýerde  $P$  - absolýut basyş. Pa;  $V$  - göwrüm,  $m^3$ ;  $G$  - maddalaryň massasy, kg;  $T$  - absolýut temperatura, K;  $R$  - udel gaz hemişeligi, J/(kg·K).

Gazyň tutýan göwrümi bilen deňeşdirilende, onuň molekularynyň öz göwrümi göz önünde tutardan az we olaryň

molekulalarynyň arasynda özara täsiri bolmadyk gaza ideal gaz diýilýär. Termodinamika görä gaz (7) aşakdaky deňlige dogry gelýän gaza ideal diýlip, aýdylýar:

$$\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_t = 0, \quad (4.7)$$

bu ýerde  $E$  - bug döretmeklik üçin girizilen energiýa, J/mol ýa-da ideal gaz üçin aşagysyýlyk koeffisiýenti  $z = 1$ .

Gazyň öz molekulalarynyň göwrümi we olaryň özara täsir guýjini hasaba almak üçin Wan-der-Wals aşakdaky deňlemäni hödürledi:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad (4.8)$$

Bu ýerde  $V = \frac{V}{G}$  - gazyň udel göwrümi,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;  $a$  -

molekulalaryň ulgamynyň (terkeşmesi) konstantasy,  $\text{Pa}(\text{m}^3/\text{kg})^2$ ;  $b$  - molekulalaryň öz göwrümi üçin düzediş,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;

$\frac{a}{v^2}b$  - ululyk içki basyşy häsiýetlendirýär (molekulalaryň

dartyş güýji);  $b$  - molekulalaryň düzedişler göwrümi.

$a$  we  $b$  koeffisiýentleri  $V$ ,  $T$  funksiýa we gazyň molekulalarynyň görnüşi bolup durýar:

$$a = \frac{27T_{kr}^2 R^2}{64P_{kr}^2}; \quad b = \frac{RT_{kr}}{8P_{kr}}; \quad R = 8314,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}. \quad (4.9)$$

Wan-der-Walsyň deňlemesi 10 MPa çenli basyşda we 283...293 K temperaturada tebigy gazlaryň häsiýetleriniň üýtgeýşini beýan edýär we tebigy gazlaryň ojaklarynyň köp komponentli garyndylaryna degişli däl. 100...20 MPa basyşda we 573...93 K temperatura çenli ýa-da hal deňlemesinde (4.6) tebigy gazlardan idealyň tapawudyny hasaba alýan  $z$  düzediş koeffisiýent girizilýär ýa-da (8) deňlemä konstantlar goşulýar.

Tebigy gazlar köp sanly uglewodorod komponentleriniň fiziki garyndysy bolup durýar. Ýönekeý gazlar üçin (metan, geliý, argon we ş.m.) molekulalaryň sferiki merkezini birleşdirýän cyzygyň boýuna täsir edýän dartys güýçleri aralyga 6 derejede proporsionaldyr.

Çylşyrymly gazlar we suwuklyklar üçin dürli molekulýar toparlaryň esasyndaky güýçler merkezleşdirilmedik, şonuň üçin hem asentriki faktor  $\omega$  diýlip düşünje girizildi.

Üç parametr: asentrik faktor, getirme basyş we temperatura tebigy gazlaryň aşageçirijilik koeffisiýentini kesgitleýär:

$$z = z(P_{kr}, T_{kr}, \omega) \quad (4.10)$$

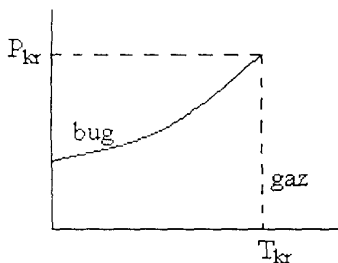
Gazyň garyndylary üçin asentrik faktor

$$\omega_{sm} = \sum_{i=1}^n y_i \omega_i, \quad (4.11)$$

bu ýerde  $\omega_i$  - i komponentiň asentrik faktory.

Asentrik faktor 0...0,4 aralygynda üýtgeýär. Ýönekeý gaz üçin  $\omega = 0$ .

Arassa maddanyň kritiki temperaturasy - bu suwuklyk we bug fazalaryň deňagramlyk ýagdaýynda bolup bilýän maksimal temperatura ýa-da molekulalaryň dartuw potensial energiyasyna deň bolýan temperaturadyr.  $T > T_{kr}$  suwuk fazanyň bolmagy mümkin däl (sur. 1).



4.1-nji surat. Arassa maddanyň P-T diagrammasy.

$T_{kr}$  maddalaryň bugunyň basyşyna kritiki basyş, diýilýär, maddanyň massasynyň birliги bilen gatnaşyga girýän

maddanyň göwrümine udel gowrüm diýilýär.

$\rho$ ,  $P$ ,  $T$ ,  $V$  we ş. m. hakyky parametrleriň gaz garyndylary üçin getirme parametrlerine bolan gatnaşygyna galp kritiki (pseudokritiki) parametrleri diýilýär.

Galp kritiki parametr diýlip additiw düzgün boýunça garyndylar üçin hasaplaýyş parametrlere aýdylýar.

Tebigy gazlary gazyp almak, daşamak, saklamak we täzeden işlemek bilen baglanyşykly meseleleri çözmek üçin köplenç Redlih-Kwongyň iki konstantaly hal deňlemesiniň dürli modifikasiýasy we sekiz konstantaly Benedikt-Webb-Rubiniň deňlemesini ulanylýar.

Redlih-Kwongyň hal deňlemesi

$$\left( P + \frac{a}{T^{0,5}v(V+b)} \right) (V-b) = RT. \quad (4.12)$$

Deňlemäni (12) tebigy gazyň komponentiniň aşagysyjylyk koeffisiýenti kesgitlemek üçin, ony aşaky gornüşde üýtgedýärler.

$$z^3 - z + z(a^2 - b^2p - b^2)p - a^2bp^2 = 0, \quad (4.13)$$

bu ýerde

$$a = 0,4278 \cdot T_{kr}^{2,5} / (P_{kr} T^{2,5}), \quad b = 0,0887 T_{kr} / (P_{kr} T). \quad (4.14)$$

Redlih-Kwongyň deňlemesi boýunça (12)  $z$  hasaplamanyň netijesini eksperimental maglumatlar bilen deňeşdirilende  **$0,01 \leq P_{kr} \leq 12$**  we  **$1,05 \leq T_{kr} \leq 1,6$**  2 %-den ýokary bolmaýar.

Peng-Robinsiniň hal deňlemesi göwrümi, suwuk fazanyň düzümini we dyklyzlygyny has takyk hem-de gazkondensat garyndysynyň kaloriki we termodinamiki häsiýetlerini kesgitlemäge mümkinçilik berýär

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a(T)}{V(V+b) + b(V-b)} \quad (4.15)$$

ýa-da

$$z^3 - (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0 \quad (4.16)$$

bu ýerde  $A = \frac{a(T)P}{R^2T^2}; \quad B = \frac{bP}{RT}.$  (4.17)

Martiniň hödürlän iki komponentli deňlemesiniň umumylaşdyrylan görnüşi bardyr.



## V. REAL GAZ HALYNYŇ DEŇLEMELERINIŇ GÖRNÜŞLERI

Tebigy gazlaryň birnäçe fiziki häsiýetlerini takykklamak üçin gaz halynyň deňlemesi ulanylýar.

Klapeýron we Mendeleyew aşakdaky görnüşde gaz halynyň deňlemesini hödürlediler:

$$PV = GRT, \quad (5.1)$$

bu ýerde  $P$  – absolýút basyş, pa;  $V$  – göwrümi, m<sup>3</sup>;  $G$  – jisimiň massasy, kg;  $T$  – absolýút temperatura, K;  $R$  – udel gaz hemişeligi, J/(kg K).

Ideal gaz diýlip, öz molekulalarynyň doldurýan göwrümi gazyň özüniň doldurýan göwrüminden deňeşdirip bolmajak kiçi bolan we molekulalarynyň arasyndaky täsir ediş güýji nula deň bolan gazlara aýdylýar.

Termodinamiki nukdaý nazardan, ideal gaz diýlip, aşakdaky deňlige boýun bolýan gaza düşünilýär:

$$\left( \frac{\partial E}{\partial V} \right)_T = 0, \quad (5.2)$$

bu ýerde  $E$  - bug emele gelmesiniň içki energiýasy J/mol; ýa-da

$$z = PV / GRT = 1, \quad (5.3)$$

Bu ýerde  $z$  real gazy ideal gazdan tapawutlandyryýan koeffisiýent.

(5.1) – deňlemäniň eksperimental öwrenilmegi ýokary basyşlarda real gazlaryň häsiýetlerini (3)-njy formula bilen ýazyp bolmaýandygyny görkezdi.

Golland fizigi Wen-der-Wals 1879-njy ýylda gazlaryň öz molekulalarynyň tutýan göwrümünü we molekulalaryň özara täsir güýjini göz önünde tutup, Klaýperon – Mendeleyewiň deňlemesine goşmaça ululyklary girizmegi tekliptdi:

$$\left( p + \frac{a}{V^2} \right) (v - b) = RT, \quad (5.4)$$

bu ýerde  $v=V/G$  – gazyň udel göwrümi,  $m^3/kg$ ;  $a/v^2$  – molekulalaryň ilişme hemişeleigi, Pa;  $b$  – molekulalaryň öz göwrümine düzediş koeffisiýenti,  $m^3$ .

(5.4) deňlemede  $a/v^2$  – goşulyjy içki basyşy, ýagny  $V$  göwrümdäki ähli molekulalaryň özara täsir güýjini aňladýar. Ol daşky basyşa ( $P$ ) goşulýar.

Wen-der-Wals, bu düzedişin şar formaly molekulalarda molekulanyň 4 esse köpeldilen göwrümine deňdigini takykladýr.

(5.4) deňlikde  $a$  we  $b$  koeffisiýentler göwrüme, temperatura, gazyň molekulasyňa bagly bolan çylşyrymly funksiýalardyr. Şonuň üçin (4) – deňlik bilen ýakynlaşdyrylan bahalary almak mümkin.

Jisimiň kritiki haly üçin:

$$\left(\frac{dp}{dv}\right)_{T_{kp}} = \left(\frac{d^2 p}{dv^2}\right) = 0, \quad (5.5)$$

Bu ýagdaýda  $a$  we  $b$  koeffisiýentler kritiki basyşyň  $P_{kp}$  we temperaturanyň  $T_{kp}$  üsti bilen aňladylar:

$$a = \frac{27T_{kp}^2 R^2}{64 p_{kp}^2}, b = \frac{T_{kp} R}{8 p_{kp}}, \quad (5.6)$$

Bu ýerde

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{1,033 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 22,41}{273} = 8314,3,$$

Arassa jisimiň kritiki temperaturasy – bu maksimal temperatura bolmak bilen, bu temperaturada suwuk we bug fazalar deňagramlykda bolýarlar, ýa-da bu ortaça molekulýar kinetiki energiýanyň molekulalaryň dartyş güýjiniň potensial energiýasyna deň bolandaky temperaturadyr.

Kritiki temperaturadaky jisimiň buglarynyň basyşyna kritiki basyş diýilýär, jisimiň bir mol massasyna gatnaşdyrılan göwrüme bolsa kritiki udel göwrüm diýilýär.

Tebigy gazlary çykarmakda, transport etmekde we gaýtadan işlemekde has ähmiýetli we takyk deňleme Redlih we

Kwong tarapyndan hödürlenen gaz halynyň deňlemesidir. Bu deňleme aşakydaky ýaly ýazylýar:

$$\left( p + \frac{a}{T^2 V(V+b)} \right) (v-b) = RT, \quad (5.7)$$

Ýokarda belleýşimiz ýaly, real gaz halynyň deňlemesi – Reng-Robinsonyň deňlemesini faza üýtgemelerini hasaplamak üçin teklip edýärler:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b) + b(v-b)} \quad (5.8)$$

bu ýerde  $a(T) = a_{kp} \alpha(T)$ ;  $\alpha(T) = [1 + m(1 - T_{np}^{0,5})]^2$ ,  
 $a$  we  $b$  koeffisiýentleriň bahalary:

$$a_{kp} = 0,45724 \frac{R^2 T_{kp}^2}{P_{kp}}; \quad b = 0,0778 \frac{RT_{kp}}{P_{kp}} \quad (5.9)$$

bu ýerde  $m = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2$ ;  $\omega$ - komponentiň asentrik faktory.

### 5.1. Kubik görnüşli gaz halynyň deňlemeleri

$z$  – koeffisiýenti tapmak üçin Redlih – Kwongyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir:

$$z^3 - z^2 + z(a^2 - b^2 P - b)P - a^2 b P^2 = 0, \quad (5.10)$$

bu ýerde

$$a^2 = 0,4278 T_{kp}^{2,5} / P_{kp} T^{2,5}, \quad (5.11)$$

$$b = 0,0867 T_{kp} / P_{kp} T, \quad (5.12)$$

(5.10) deňleme bilen hasaplanan  $z$ -iň bahasy eksperimental ölçemeler bilen deňeşdirilen mahalynda, hasaplamanyň ýalňyşlygy  $0,01 \leq P_{ret} \leq 12$  we  $1,05 \leq T_{rep} \leq 1,6$  aralykda 2%-den geçmeýär. Bu ýerde  $P_{ret}$ ,  $T_{rep}$  – getirilen basyş we temperatura.

$z$  – koeffisiýenti tapmak üçin Reng-Robinsonyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir:

$$z^3 = (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0. \quad (5.13)$$

Görnüşdäki kubiki deňlemäni çözmek arkaly kesgitlenýär.

Özbaşdak komponentiň getirilen ululygy diýlip, hakyky gaz halynyň görkezijileriniň (basyş, absolýut temperatura, göwrüm, dyklyk, aýa gyslyjylyk koeffisiýenti) kritiki haldakydan näçe esse tapawutlanýandygyny görkezýän ölçegsiz ululyga düşünilýär:

$$P_{rep} = P / P_{kp}, T_{ret} = T / T_{kp}, V_{ret} = V / V_{kp}, \rho_{ret} = \rho / \rho_{kp}, z_{ret} = z / z_{kp}, \quad (5.14)$$

**Nusga.** Şatlyk gaz ojagy üçin  $z$  koeffisiýentiň bahasyny hasaplamaly. Gazyň düzümi:  $CH_4$ -95,58%;  $C_2H_6$ -1,99%;  $C_3H_8$ -0,35%;  $C_4H_{10}$ -0,10%;  $C_5H_{12+y}$ -0,05%;  $N_{2+R}$ -0,78%;  $CO_2$ -1,15%;  $P=5,6$  MPa;  $T=409$  K.

**Çözüwi.**

$$a^2 = 0,4278 \cdot 194,79^{2,5} / 47,25 \cdot 409^{2,5} = 0,001417,$$

$$b = 0,0867 \cdot 194,79 / 47,25 \cdot 409 = 0,000874,$$

$$(a^2 - b^2 p - b)p = (0,001417 - 0,000874 \cdot 15,6 - 0,000874) \cdot 15,6 = 0,018363, \quad (0,00302)$$

$$a^2 b p^2 = 0,001417 \cdot 0,000874 \cdot 35,6^2 = 0,015696, \quad (0,0000388)$$

$$z^3 = z^2 + 0,018363z - 0,015696,$$

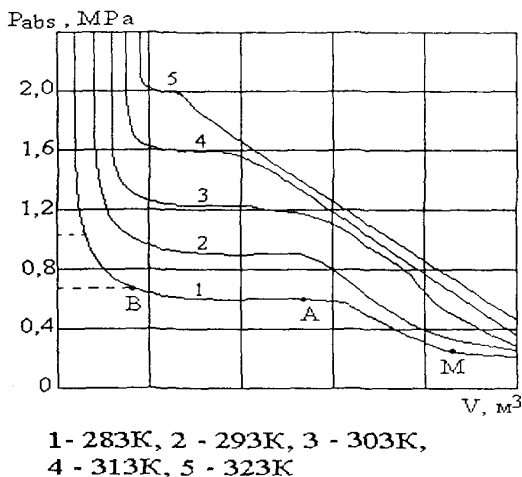
$$z^3 = z^2 + 0,00302z - 0,0000388,$$

Alnan deňlemäni Hiçkokyň metody bilen çözüýäris we  $z$ -iň bahasyny anyklaýarys:  $z = 0,97534$ .

## VI. SIŇIŞEN BUGYŇ GARŞYLYGY

### 6.1. Deňagramlyk konstantasynyň düşünjesi

Doýgun bug özünden  $x = 0$ ;  $x = 1$  çäklenilen şertli iki fazaly garyndy sistemasyny - suwuklygy we bugy ýüze çykarýar, bu ýerde  $x = 0$  garyndynyň bugsaklaýjylygy. Doýgun bugyň haly basyş ýa-da temperatura we bugsaklaýjylygy bilen doly kesgitlenýär. 2-nji suratda suwuklygyň göwrümi we bug görnüşli propanyň üýtgemeyän temperaturada basyşa bolan baglanyşygy görkezilen.



2-nji surat. Suwuklygyň göwrümi we bug görnüşli basyşa bolan baglanyşygy

M nokatdan A nokada çenli gysylanda, aşagyzydyrylan (doýgun däl) bug emele gelýär we şu aralykdaky ergi çyzyk giperbolik forma eýedir. A nokatda AH bug doýgun bolýar, mundan beýläk göwrümi üýtgetsek, (AB çyzygy) ol ýuwaş-ýuwaşdan üýtgemeyän basyşda suwuklyga owrulýär. B nokatda bugyň suwuklyga gelmegi gutarýar, şundan şeýläk gysanymyzda

üýtgemeýän göwrümde basyş birden artar. Bug fazadan suwuklyga (AB cyzyk) kondensasiýa prosesi bolup geçýän basyşyň ululygyna bellenen temperaturada tebigy gazyň doýgun bugynyň maýyşgaklygy diýilýär we  $Q$  bilen belgilenýär. Temperatura kritiki temperatura näçe ( $T_{kr} = 369,8K$  propan üçin) ýakyn bolsa şonça-da AB zolagy gysgadyr. Soňra doýgun buglaryň maýyşgaklygynyň suwuklygyň bugarma temperaturasynyň basyşa bolan baglanyşygyny ýüze çykarýan egrisini gurýarlar.

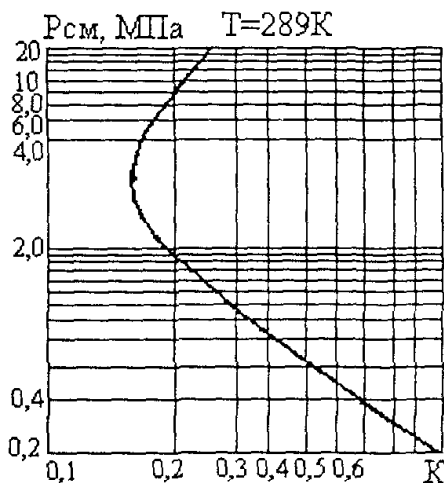
Eger-de uglewodorodlar garyndyda bolsa, onda garyndynyň umumy basyşy bugy her bir komponentiniň maýyşgaklygyna täsir edýär. Belli, bolşy ýaly, umumy basyşyň ýokary galmagy bilen komponentleriň bugynyň maýyşgaklygy artýar.

1 MPa pes bolanda, bu täsirler örän kiçidir. Uglewodorodlaryň arassa görnüşinde  $Q = f(T)$ , garyndylar üçin bolsa  $Q = f(T, P_{gar})$ .

Üç üýtgeýjileri hasaba almak üçin - onuň düzümi bilen kesgitlenýän garyndynyň basyşyny  $P_{gar}$ , temperaturasyny  $T$  we bugyň maýyşgaklygyny  $Q$  - aýratyn uglewodorodlaryň bugynyň maýyşgaklygynyň  $Q_i$  garyndynyň basyşyna  $P_{agr}$  bolan gatnaşygyny ýüze çykarýan deňagramlyk konstantasy (paýlanma koeffisiýenti) girizilýär:

$$K = \frac{Q_i}{P_{gar}}. \quad (6.1)$$

Bellenilen temperaturada ( $T = 289 K$  n-butan üçin) deňagramlyk konstantasyny garyndynyň umumy basyşyna bolan baglanyşygy, logarifmiki koordinatalarda gurulýar (3-nji surat).



3-nji surat. Deňagramlyk konstantasyny garyndynyň umumy basyşyna bolan baglanyşygy

Pes basyşlarda bugyň maýyşgaklygy  $Q$  az üýtgeýji üçin deňagramlyk konstantanyň basyş bilen baglanyşygy edip göni çyzyk ýaldyr.

Uly basyşlarda  $P_{\text{gar}}$  artmagy bilen bugyň maýyşgaklygy ep-esli beýgelyär.  $Q$ -nyň ulalmagy bilen  $K$  ýuwaş-ýuwaşdan pes we baglanyşyk egri çyzyk görmüşine eýe bolýar. Basyş näçe uly bolsa, şonuň ýaly hem umumy basyşyň ýokarlanmagy bilen bu bugyň maýyşgaklygyda tiz artyp başlaýar. Bu belli bir nokada we dikligine ýakynlanýan has dik öwrümlü egri çyzyk bilen aňladylýar. Bu nokat bugyň maýyşgaklygynyň artmaklygy umumy basyşyň artmagyna proporsional bolan basyşa laýyk gelýär.

Örän uly basyşlarda bugyň maýyşgaklygy umumy basyşa seredeniňde intensiw artýar, bu bolsa uly basyşlar zolagynda deňagramlyk konstantasy basyşyň artmagy bilen artýar, ýagny suwuklyk has uçyjy bolýar.

Suwuklygyň garyndysynyň bugynyň maýyşgaklygy

Raulyň kanuny boýunça berlen temperaturada aýratyn komponentleriň bugynyň maýyşgaklygyna we olaryň molýar konsentrasiýasyna baglydyr. Her komponentiň parsial basyşy onuň molýar konsentrasiýasynyň bugyň arassa görnüşindäki maýyşgaklygyna köpeldilmegi bilen kesgitlenilýär

$$P_i = x_i Q_i. \quad (6.2)$$

Hemme komponentleriň parsial basyşynyň jemi garyndynyň (üstündäki umumy basyşa ýa-da suwuk garyndynyň maýyşgaklygyna deňdir

$$P_{\text{gar}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n = x_1 Q_1 + x_2 Q_2 + \dots + x_n Q_n \quad (6.3)$$

## **6.2. Deňagramly iki fazaly köp komponentli sistemanyň fazalarynyň düzümi**

**Köpdüzümlü ikifazaly sistemalaryň deňagramlyk fazasynyň düzümini anyklamak tärleri. Himiki potensial düşünjesi.**

### **Dalton-Raulyň deňlemesi**

Eger-de köp komponentli köp fazaly düzümi görnüşi we molekulalaryň ölçegleri boýunça meňzeş bolmadyk ýapyk giňişlikde ýerleşdirilen sistema termiki (temperaturasy üýtgemeyän) we mehaniki (basyş üýtgemeyän) deňagramlykda bolsa, onda bu sistemada hem madda bir fazadan beýleki faza geçmegi mümkindir. Haýsy hem bolsa bir jynsly fazanyň  $j$  islendik komponentiň  $i$  mol sanyny  $n_j$  üýtgeşe, ähli sistemanyň şu fazasynyň izobar-izotermiki potensialynyň üýtgemegine getirýär

$$C_f = U_f - TS_f + PV_f, \quad (6.4)$$

bu ýerde  $U_f$ ,  $S_f$  we  $V_f$  - içki energiýa, entropiýa we bir jynsly fazanyň göwrümi.

Termodinamiki deňagramlyk şertlerinde fazalaryň arasynda komponentleriň deňagramly massa çalyşygy bolup geçýär, ýagny berlen wagt aralygynda birinji fazadan ikinjä geçen her komponentiň mukdary şol bir wagt aralygynda ikinji fazadan birinjä geçen komponentiň mukdaryna deň.



Ýapyk göwrümde sistemadaky her komponentiň massasy ýa-da mol sany termodinamiki üýtgemän durýar.

$$\left( \frac{\partial G_j}{\partial n_j} \right)_{S,V,n_k}$$

proizwodnysy, ýagny galan komponentleriň  $n_k$  hemişelik entropiýa, göwrüm we mol sanynda berlen maddanyň bir birlige ulaldylanda, berlen faza sistemasynyň izobar-izotermiki potensialyny ulaltmaklyga "himiki potensial" diýip atlandyrylýar ýa-da maddanyň himiki potensialy  $\varphi$  diýlip udel (massa birliginiň hasabynda) izobar-izotermiki potensiala aýdylýar

$$\varphi = I - TS, \quad (6.5)$$

bu ýerde  $i$  we  $S$  - udel (massa birliginiň hasabynda) entalpiya we entropiýa.

Himiki potensialy dürli termodinamiki funksiýalaryň üsti bilen aňladyp bolýar, meselem:

$$\left( \frac{\partial \varphi_i}{\partial P} \right)_{T,n_k} = \left( \frac{\partial V}{\partial n_j} \right)_{T,P,n_k}, \quad k \neq j. \quad (6.6)$$

Bir komponentli arassa madda üçin himiki potensialyň basyş boýunça proizvodnysy şu maddanyň molýar göwrümüne deň

$$\left( \frac{\partial \varphi_{i0}}{\partial P} \right)_T = M_{mio}. \quad (6.7)$$

Udel massalaýyn izobar-izotermiki (himiki) potensial  $\varphi$  sistemada maddanyň mukdarynyň üýtgemeginde islendik sistemanyň häsiýetlik funksiýasynyň üýtgemegini hasaplamaga mümkinçilik berýär.

Basyşyň termodinamiki deňagramlygynda, ähli fazalarda her komponentiň temperaturasy we himiki potensialy deň:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 = \dots P_n; \\ T_1 &= T_2 = \dots T_n; \\ \varphi_1 &= \varphi_2 = \dots \varphi_n. \end{aligned} \quad (6.8)$$

Pes basyşlarda we temperaturalarda bug we suwuklyk fazalarynda komponentleriň parsial basyşyň deňiligi baradaky Dalton-Raulyn deňlemesi dogrydyr

$$y_i P = x_i Q_i, \quad (6.9)$$

bu ýerde  $y_i$ ,  $x_i$  -  $i$  komponentiň bug we suwuk fazalarda molýar konsentrasiýasy;  $P$  - garyndynyň bugynyň basyşy;  $Q_i$  - sredanyň berlen temperaturasynda arassa görnüşde  $i$  komponentiň doýgun bugynyň maýyşgaklygy.

Termodinamiki deňagramlyk şertlerinde suwuklygyň üstündäki garyndynyň basyşy suwuklyga girýän komponentleriň parsial basyşlaryndan goşulyp düzülýär

$$P = \sum_{i=1}^n x_i Q_i. \quad (6.10)$$

(6.9) deňlemeden iki fazaly deňagramly sistemada fazalaryň arasyndaky uglewodorodyň paýlanmasy uglewodorodyň doýgun bugynyň maýyşgaklygy we olaryň molýar konsentrasiýasy bilen baglylykda bolup geçýär.

Temperaturanyň ýa-da basyşyň üýtgemegi bilen sistemanyň deňagramlygynyň bozulmagy netijesinde her komponentiň bug we suwuklyk fazalarynda parsial basyş deňlenýänça, uglewodorodyň fazalaryň arasynda täzedan paýlanmasy geçýär. Bellenilen temperaturada doýgun buguň maýyşgaklygy  $Q_i$  sistemanyň  $P_{\text{gar}}$  umumy basyşyndan uly bolsa, uglewodorodlar suwuklyk fazasyndakydan bug fazasyndaky konsentrasiýasy has ýokary bolar. Şeýlelikde, garyndylarda bolan uglewodorodlaryň ýagdaýy diňe basyşa, temperatura bagly bolman, eýsem fazanyň düzümine hem bagly bolýar.

Dalton-Raulyn kanuny ulanyp, garyndynyň temperaturasyny we basyşyny bilip, bir fazadaky komponentiň konsentrasiýasy boýunça onuň beýleki konsentrasiýany tapmak mümkin.

## VII. FAZALARYŇ KONSENTRASIÝASYNYŇ DEŇLEMELERI

### 7.1. Faza konsentraciýasynyň deňlemesi. Kontaktly kondensaciýa. Faza deňagramlygynyň hemişeligini anyklamagyň tärleri. Deňleşdirmek basyşy.

Gapda ýerleşýän termodinamiki deňagramly şertlerindäki iki fazaly haldaky bug-suwuklygy berlen düzümiň köp komponentli garynda seredeliň. Garyndynyň massasy we temperaturasy hemişelik, garyndynyň basyşy göwrümiň üýtgemegi netijesinde üýtgeýär.

Hemişelik massada we garyndynyň düzüminde hem-de basyşyň izotermiki üýtgesinde garyndynyň komponentleriniň bir fazadan beýlekä geçmegi we basyşyň üýtgemeklik prosesinde suwuk fazanyň komponentleriniň bugarmagy ýada bug fazadan komponentleriň kondensaciýasy bolup geçýändigine baglylykda fazalaryň arasyndaky gatnaşyklaryň üýtgemeklik prosesine galtaşyk (birsaparlyk) kondensaciýa ýada galtaşyk (birsaparlyk) bugarma diýilýär.

Berlen gapda ýerleşýän başlyngyç garyndynyň  $N$  mol sany  $P$  basyşda we  $T$  temperaturada suwuk fazanyň  $N_c$  we bugyň  $N_b$  mol sanyna deň.

$$N = N_b + N_c. \quad (7.1)$$

$i$ -komponentiň mol sany fazalaryň arasynda şu aşakdaky gornüşde paýlanýar

$$\eta_i N = y_i N_b + x_i N_c \quad (7.2)$$

şu ýerde  $\eta_i$ ,  $y_i$ ,  $x_i$  başlangyç garyndyda, bug we suwuk fazalarda  $i$ -komponentiň molýar birligi.

Gapdaky garyndynyň bir mol üçin  $i$ -komponentiň garyndyda paýlanmagynyň material balansynyň deňlemesini ýazalyň

$$\eta_i = y_i \frac{N_b}{N} + x_i \frac{N_c}{N} = y_i V + x_i L, \quad (7.3)$$

şu ýerde  $V + L = 1$  deň bolanda,  $V = \frac{N_b}{N}$  we  $L = \frac{N_c}{N}$  -

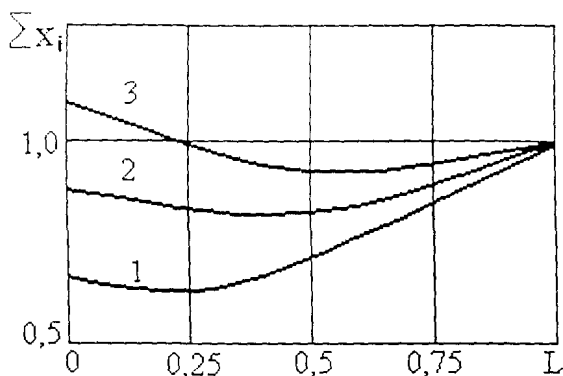
molýar birlikler gapdaky bug we suwuk fazalaryna degişlilikde.

(7.3) deňlemä  $y_i = k_i x_i$  we  $L = 1 - V$  goýup, aşaky deňlemäni alarys

$$x_i = \frac{\eta_i}{V(k_i - 1) + 1};$$

$$y_i = \frac{\eta_i k_i}{V(k_i - 1) + 1}.$$

Bu deňlemelere garyndynyň komponentiniň faza konsentrasiýasynyň deňlemeleri diýilýär. Olar berlen  $P$ ,  $T$ , garyndynyň düzümi we faza deňagramlyk konstantynda komponentiň konsentrasiýasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu deňlemeleri suwuk fazanyň  $L$  molýar böleklerinden  $\sum x_i$  baglanyşynyň (suwuk fazada molýar birliginiň jemi) derňäliň (sur.1).



1-nji surat. Suwuk fazanyň  $L$  molýar böleklerinden  $\sum x_i$  baglanyşygy

Eger-de  $L = 0$   $\sum x_i = \frac{\eta_1}{k_1} + \frac{\eta_2}{k_2} + \dots < 1$ , onda

garyndyda suwuk faza ýok, garyndy bug halyna (1, 2 çyzyk). Eger-de  $\sum x_i > 1$   $L = 0$  (3 çyzyk), onda suwuk faza bardyr  $\sum x_i = 1$  we  $L = 1$  - garyndy birfazaly suwuk halda bolýar.

$\sum y_i = \sum \frac{\eta_i}{k_i} = 1$   $L = 0$  suwuk fazanyň emele gelme

egrisini kesgitleýär ýa-da nemiň nokatlary egri çyzygy emele getirýär.  $\sum y_i = \sum \eta_i k_i = 1$   $V=0$  suwuklykdan bug fazanyň

emele gelip, başlamagynyň egrisini ýa-da gaýnamanyň nokatlarynyň egrisini kesgitleýär.

## **7.2. Deň gelýän basyş boýunça faza deňagramlygynyň konstantasyny kesgitlemek**

Bu empiriki usul garyndynyň kritiki basyşynda we bellenilen temperaturada ýeňil binar parafin uglewodorodlar garyndysynyň komponentleriniň birliginiň deňagramly konstantalarynyň birlik çatrygynda birleşýän faktyna esaslanýandyr. Komponentleriň deňagramlyk konstantasy köp komponentli garyndylarda diňe garyndynyň  $P_{kr}$  we  $T_{kr}$  deň gelýär. Başga temperaturada deňagramlyk konstantasynyň birlige deň gelen basyşyna, hyýaly basyşyň deňleşmesi diýilýär. Deňagramlyk konstantasy diňe iki fazaly haldan bir fazaly hala geçýän basyşa çenli bolup biler.

Basyşyň deň gelmegi boýunça deňagramly konstantasyny kesgitlemek usulynyň esasynda Henson we Braunyň dürli garyndylaryň düzümine girýän komponentleriň deňagramlyk konstantasy,  $P$ ,  $T$  we şu garyndylaryň deň geliş basyş deňligini tassyklan eksperimentleri goýlan. Basyşyň deňgelmesi iki deňagramly fazalaryň komponentleriniň düzüminiň funksiýasydygyna garamazdan, praktikada baslangyç

garyndynyň düzümi ýa-da berlen basyşda suwuk düzümi bilen kesgitlenýär.

Molekulýar massa  $M_{c7+}$  we dykzlyk  $\rho_{c7+}$  belli bolsa, formula boýunça basyşyň deň gelmegi takmynan kesgitlenýär.

Eger-de  $120 \leq M_{c7+} \leq 200$ , onda

$$P_{d\tilde{n}} = 1,02 \left( 90 - 18,1 \cdot 10^{-2} T - 0,423 \cdot 10^{-4} T^2 \right) \frac{M_{c7+} + \rho_{c7+}}{200}. \quad (7.2.1)$$

Eger-de  $90 < M_{c7+} < 120$ , onda

$$P_{d\tilde{n}} = \frac{P_{d\tilde{n}}^{(1)}}{1,2 + 0,399 \cdot 10^{-4} (T - 100)^2}, \quad (7.2.2)$$

şu ýerde  $P_x^{(1)}$  - (7.2.1) boýunça kesgitlenen basyş.

Suwuk fazanyň belli bolan düzümi boýunça

$$P_{d\tilde{n}} = 356,06 (a_1 + a_2 \bar{M}_{c2+}) \cdot (a_3 + a_4 \bar{T}) \quad (7.2.3)$$

Şu ýerde

$$\bar{M}_{c2+} = \frac{M_{c2+}}{142,93}; \quad \bar{T} = \frac{T}{310,66}; \quad a_1 = 0,12258886; \quad a_2 = 1,225988;$$

$a_3 = -0,12539303; \quad a_4 = 1,1242308; \quad M_{c2+} - C_{2+}$  on dan ýokarsy komponentleriň galyndysynyň molekulýar massasy:

$$M_{c2+} = \frac{\sum_{i=c2}^n g_i M_i}{\sum_{i=c2}^n g_i}; \quad g_i = \frac{x_i M_i}{\sum_{i=c2}^n x_i M_i}, \quad (7.2.4)$$

şu ýerde  $M_i$  – i-komponentiň molekulýar massasy,  $g_i - C_{2+}$  - galp komponentde massalaýyn bölegi.

### 7.3. Her dürli komponentleriň kondensirlenmeginiň başlanýan basyşyna täsiri

Uglewodorod däl komponentleriň täsiri baradaky dernewler bilen 1982-83ýý. Gurewiç G.R., Nepomnýaşiý L.Ya., Ostrowskaýa T.D. meşgullandylar. Tejribe we matematiki modelirlenmegiň esasynda alymlar  $N_2$ -niň konsentrasiýasynyň beýgelmegi  $P_{kb}$  kondensasiýasynyň basyşy artýar, emma  $H_2S$  we  $CO_2$  konsentrasiýasynyň ulalmagy, ony peseldýär diýip belleýärler.

Matematiki tejribe aşakdaky görnüşde goýuldy:  $P_{kb}$  Peng-Robinsonyň hal deňlemesini ulanyp hasaplanylady.  $P_{KB}$ -niň üýtgemegi başlangyç uglewodorod garyndysyna haýsy hem bolsa bir komponentiň belli mukdarda goşulmagy, başlangyç garyndyda bolan komponentiň konsentrasiýasy proporsional peselmegi bilen kesgitlenýär. Başlangyç garyndynyň düzümi:  $CH_4$  - 79,5%;  $C_2H_6$  - 9%;  $C_3H_8$  - 4%; i- $C_4H_{10}$  - 1%; n- $C_4H_{10}$  - 1%;  $C_{10}H_{24}$  - 5,5% - molýar düzümi. Derňelýän garyndynyň retrograd kondensasiýasyna degişli bolýan 70-150°C temperatura aralygynda hasaplamalar geçirildi. Ähli derňelýän komponentleriň  $P_{kb}$ -niň täsiri boýunça 3 topara bölmek mümkin: 1) ( $C_2H_6$ - $C_7H_{16}$ ,  $Cl_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ , Kr) garyndylaryň  $P_{K.B}$ -si üçin peseldiji; 2) (Ar,  $N_2$ ,  $H_2$ , He) garyndylaryň  $P_{K.B}$ -si üçin ulaldyjy; 3) iki hili täsir edýän komponentler (agyr uglewodorodlar  $C_8H_{18}$ ,  $C_9H_{20}$ ,  $C_{10}H_{22}$ ). Şu komponentleriň kesgitlenilen konsentrasiýa çenli olar saklanylanda  $P_{K.B}$  ulalýar, soňra bolsa peselýär.

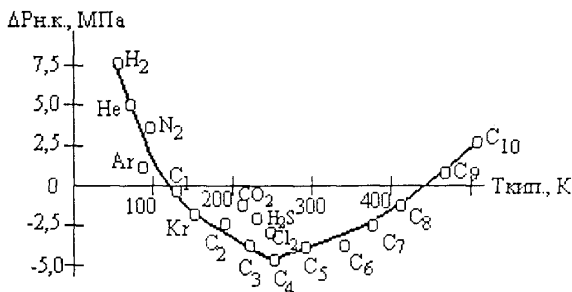
Şeýlelikde gaz kondensat garyndylary düzüjileriň galanlarynyň ählisi birinji topara degişli. Ikinji toparyň komponentleri ujypsyz mukdarda saklanylýar we ( $P_{K.B}$ ) gatlak garyndylarynyň  $P_{K.B}$ -sine az täsir edýär.

Iň güýçli täsir ediji komponentler: ikinji toparda geliý, birinji toparda - butan. Birmeňzeş konsentrasýada  $P_{K.B}$  iň güýçli täsir ediji geliýdir, emma onuň mukdary adatyça örän azdyr. Metan bitarap komponent bolup durýar, bu bolsa başlangyç garyndyda onuň başky mukdarynyň ululygy bilen

düşündirilýär.

$\text{CH}_4\text{-C}_4\text{H}_{10}$  çäklendirilen uglewodorodlaryň konsentrasiýasynyň artmagy  $P_{KB}$  peseldýär,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  -  $\text{C}_7\text{H}_{16}$  çenli olaryň täsiri peselýär,  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  iki taraplaýyn täsiri başlanýar. Iki taraplaýyn täsirli komponentler adatça  $P_{K.B}$ -niň beýgeldýär, ýöne olaryň konsentrasiýasynyň azlygy sebäpli, täsiri hem gaty uly däl. Şol bir wagtda agyr uglewodorodlaryň mukdary uly bolan, düzümi boýnça ýeňil we uçyjy nebite ýakyn çuňňur ýatýan gaz kondensat sistemasy üçin  $P_{K.B}$ -niň başlangyç gatlak basyşyndan ep-esli aşak bolmagy mümkin.

Ondan başga-da, temperaturanyň ösüşi bilen  $P_{K.B}$ -e has agyr komponentleriň täsiri güýçlenýär.  $P_{K.B}$ -e täsir edýän dürli komponentleriň häsiýeti gaýnama temperatura baglydyr.



2-nji surat. Gatlak garyndynyň  $\Delta P_{K.B.}$ -nin üýtgemegi goşmaçanyň gaýnama temperaturasyňa baglylyk

Bu suratda (sur.2) molýar düzümi 10%-e deň bolan goşmaçanyň gaýnama temperaturasynda 383K temperaturadaky garyndynyň  $\Delta P_{K.B.}$ -niň baglanyşygy getirilipdir. 100-den 400K-ne çenli gaýnama temperaturasy bolan komponentler sistemanyň  $\Delta P_{KB}$ -ni peseldýär, galanlary bolsa ýokarlandyrýar. Gaýnama temperaturasy 100 we 400 K deň bolanda sistemanyň kondensasiýasynyň başlanma basyşyna täsir edýän onuň neýtral komponentini häsiýetlendirýär.

Ondan basga-da,  $P_{K.B}$ -e garyndynyň ýatma çuňlugy we önümlü gatlagyň beýikligi täsir edýär.



## VIII. ÇUŇŇUR ÝATAN OJAKLARYŇ GATLAK GARYNDYLARYNYŇ FAZA HALYNYŇ ÜÝTGEMEGI

### 8.1. Uglewodorod garyndylarynyň faza ýagdaýynyň üýtgemegi, olaryň çuňlukda ýerleşişiniň täsiri. C<sub>5+</sub> toparyň düzümini kesgitlemek

Täze açylyan çuňňur ýatýan uglewodorod ojaklaryna ýokary temperatura we basyş hem-de nebit we kondensatyň häsiýetleriniň ýakynlaşmagy mahsusdyr. Şonuň ýaly ojaklar derňelende, guýudan gelýän önümde suwuk fazanyň möçberiniň ulydygy ( $1000 \text{ sm}^3/\text{m}^3$ ) hem-de gaz kondensat garyndysynyň we erän gazyň (nebitiň), şeýle hem sistemanyň faza halynyň üýtgemegi hem-de käbir fiziki-himiki häsiýetleriň bir meňzeşligi bellenyär. Bu aýratynlyklar ojagyň görnüşini, ony işlemekligiň usulyny saýlap almagy, promysel taýýarlygy we täzedan işlemeklik sistemasyny saýlap almaklygy kesgitlemek üçin kynçylyk döredýär.

Bu suratda (sur.1) agyr nebitden gury gaza çenli bolan uglewodorodlaryň giň spektry üçin gaz nebit faktorynyň (GNF) manysynyň ähli diapozonlary görkezilipdir. Uçygy nebitlere we gaz kondensatlaryň bölegine takyk kesgitlenilmedik çäksiz orta zolagy ýa-da geçiş zolagy düşýär. Şu diapazonda GNF ( $270\text{--}620 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ) we GNF-niň bahasy, ne-de önüm suwuklygyň dykzlygy boýunça gatladaky uglewodorodyň nähili haldadygyny-nebit ýa-da gaz görnüşdedigini baha bermeklik mümkin däl.

Emma gatlak flýuidleriň faza öwrülişiklerini laboratoriyalarda derňelende, WNIIGazyň standart usuly boýunça **PVT** bombada nebitiň kondensatdan tapawudyny n-alkan hatarynda ýaýramaklyk maksimumy, fraksiýa boýunça, aromatiki ýaýradylş häsiýetli, smola-asfaltan maddalaryň dykzlygy we ş.m. boýunça kesgitlenilýär (tabl.1).

a _____	-----
b _____	-----
2 _____	_____
20 _____	_____
200 _____	_____
2000 _____	_____
20000 _____	_____
GNG, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> _____	
d _____	_____
ä _____	_____
e _____	_____

1-nji surat. Gaz nebit görkezijisi (GNG) boýunça flýuid gatlak görnüşiniň bahalanmasy: a) suwuk faza; b) agyr nebit; ç) uçujy nebit; d) gaz kondensaty; e) gury gaz; ä) gaz fazasy.

Nebit we GK ojaklarynyň tapawutlanyş görkezijileri  
1-nji tablisa

№	Görkezijiler	Yatak	
		Nebit	GK
1.	Gaz faktory, m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	630-650	900-1100
2.	Dykyzlyk ρ, g/sm <sup>3</sup>	0,78	0,78
3.	Molekulýar massa	160	160
4.	Asfalten	Bar	Ýok
5.	Aromatiki UW	Üznüksiz ösýär	200°C çenli fraksiýa peselýär
6.	Normal alkanlaryň maksimumy	C <sub>16</sub> –C <sub>18</sub>	C <sub>7</sub> – C <sub>9</sub>
7.	Çylşyrymly üç siklli aromatika	Bar	Ýok

## 8.2. Gatlak gazynda $C_{5+}$ ýokary toparyň mukdary

Häzirki wagtda GKO gatlak garyndylaryň himiki düzümi kesgitlenilende, agyr uglewodorodlar düzgün bolşy ýaly pentandan başlanýar we  $C_{5+}$  toparyna birleşdirilýär. Bug suwuklyk deňagramlygyny hasaplamananyň takyklygyny artdyrmak üçin bu topary aýratyn fraksiýalara bölmeklik şerti kabul edilendir, olara edil gatlak garyndynyň komponenti ýaly seredilýär.  $C_{5+}$  toparyny bölmeklik, butandan aýrylan kondensaty fraksion pytratmanyň netijesi boýunça geçirilýär, şonda, gaz separatoryna pentan, geksan we heptanyň kesgitli mukdarynyň geçmegi hasaba alynýar. Köplenç tejribe derňewler prosesinde dykzlyk, molekulýar massa hem-de hal deňlemeleri boýunça hasaplama geçirmek üçin hökmany ýagdaýda bellenen fraksiýalaryň we gaýnamaýan uglewodorod galyndylaryň kritiki parametrleri kesgitlenmeýär. Olara takmynan baha bermek üçin butandan aýrylan birnäçe ojaklaryň kondensatlarynyň fraksiýalarynyň häsiýeti boýunça we kondensatlaryň pytratma prosesinde bölünip çykan fraksiýalary goşmaklyga hödürlenilýän tejribe maglumatlara esaslanyp alnan gaýnamanyň kesgitli aralyklara degişli baglanyşygy ulanylýar.

$C_{5+}$  toparynyň düzümini kesgitlemek üçin kondensatyň fraksion düzümi barada maglumat bolmasa, grafiki usul ulanylýar, onuň esasynda GKO-nyň gatlak garyndylarynda aýratyn parafin uglewodorodlaryň paýlanmak kanuny ýatyr:

- tebigy garyndylaryň düzümine özünden metanyň gomologlarynyň üznüksiz hataryny düzýän uglewodorodlar girýär;

- uglewodorodyň molekulalarynda uglerodyň atomynyň sanynyň köpelmegi netijesinde tebigy garyndyda uglewodorodyň saklaýjylygy peselýär.

Şonuň bilen baglylykda tebigy gazkondensat garyndynyň düzüminde bolan uglewodorodlaryň saklaýjylygy olaryň molekulýar massasyna bagly bolup, deňölçegli peselýän

funksiýa hökmünde ýüze çykýar.  $C_{5+}$  toparyny normal parafin uglewodorodlardan ybarat diýip kabul edilýär.

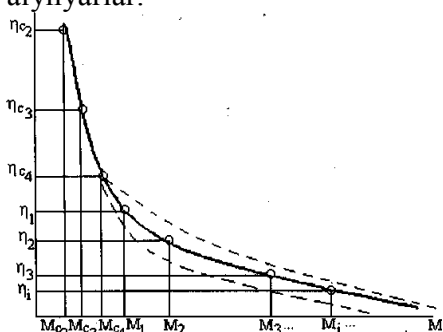
Bu  $C_{5+}$  toparyny komponentlere bölme usuly takmynandyr, sebäbi bu usulda kondensatyň fraksion we topar düzüminiň aýratynlyklary hasaba alynmaýar.  $C_{5+}$  toparynyň fraksiýalara bölmek üçin aýdylýp geçilen bölme usullaryň we garyndynyň komponentiniň özara täsiriniň empirik koeffisiýentleriň ulanylmagy bilen Peng-Robinsonyň hal deňlemesi boýunça köp komponentli sistemalaryň bug-suwuklyk deňagramlylygynyň parametrleriniň hasaplamalary takyk netijelerini hemişe berip bilmeýär.

Kondensasiýanyň başlanma basyşy - faza halynyň esasy parametrleriň biri bolanlygy üçin kondensasiýanyň başlanma basyşyny hal deňlemesi boýunça hasaplanylanda, hasaplaýyş we eksperimental hasaplamalaryň arasyndaky tapawut minimal bolar ýaly edip,  $C_{5+}$  toparyny fraksiýalara bölüp, köp komponentli sistemalaryň faza halynyň üýtgemekliginiň meňzeş matematik modelini gurmak mümkin. Kesgitli ojagyň gatlak garyndysynyň faza deňagramlylygy boýunça PVT desgasyň eksperimental maglumatlaryny hasaba almak aşagaýnaýjy uglewodorodlary häsiýetlendirýär we ýetirlikli delillendirilmedik koeffisiýentini garyndynyň komponentiniň özara täsiriniň ulanylyşy hal deňlemesinde başlangyç maglumatlaryň ýetmezçiligini doldurmak mümkinçiligini berýär.

WNIIGazda  $C_{5+}$  toparyny komponentlere bölmek usuly we Peng-Robinsonyň hal deňlemesi boýunça kondensasiýanyň başlanma basyşyny kesgitlemek usuly işlenip taýýarlanyldy. Şu usul aşakdakylardan durýar. Ilki bilen  $C_{5+}$  toparyny komponentlere bölmeklik grafiki usulyň ulanylyşy arkaly geçirilýär ýa-da pentan, geksan we heptanyň bir böleginiň gazdan we butandan aýyrylanda, separasion gaza geçmekligini hasaba almak bilen butandan aýrylan kondensaty fraksion pytratmanyň netijesi boýunça paýlanylýar. Şu ýagdaýda kondensasiýanyň başlanmasynyň hasaplanylýan basyşy tejribe

basyşdan has tapawutlanylmagy mümkin. Meselem, Astrahan GK-synyň ojagy üçin ýalňyşlyk 35 % (turşy gazlaryň saklaýjylygy – 40 %), Karaçaganak GKO-sy üçin – 25 % (turşy gazlaryň saklaýjylygy – 20 %) bolupdyr. Şonuň üçin bu usul birinji takmynanlykda bolan fraksiýalaryň gerekli sanyny kesgitlemekde ulanylýarlar.

$C_{5+}$  toparynyň uglewodorod fraksiýalarynyň molýar saklaýjylygy tebigy garyndylarda bolan uglewodorodlaryň umumy paýlanma prinsiplerine görä molekulýar massasyna baglylygy deňölçegli peseldýän funksiýa bilen (adatça ol giperbola görnüşde kabul edilýär) çalşylýar. Uglewodorodlaryň saklaýjylygy olaryň molekulýar massasyna baglylygynyň analitik düşüňjesi EHM-iň ulanylmagy bilen gatlak garyndyda bolan komponentleriň saklaýjylygy bellenende, fraksiýalaryň sanyny we olaryň konsentrasiýasyny üýtgedip,  $C_{5+}$  toparynyň bölüşiniň dürli görnüşleriniň köp mukdaryny saýlamak mümkin (sur.2). Suratda  $C_{5+}$  toparyny fraksiýalara bölmek üçin dürli bölme görnüşlerine degişli zolagy punktir bilen çäklendirilen. Her bölme görnüşleri üçin molekulýar massasyna bagly bolan çalşylýan formulalar boýunça fraksiýalaryň konsentrasiýasy hasaplanylýar. Fraksiýalaryň sany kesgitlenende, konsentrasiýasy otrisatel bolmadyk fraksiýalar hasaba alynýarlar.



2-nji surat. Gatlak garyndyda bolan  $C_{5+}$  toparynyň fraksiýalarynyň we butanlaryň, etanlaryň, propanlaryň konsentrasiýasynyň molekulýar massalaryna baglylyk

$C_{5+}$  toparynyň bölünmän galan bölegi birleşdirilen  $n$ -nji fraksiýanyň molekulýar massasy  $M_n$  we  $\eta_n$  -yň saklaýjylygy şu aşakdaky şertlerden kesgitlenilýär.

1.  $C_{5+}$  toparynyň ähli fraksiýalarynyň konsentrasiýasynyň jemi gatlak garyndyda bolan  $C_{5+}$ -e berlen saklaýjylygyna deňdir:

$$\sum_{i=1}^n \eta_i = \eta_{C_{5+}},$$

bu ýerde  $n$  - fraksiýalaryň sany;  $\eta_i$  -  $i$  fraksiýanyň konsentrasiýasy;  $\eta_{C_{5+}}$  - gatlak garyndyda bolan  $C_{5+}$ -iň saklaýjylygy.

2.  $GS+$  topary düzümi boýunça hasaplanylýan molekulýar massasy berlen molekulýar massasyna deňdir:

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i \eta_i}{\eta_{C_{5+}}} = M_{C_{5+}},$$

bu ýerde  $M_i$  -  $i$  fraksiýanyň molekulýar massasy;  $M_{C_{5+}}$  - gatlak garyndyda bolýan  $C_{5+}$ -iň molekulýar massasy.

3. Gollanmalar boýunça tapylan molekulýar massasyna göre (meselem, Gurewiç, Brusilowskiý, "Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств ГК смесей" М., Недра, 1984)  $n$  - fraksiýanyň ortaça gaýnama temperaturasy, dykzlygy we kritiki parametrleri kesgitlenilýär.

4.  $C_{5+}$  toparynyň bölüniş görnüşlerinden saýlanyp alnanda, şolaryň içinden  $\eta_n$  we  $M_n$ -yň hasaplanylýan mysallary aşakdaky deňsizlikleri:

$$\eta_{n-1} < \eta_n < \eta_{nmax};$$

$$M_{n-1} < M_n < M_{nmax}$$

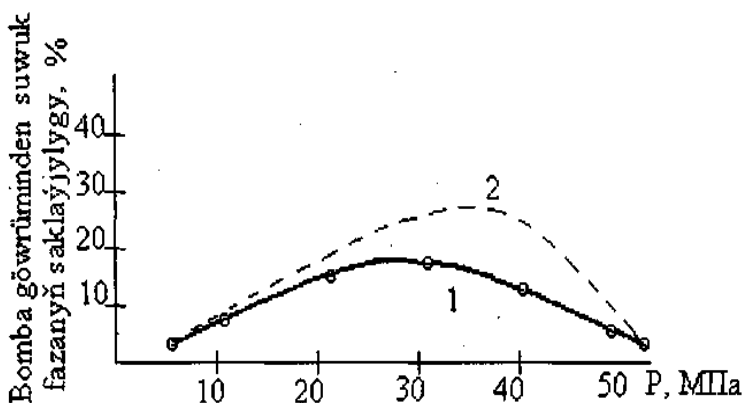
kanagatlandyrylmaýanlar aýrylýar.

Bu ýerde  $n$ -nji fraksiýanyň molekulýar massasynyň  $M_{nmax}$  we saklaýjylygynyň  $\eta_{nmax}$  maksimal bolýjak ululyklary

empirik usulda kesgitlenilýär.

5. Galan wariantlar üçin gatlak garyndynyň kondensasiýanyň başlanma basyşyny, Peng-Robinsonyň hal deňlemesini ulanyp, hasaplanylýar.

$C_{5+}$  toparynyň şeýle bölünmesi alynýar, haçanda hasaplanylýan  $P_{K.B}$  berlen takyklygyň tejribe takyklyk bilen gabat gelýär we fraksiýanyň konsentrasiýasy olaryň molekulýar massasyna bagly bolup, kondensatyň fraksion pytratmasynyň netijesinde birinji ýakynlaşdyrmada çykarylan egri çyzyga has ýakynydyr (sur.3).



3-nji surat. Karaçaganak GKO-nyň 85 °C temperaturada bolan kontakt kondensasiýanyň izotermlieri:  
1 - oýlanyşykly; 2 - hasaply.

Gaz kondensat ojagynyň taslamalaşdyrylanda derňenilen gatlak garyndynyň faza halynyň üýtgemesiniň ähli galan parametrlerini kesgitlemek boýunça hasaplamalarda şu  $C_{5+}$ -iň düzümi ulanylýar. Kondensasiýanyň başlanmagynyň basyşyna ýakyn bolan basyşlaryň zolagynda, şeýle hem gaz kondensat garyndynyň separasiýanyň şertlerine ýakynlaşdyrylan basyşlarda suwuk fazanyň göwrüminiň hasaplaýyş ýalňyşlygy peselýär.

## IX. GATLAK GARYMYNYŇ FAZA DIAGRAMMASY

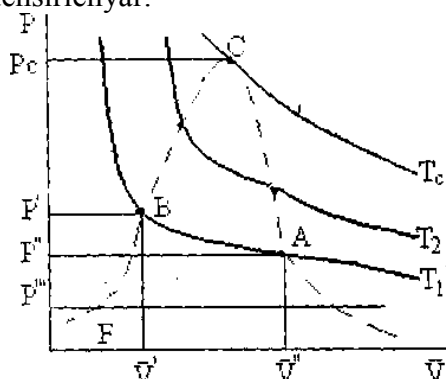
### 9.1. Iki komponentli sistemalaryň diagrammasy

Birden köp bolan komponentleri özünde saklaýan sistemalar üçin onuň düzümi ýaly fazanyň häsiýetnamasy ulanylýar. Fazanyň düzümi fazany düzýän garyndynyň her komponentiniň bölegi bilen kesgitlenilýär. Garyndyda komponentiň molynyň sanyny ähli komponentiň molynyň umumy sanyna bölmek diýen garyndynyň komponentiniň köplenç molýar böleginiň düşüňjesi ulanylýar.

#### „P Basyş - $\bar{V}'$ udel göwrümi“ diagrammasy

Bu diagramma hemişelik düzümde bolan **PVT** binar garyndyny häsiýetlendirýär (sur.1).

$T_1$  izoterma seredeliň. Goý, başlanma basyşda garyndy gaz halda bolsun. Izotermikaşa gysylyjylykda gaz fazasynyň basyşy beýgelyär.  $P''$  basyşda gaz fazasy  $\bar{V}'$  udel göwrümlü doýgun buga öwrülýär. A nokatda, doýgun buguň düzümi garyndynyň düzümine deňdir.  $P''$  basyşy berlen düzümdäki garyndynyň kondensasiýasynyň başlanma basyşy bolýar, sebäbi bu basyşda bugdan deňagramly suwuk fazanyň birinji damjasy kondensirlenýär.



1-nji surat.  $T_1 < T_2 < T_c$  bolanda binar sistemanyň "Basyş - udel göwrümi" diýen faza diagrammasy



Bu damjanyň düzümi buguň düzüminden eýýam tapawutlanýar. A nokady nem nokady diýip atlandyrylýar. Sistemanyň soňky aş gysylyjylykda, basyş yzygiderli artýar (ýöne arassa madda üçin  **$P=\text{const}$** ), birlikde bolan buguň we suwuklygyň düzümleri üznüksiz üýtgeýär. Buguň massasy kiçelýär, emma suwuklygyň massasy köpeliýär. Şonda-da sistemanyň düzümi we massasy üýtgemeýär. B nokatda ähli sistema  $\bar{V}'$  udel göwrümdäki ýeňil uglewodorod garyndylarynyň faza üýtgemesi doýgun suwuk halda durýar. Onda garyndynyň düzüminden tapawutlanan buguň diňe bir köpürjiginiň düzümi şertli galypdyr.

Eger-de giňelme prosesine seretsek, onda  $P'$  basyşda suwuklykdan buguň birinji köpürjigi ýüze çykýar. Şonuň üçin  $P'$  basyşa gaýnamanyň başlanma ýa-da bug emele gelme basyşy diýilýär. B nokada gaýnama nokady diýilýär. Soňky aş gysylyjylykda basyş birden artýar, sebäbi suwuklygyň gysyjylygy az bolýar.

Temperaturanyň beýgelmegi bilen kondensasiýanyň başlanma basyşy we gaýnamanyň başlanma basyşy ösýär. Şonda-da kondensasiýanyň başlanma basyşy gaýnamanyň başlanma basyşyndan hemişe-de azdyr. Ýöne temperatura köpelende, olaryň manylary we doýgun buguň we suwuklygyň udel göwrüminiň arasynda tapawut azalýar. C nokatda  $T_c$  kritiki temperatura we  $P_c$  kritiki basyş bolanda, deňagramly fazalaryň düzümleriniň we häsiýetleriniň arasyndaky bolan tapawutlar ýok bolýar. Berlen düzümiň her bir garyndy üçin dine bir kritiki nokady bardyr.

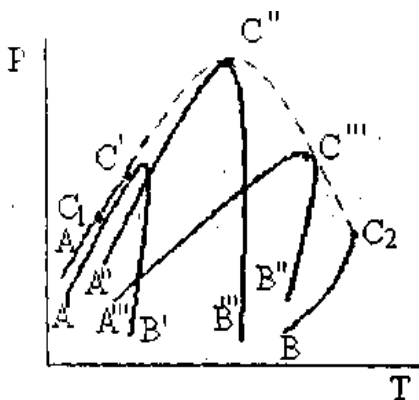
## 9.2. “P Basyş - T temperatura” diagrammasy

Iki fazaly bug-suwuklyk halda bar bolan bellenen düzümlü garyndylaryň termobarik şertleri P-T diagrammada getirilýär.

Arassa madda üçin kondensasiýanyň we gaýnama nokatlarynyň egri çyzygy berlen diagramma buglaryň

maýyşgaklygynyň egrisi  $P_s = P_s(T)$  bolar. Emma binar garyndylar üçin bu kritiki nokatda birleşen nem we gaýnama nokatlaryň egri çyzyklaryň bilen çäklendirilen hem-de garyndynyň iki komponentiniň bug maýyşgaklygynyň egri çyzyklary arasyndaky ýerleşýän zolakdyr. Zolagyň ölçegleri maddanyň garyndysyny döredýän buguň maýyşgaklygynyň egri çyzyklarynyň tapawutlaryny hem-de garyndynyň düzümine (garyndydaky komponentiň bölegine) baglydyr.

2-nji surata seredeliň  $AC_1$  we  $BC_2$  çyzyklar  $C_2$  we  $C_1$  kritiki nokatlarda gutarýan has uçujy we oňa görän az uçujy garyndynyň komponentlerine degişli buglaryň maýyşgaklygynyň egri çyzyklarydyr. Bu suratda üç binar garyndy üçin diagramma görkezilen. Eger-de garyndyda 1-nji komponent artyk bolsa, onda ikifazaly halyň zolagy  $A'C'B'$  çyzyklar bilen çäklendirilen zolagyň içinde ýerleşýär. Bu ýerde  $A'C'$  - gaýnama nokatlaryň egri çyzygy,  $B'C'$  - nem nokatlarynyň egri çyzygy,  $C'$  -  $P_c$  we  $T_c$  bolanda, kritiki nokady.



2-nji surat. Binar garyndynyň "basyş-temperatura" diýen faza diagrammasy.

Garyndynyň düzümindäki 2-nji komponenti köpeldeninden soň iki fazaly barlygyň zolagy sag tarapa süýşürilýär hem-de giňelýär. Onuň maksimal ölçegleri köplenç

1 we 2 komponentine deňeçer (ekwimolýar) saklaýjylygy bilen kanagatlanýar. Bu ýagdaýa  $A''C''B''$  zolagy degişlidir, bu ýerde  $A''C''$ ,  $B''C''$  deňşililikde gaýnama we nem nokatlarynyň egri çyzyklary;  $C''$  - kritiki nokady.

Garyndyda 2-nji, komponentiň artyk bolmagy bug-suwuklyk deňagramlygyň zolagyny buglaryň maýyşgaklygynyň egri çyzygyna ýakynlaşmagyna we daralmagyna alyp barýar. Bu ýagdaýa  $A'''C'''B'''$  zolagy degişlidir.

Kritiki izotermadan sag tarapda hem-de ikifazaly deňagramlygyň zolagynyň daşynda ýerleşýän binar sistemanyň dürli düzümler üçin garyndy gaz halda durýar. Eger-de temperatura kritiki temperaturadan pes bolsa, onda ikifazaly zolagyň daşynda bolan garyndysy suwuk halda durýar.

Binar garyndynyň kritiki nokatlary aýlanyp geýýän punktir çyzygyň 1-nji komponentiň kritiki nokadynda başlanýar we 2-nji komponentiň kritiki nokadynda gutarýar. Az uçujy 2-nji komponentiň saklaýjylygyny köpeltmek bilen garyndynyň kritiki temperaturasy üznüksiz artýar. Kritiki basyşy bolsa özüni başgaça alyp barýar. Başlanýan wagtda ol köpeldilýär, maksimuma ýetýär, soň peselýär. Garyndynyň kritiki temperaturasy hemişelik  $T_{c1} < T_c < T_{c2}$  deňdir, emma  $P_t$  basyşynyň  $P_{c1}$  we  $P_{c2}$  basyşlaryndan has ýokary bolmagy mümkin.

Garyndyda 2-nji komponentiň artyk bolmagy bug-suwuklyk deňagramlygyň zolagyny buglaryň maýyşgaklygynyň egri çyzyga ýakynrak süýşürilýändigine we daralýanlygyna alyp barýar. Bu ýagdaýa  $A'''C'''B'''$  zolak degişlidir.

Kritiki izotermadan sag tarapda hem-de ikifazaly deňagramlygyň zolagynyň daşynda ýerleşýän binar sistemanyň dürli düzümler üçin garyndy gaz halda durýar. Eger-de temperatura kritiki temperaturadan pes bolsa, onda ikifazaly zolagyň daşynda bolan garyndysy suwuk halda durýar.

Binar garyndynyň kritiki nokatlary aýlanyp geçilen

punktir çyzygyn 1-nji komponentiň kritiki nokatda başlanýar we 2-nji komponentiň kritiki nokadynda gutarýar. Azrak uçýan 2-nji komponentiň saklaýjylygyny köpeltmek bilen garyndynyň kritiki temperaturasy üznüksiz artýar. Kritiki basyşy bolsa özüni başgaça alyp barýar. Başlanýan wagtda ol köpeldilýär, maksimumy ýetýär, soň peselýär. Garyndynyň kritiki temperaturasy hemişelik  $T_{c1} < T_c < T_{c2}$  deňdir, emma  $P_c$  basyşy  $P_{c1}$  we  $P_{c2}$  basyşlaryndan has ýokary bolmagy mümkin.

### 9.3. Köp komponentli sistemalaryň diagrammasy

Iki we ikiden kop komponentli sistemalaryň arassa maddalardan esasy tapawudy bug we suwuk deňagramly fazalaryň birlikde bolmaklygyny mümkinçiliginde bolan basyşyň we temperaturanyň maksimal manylary  $P_c$  we  $T_c$  däldiginden ybyrat (sur.3). Berlen düzümlü garyndynyň bugsuwuklyk deňagramlygyny bolmaklygyna mümkinçilik berýän maksimal basyşa **krikondebara** diýilýär.

Şu ýagdaýdaky maksimal temperatura **krikondeterma** diýip atlandyrylýar.

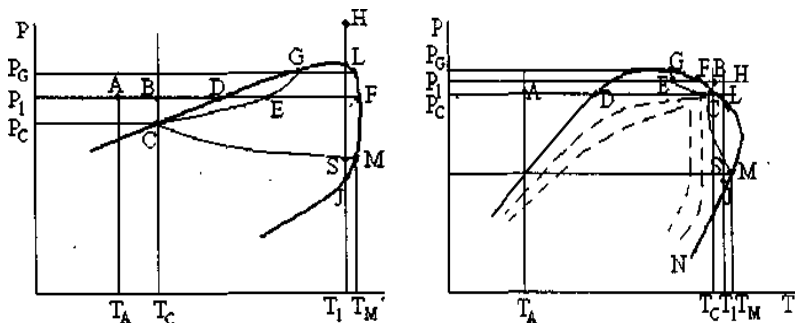
Aýratyn ýagdaýda  $P_c$  krikondebara deň bolmagy mümkin, emma şu temperaturada krikondeterminadan kiçi bolýar ( $C''$  nokat).

Krikondeterma bilen krikondebaranyň bilelikde bolmagy kritiki zolagyň daş-töweregindäki ters hadysalar (retrograd) bilen baglydyr.

Retrograd hadysalaryň zolagy kritiki nokat krikondebara laýyk gelýän faza çägendäki nokatdan çepde ýa-da sagda ýerleşýändigine baglylykda tapawutlanýar.

Kritiki nokat  $C$  bilen bellenen,  $G$  - nokady bolsa krikondebara laýyk gelýär,  $M$  nokady - krikondeterma.

Kritiki nokat krikondebara laýyk  $G$  nokatdan çepde ýerleşen ýagdaýa degişli. Iki prosese yzygiderlikde seredeliň.



3-nji surat. P-T faza diagrammasy:

a) kritiki nokat krikondebaradan çepde; b) kritiki nokat krikondebaradan sagda.

1.  $P_c < P < P_G$  temperaturanyň izobarik üýtgemegi. Goý,  $P = P_1$  we  $T = T_A$  A nokatda garyndy suwuk haldadyr. Temperaturany ýokarlandyryars.  $T_c$  ýetende, garyndy ýuwaş-ýuwaşdan üst bölünişigini döretmezden suwuk haldan gaz halyna geçýär. D nokatda gaz fazasy doýgun bolýar, ýagny ondan ilkinji suwuklygyň damjasy bölünip çykýar. Mundan beýläk temperaturany ýokarlandyrsak, retrograd proses bolup geçýär: suwuk faza kondensirlenýär we E nokatda onuň möçberi ýokary derejä ýetýär. Temperaturany artdyrsak, proses göni bolýar, suwuk faza bugarýar we F nokatda iň soňky damja ýitýär. Şeýlelikde, temperaturany ýokarlandyranymyzda **DE** kesimde kondensasiýanyň retrograd prosesi bolup geçýär. Temperaturany peseldenimizde, suwuklygyň retrograd bugarmasy bolup geçýär. Basyş näçe kritiki ýagdaýa ýa-da krikondebara ýakyn bolsa, retrograd hadysasy bolup geçýän temperaturalaryň aralygy gysga bolýar. Temperaturanyň izobarik üýtgemesinde retrograd hadysalaryň zolagy **CEGDC** ýapyk egriniň içinde ýerleşýär.

2.  $T_c < T < T_M$  basyşyň izotermik üýtgemesi. Goý,  $T = T_1$  we H nokatda garyndy

birfazaly gaz halynda bolýar. Basyşy peseldýäris. L nokatda garyndy doýgun bolýar we ondan birinji suwuk maddanyň damjasy bölünip çykýar. Mundan beýläk basyşy peseldenimizde retrograd prosesi bolup geçýär: suwuk faza kondensirlenýär we S nokatda onuň mukdary ýokary derejede bolýar.

Basyşyň peseldilmegi netijesinde proses göni bolýar: suwuk faza bugarýar we J nokatda ýitýär. Şeýlelikde, **LS** kesimde basyş peseldilende retrograd kondensasiýa prosesi bolup geçýär. Şu kesimde basyş ýokarlandyrylanda suwuk fazanyň retrograd bugarmasy bolup geçýär.

Temperatura näçe kritiki ýa-da krikondeterma ýakynlaşsa, şonça-da retrograd hadysasy bolup geçýän basyşyň aralygy gysga bolýar. Basyşyň izotermik üýtgemesinde bolup geçýän retrograd hadysanyň zolagy **CDGLFMSC** ýapyk egri bilen çäklenen. Sebäbi islendik  $T_c < T < T_M$  temperaturasy üçin suwuk fazanyň maksimal möçberi **MSC** çyzykdaky nokada degişli koordinatadaky basyşa deň bolanda ýetýär. **CDGLFM** çyzyga nemiň retrograd nokatlarynyň çyzygy diýilýär. M nokatdan başlanýan we J nokadyň üstünden aşak gidýän ikifazaly zolagyň çäGINE nem nokatlarynyň çyzygy diýilýär.

Şeýlelikde, eger-de kritiki nokat G nokatdan çepde ýerleşse, onda temperaturanyň izobarik üýtgemesinde synlanýan retrograd hadysanyň zolagy, basyşyň izotermik üýtgemesinde bolup geçýän retrograd hadysalaryň has uly zolagynyň bölegi bolup durýar.

1b suratda kritiki nokat krikondebara laýyk G nokatdan sagda ýerleşen ýagdaýa degişli. Bu ýerde kesgitli termobarik şertlerde temperaturanyň izobarik üýtgemesi we basyşyň izotermik üýtgame prosesi retrograd hadysalar bilen geçýär. Olar **CFGEC** we **CLMSC** ýapyk çyzyklar bilen çäklenen zolaklarda bolup geçýär. Şu ýagdaýda retrograd hadysalaryň zolaklary diňe bir umumy nokady bardyr - C kritiki nokat we ondan başga-da **CFGEC** (sur.1b) zolagynda başgaça bolup geçýär.

$P_c < P < P_G$  temperaturanyň izobarik üýtgeşe prosesini synlalyň. Goý,  $P = P_1$  we  $T = T_A$  A nokatda garyndy suwuk halda. Temperaturany ýokarlandyralyň. D nokatda garyndy doýgun suwuk faza ýagdaýynda bolýar, ýagny ondan ilkinji bug köpürjigi bölünip çykýar. Mundan beýläk temperatura ýokarlandyrylsa, bug fazanyň döremeginiň göni prosesi bolup geçýär. Emma E nokatda bug fazanyň mukdary maksimuma ýetýär we temperaturany beýgelende onuň mukdary birmeňzeş peselýär, ýagny kondensasiýanyň retrograd prosesi bolup geçýär. F nokatda bug fazasy ýitýär, ähli garyndy ýene-de suwuk faza öwrülýär.

Soňky gyzdaryş  $T_c$  garyndyny ýuwaş-ýuwaşdan üst bölünişigi döretmän suwuk haldan gaz hala geçmekligine getirýär. Diýmek, EF kesimde temperaturanyň ýokarlandyrmagy netijesinde retrograd kondensasiýasy, temperaturanyň peseldilmegi bolsa retrograd bugarmasyny emele getirýär.

**CLMSC** zolakda basyşyň izotermik üýtgemesinde **CDGLFMS** (sur.1a) zolakdaka meňzeş retrograd proses bolup geçýär. Basyşyň izotermik peseldilmegi kondensasiýanyň retrograd prosesi, basyşyň beýgeldilmegi bolsa, retrograd bugarmasy bilen dolandyrylýar. MSC maksimal kondensasiýanyň egrisi, CLM - nem nokatlarynyň retrograd çyzygy, MJN we onuň dowamy - nemiň göni nokatlarynyň çyzygy. Ikifazaly zolagyň içinden suwuklygyň birmeňzeş göwrümini saklaýjy nokatlarynyň üstünden izoplera diýilýän çyzygy geçirilýär. Hemme izopleralar kritiki nokatda birleşýär.

## 9.4. Uçujylyk we işjeňlik

Gazkondensat ýarymlarynyň hasaplamalarynda suwuk faza bilen gaz fazanyň arasyndaky baglanyşdyrylan uçujylyk we işjeňlik düşüňjeleri ulanylýar. Gazsuwuklyk deňagramlylygynyň hasaplamalarynda uçujylyk düşüňjesini Lýus girizipdir. Ideal gaz garymynyň i-nji komponentiniň himiki potensialynyň deňlemesiniň görnüşini saklamak bilen

aşakdakyny deňligi hödürleýär:

$$\varphi_i(P, T) = \varphi_{iid}(T) + RT \ln P_i$$

we bu ýerde  $P_i$  ululygy basyşa bagly bolan  $f_i$  funksiýa bilen çalşyryp himiki potensialy hasaplamagyň deňlemesine uçujylyk düşünjesini girizýär:

$$\varphi_i(P, T) = \varphi_{iid}(T) + RT \ln f_i$$

fiziki nukdaý nazardan uçujylyk bu “düzedilen” ideal gazynyň komponentleriniň doýgun bugunyň maýyşgaklygy ýa-da “düzedilen” ideal gaz garymynyň komponentleriniň parsial basyşy.

f uçujylyk “düzedilen” basyşy aňlatmak bilen, ideal gaz halynyň deňlemesinde goýulanda real gazyň häsiýetlerini aňlatma ukyplydyr. Bu ýagdaýda her bir real gaz üçin uçujylygy dürli temperaturalar we basyşlar üçin tejribede kesgitlemelidir.

Bir komponentli ideal gaz üçin uçujylyk basyşa deňdir. Ideal gaz garymlary üçin bolsa komponentiň parsial basyşyna deňdir:  $f_i = y_i P$ .

Gaz we suwuklyk fazalarynyň termodinamik deňagramlylyk ýagdaýynda fazalardaky komponentleriň basyşlarynyň, temperaturalarynyň we himiki potensiallarynyň deňligi gözegçilik edilýär. Faza basyşlarynyň we temperaturalarynyň deň halatynda komponentleriň himiki potensialy fazadaky garymyň komponentleriniň uçujylygyna deňdir.

Deňagramlylykdaky gaz we suwuklyk fazalarynyň i-nji komponentiniň uçujylygyny aşakdaky formuladan kesgitlemek bolar:

$$\ln \frac{f_{ig}}{y_i P} = \frac{1}{RT} \int_{P_o}^P \left( V_{ig} - \frac{RT}{P} \right) dP;$$

$$\ln \frac{f_{is}}{y_i f_{iso}} = \frac{1}{RT} \int_{P_o}^P (V_{is} - V_{iso}) dP;$$

bu ýerde  $f_{ig}$ ,  $f_{is}$  – degişlilikde gaz we suwuk fazadaky komponentleriň uçujylygy;  $P$  – gaz garymynyň basyşy;  $f_{iso}$  –



garymyň temperaturasynda arassa komponentiň uçujylygy;  $V_{ig}$ ,  $V_{is}$  – gaz we suwuk fazadaky komponentleriň molýar göwrümi;  $V_{i,so}$  – P we T şertlerde i-nji komponentiň molýar göwrümi.

Faza üýtgemesiniň termodinamikasynda  $f_{ig}$ -nyň  $y_i P$  bolan gatnaşygy  $\psi_i$  uçujylyk koeffisiýenti,  $f_{is}$ -nyň  $x_i f_{iso}$  bolan gatnaşygy bolsa  $v_i$  işjeňlik koeffisiýenti ady bilen mälimdir:

$$\psi_i = f_{ig}/y_i P; \quad v_i = f_{is}/x_i f_{iso}$$

fazalaryň arasynda deňagramlylyk bolanda  $f_{ig} = f_{is}$ :

$$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{v_i f_{iso}}{\psi_i P}$$

bu ýerde  $K_i$ –komponentiň deňagramlyk koeffisiýenti ýa-da paýlanma koeffisiýenti.

## 9.5. Paýlanma koeffisiýenti

Molýar ülüşde berilen köp komponentli garyma seredip geçeliň ( $\Sigma \eta_i = 1$ ). Bu garym berlen şertlerde iki fazada: gaz – suwuklyk halynda termodinamik deňagramlylyk ýagdaýynda.

Garymyň massasy hemişelik. Garymyň basyşy göwrüme görä üýtgeýär. Garymyň temperaturasy hemişelik ýagdaýda.

Hemişelik massada we garymyň düzüminde hem-de basyşyň izotermik üýtgemesinde garymyň komponentleriniň bir fazadan beýlekä geçmegi we basyşyň üýtgemeklik prosesinde suwuk fazanyň komponentleriniň bugarmagy ýa-da bug fazasyndan komponentleriň kondensasiýasy bolup geçýändigine baglylykda fazalaryň arasyndaky gatnaşyklaryň üýtgemeklik prosesine galtaşma (birsaparlyk) kondensasiýasy ýa-da galtaşma (birsaparlyk) bugarmasy diýilýär.

Berlen basyşda we temperaturada başlangyç garymyň umumy N mol sany gaz halyndaky  $N_g$  we suwuklyk halyndaky  $N_s$  mol sanlarynyň jemine deňdir:

$$N = N_g + N_s$$

i-nji komponentiň mol sany fazalaryň arasynda aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$\eta_i N = y_i N_g + x_i N_s$$

bu ýerde  $\eta_i$ ,  $y_i$ ,  $x_i$  – degişlilikde  $i$ -nji komponentiň başlangyç garymdaky, gaz fazadaky we suwuklyk fazadaky molýar üleşi.

Ýokardaky deňlemäniň iki tarapyny hen  $N$ -e bölüp alarys:

$$\eta_i = y_i \frac{N_g}{N} + x_i \frac{N_s}{N} = y_i V + x_i L$$

bu ýerde  $V = \frac{N_g}{N}$  we  $L = \frac{N_s}{N}$  - gapdaky gaz we

suwuklyk fazanyň molýar üleşi  $V + L = 1$ .

Ýokardaky deňleme gapdaky garymyň bir moly üçin komponentleriň gaz we suwuklyk fazalarynyň arasynda paýlanmagynyň maddy balansyny ýazyp beýän edýär.

$i$ -nji komponentiň gaz halyndaky mol üleşini suwuklyk halyndaky mol üleşine bolan gatnaşygyna şol komponentiň paýlanma koeffisiýenti diýilýär:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i}$$

Paýlanma koeffisiýenti faza deňagramlylygynyň hemişeligi ady bilen meşhurdyr. Bu ulylyk köp komponentli garymyň faza deňagramlylygynyň amaly termodinamikasynyň fundamental deňlemesini çözmekde zerur ululykdyr:

$$y_i = \frac{\eta_i K_i}{V(K_i - 1) + 1};$$

$$x_i = \frac{\eta_i}{V(K_i - 1) + 1};$$

Bu deňlemeler tebigy nebit we gazkondensat garymlarynyň gaz – suwuklyk deňagramlylygynyň hasaplamalarynyň esasynda ýatyr.

Komponentleriň paýlanma koeffisiýenti esasan üç ugur boýunça kesgitlenýär: gabat gelme basyşynyň üsti bilen, gaz halynyň deňlemesini çözmek bilen hem-de tejribe işlerini

geçirmek bilen.

Paýlanma koeffisiýenti her bir komponent üçin mahsus bolup, uglewodorod düzüjileriniň we uglewodorod däl düzüjileriniň paýlanma koeffisiýentleriniň kesgitlenişi tapawutlanýandyr.

Şeýlelikde paýlanma koeffisiýenti basyşa, temperatura bagly funksiýadyr. Ol gaz we suwuklyk fazanyň biri-birine edýän täsirini takyk komponent üçin häsiýetlendirýär hem-de gaz we suwuklyk fazalarynda komponentiň mukdaryny kesgitlemekde esasy ululykdyr.

### **9.6. Köp komponentli garymyň faza konsentrasiýasynyň deňlemesi**

Köpkomponentli ulgamyň faza ýagdaýy faza konsentrasiýasynyň deňlemesi arkaly ýazylyp beýan edilýär.

Faza konsentrasiýasynyň deňlemesi deňagramly termodinamik ulgamda her fazanyň mukdaryny kesgitlemäge we ähli fazadaky komponentleriň konsentrasiýasyny (fazanyň düzümini) anyklamaga mümkinçilik berýär.

Iki fazaly deňagramlylykda (gaz-suwuklyk) bolan garymyň faza konsentrasiýasynyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir.

$$x_i = \eta_i / [W (K_i - 1) + 1], \quad (9.1)$$

bu ýerde  $W = M_g / M$  - garymdaky gaz fazanyň molýar üleşi,  $M_g$ ,  $M$  - gaz fazanyň we garymyň mol sany;  $\eta_i$ ,  $x_i$  -  $i$ -nji komponentiň gatlak garymyndaky we suwuk halyndaky molýar üleşi.

$y = K_i x_i$  bolanlygy üçin:

$$y_i = \eta_i K_i / [W (K_i - 1) + 1], \quad (9.2)$$

$\eta_i$ ,  $y_i$ ,  $x_i$  - üçin jemleýji gatnaşyk:

$$\sum_{i=1}^N \eta_i = 1, \quad \sum_{i=1}^N y_i = 1, \quad \sum_{i=1}^N x_i = 1. \quad (9.3)$$

(9.1), (9.2) görnüşindäki faza konsentrasiýasynyň

deňlemesi (9.3) jemleýji gatnaşyk bilen gaz fazanyň  $W$  molýar uluşine we  $K_i$  komponentleriň paýlanma koeffisiýentini berlen  $\eta_i$  düzümlü garym üçin kesgitlemeklige mümkinçilik berýär.  $W$  ululugy hasaplamak üçün Reçforduň hödürlän deňlemesi giňden ulanylýar:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - x_i) = \sum_{i=1}^N \frac{\eta_i (K_i - 1)}{W(K_i - 1) + 1} = F(\eta_i, K_i, W) = 0 \quad (9.4)$$

(9.4) deňlemäni çözmek üçün Nýutonyň usulyny ýa-da hordalar usulyny ulanmaklygy maslahat berýäris.

## X. GABAT GELME BASYŞY WE ONY HASAPLAMAGYŇ USULLARY

Bu usul giň ýaýran usuldur. Özünüň tejribe arkaly alnan baglanyşyklary esaslanýandygyna garamazdan bu usul ýeterlik takyklykda netijeleri berýär.

Kritiki basyşda we berlen temperaturada binary uglewodarod garymlarynyň komponentleriniň deňagramlylyk hemişeliginiň 1-e gabat gelme häsýetine esaslanýan bu usul giňden mälimdir (surata seret). Komponentli garymlaryň komponentleriniň deňagramlylyk hemişelikleri diňe kritiki basyşda we kritiki temperaturada 1-e gabat gelýärler. Kritiki temperatura gabat gelmeýän temperaturada deňagramlylyk hemişeliginiň 1-e gabat gelýän basyşyna hyýaly gabat gelme basyşy diýilýär. Gabat gelme basyşy arkaly faza deňagramlylyk hemişeligini kesgitlemek usuly 1945 ýylda Henson bilen Braunyň tejribeler arkaly alan dürli garymlaryň düzümine girýän komponentleriň faza deňagramlylyk hemişeligi basyş, temperatura we gabat gelme basyşy deň halatlarynda deňdirler diýen düşüňjä esaslanýar.

Şeýlelikde, komponentiň deňagramlylyk hemişeligi basyşa, temperatura we gabat gelme basyşyna bagly funksiýadyr.

Eger-de  $M_{C7+}$ -niň molekulýar massasy we dykzyzlygy belli bolsa gabat gelme basyşy takmynan aşakdaky formula bilen hasaplamak bolar:

$120 < M_{C7+} \rho_{C7+} \leq 200$  bolanda

$$P_{g.B} = 10.2(90 - 18.1 \cdot 10^{-2}t - 0.423 \cdot 10^{-4}t^2) \cdot \left( \frac{M_{C7+} \rho_{C7+}}{200} \right);$$

$90 \leq M_{C7+} \rho_{C7+} < 120$ : bolonda

$$P_{g.B}^I = P_{g.B} / (1.2 + 0.399 \cdot 10^{-4}(t - 100)^2).$$

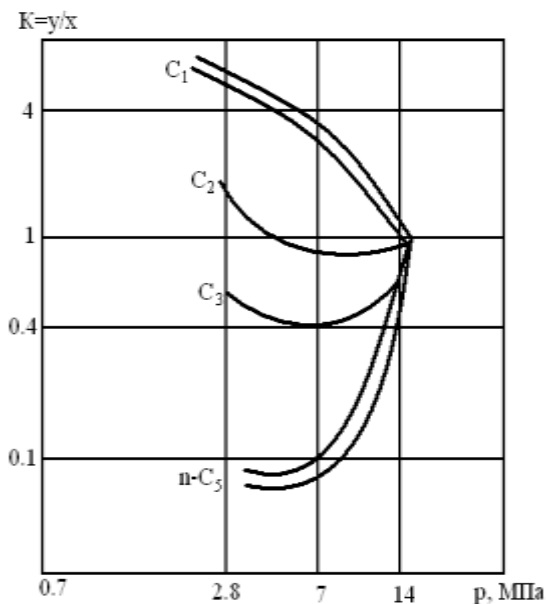
Haýsy hem bolsa bir usul bilen garymyň gabat gelme basyşy kesgitlenenden soň, berlen basyş we temperatur üçin uglewodorodlaryň we azodyň faza deňagramlylyk hemişeligini SewkawNIIGazyň tablisasyndan ýa-da NGAA Amerikan gazbenzin önümçilik asosasiýasynyň “hemişelikleriň atlasyndan” tapýarlar. EHM-lerde hasaplamalar üçün G.R.Gurewiç we G.S. Stepanowa metandan n-undekana çenli parafin uglewodorodlarynyň we azodyň deňagramlylyk hemişeliklerini  $K_i(P, t, P_{g.B})$  üçünji derejeli polinom arkaly ýazdylar. Kömýrturşy gazynyň we kükürtli wodorodyň deňagramlylyk hemişeligi:

$$K_{CO_2} = (K_{CH_4} * K_{C_2H_6})^{1,2}$$

$$K_{H_2S} = 13,431086(a_1 + a_2 \bar{K}_{C_2H_6})(a_3 + a_4 \bar{K}_{C_3H_8})$$

bu ýerde:  $\bar{K}_{C_2H_6} = K_{C_2H_6} / 16.2588$ ;  $\bar{K}_{C_3H_8} = K_{C_3H_8} / 8.66576$ ;  
 $a_1 = 0.0016766885$ ;

$a_2 = 0.98823311$ ;  $a_3 = 1.0331174$ ;  $a_4 = -0.0008977$ .



1-nji surat

$C_{5+}$  ýa-da  $C_{7+}$  galyndylaryň faza deňagramlylyk hemişeligini aşakdaky formulalardan kesgitleseň bolar:

$$K_{Cn+}=K_{Cn}\left(\frac{KCn+}{KCn}\right)^m;$$

$$M=\left(\frac{MCn+-MCn}{50\rho Cn+}\right)^{1/4}\left(1-\frac{P}{Pgb}\right)^{1/4}$$

bu ýerde  $n \geq 5$ ;

### **10.1. Durgun gaz kondensatynyň häsiýetlerini kesgitlemek**

Häzirki wagtda promyselde we tejribehanalarda gazyň goryny, kondensatyň goruny, gazdan kondensatyň çykyşyny hasaplamak üçin maglumatlar taýýarlanylýar.

Häzirki zaman tehnologiýasyna laýyklykda gatlak önüminiň faza üýtgemesini (gatlak-guýy-gazy taýýarlaýyş desgalary-turbageçirijiler) hasaplamak üçin aşakdaky maglumatlar zerurdyr.

1. Guýularyň gazkondensatyna promysel derňew. Gazyň alnyşynyň, suwuklygyň alnyşynyň şertleri takyk görkezilmelidir. Bulardan başgada guýunyň önüm berijiligi, gatlak, düýp, üst basyşlary we temperaturalar, guýunyň konstruksiýasy takyk görkezilmelidir.

2. Promysel derňewi mahalynda guýulardan alnan önüm tejribe derňewleriniň netijeleri we şertleri: degazasiýanyň basyşy we temperaturasy, debutanizasiýanyň basyşy we temperaturasy. Çig kondensatyň we debutanizirlenen kondensatyň (DBK) bölünip alnan kondensatyň mukdary kesgitlenmelidir.

3. Separirlenen gazyň, butansyzlandyrylan gazyň hem-de DBK-nyň himiki düzümi, molekulýar agramy we dykzlygy häzirki zaman takyklygynda kesgitlenmeli.

4. DBK-nyň fraksiýon düzümi, molekulýar massasy we bölünen fraksiýalaryň dykzlygy kesgitlenmeli. Fraksiýa

düzümi gaýnama temperaturasy boýunça kowma arkaly alynýar. 2 we 4 punktdaky maglumatlar gatlak gazynyň düzümini hasaplamak üçin ulanylýar.

5. DBK-nyň toparlaýyn düzümi. Bu maglumatlar kondensatyň fraksiýalarynyň häsiýetini hasaplamak üçin gerek bolan kondensatyň fraksiýalarynyň häsiýetiniň faza deňagramlylyk hasaplamalarynda ulanylýar.

6. DBK-nyň haryt häsiýetleri: benziniň potensial mukdary, oktan we sitan sanlary, kondensatyň gaýtadan işlemegiň mümkin bolan ugurlary barada netije.

Bu maglumatlar gazkondensat ojagy özleşdirilende we önümler taýýarlanylanda onuň haryt häsiýetiniň üýtgemegini kesgitlemek üçin ulanylýar.

$C_{5+y}$ -nyň çig kondensatdaky mukdary onuň degazasiýanyň gazyndaky  $K_1$  mukdarynyň, debutanizirlenendäki gazyň  $K_2$  mukdarynyň we debutanizirlenen kondensatyň  $K_3$  mukdarynyň jemine deňdir:

$$K = K_1 + K_2 + K_3, \text{ g/m}^3,$$

bu ýerde  $K_1 = aqL_1M_1/100 \cdot 24,04V, \text{ g/m}^3$ ;

$K_2 = bqL_2M_2/100 \cdot 24,04V, \text{ g/m}^3$ ;

$K_3 = dq\rho_4^{20}/V, \text{ g/m}^3$ ,

bu ýerde  $L_1, L_2$  – degazasiýanyň we debutanizasiýanyň gazyndaky  $C_{5+y}$  mukdary, mol %;  $M_1, M_2$  – degazasiýanyň we debutanizasiýanyň gazyndaky  $C_{5+y}$  molekulýar massasy, g/mol;  $a$  – degazasiýada bölünip çykýan gazyň mukdary, l;  $b$  – debutanizasiýada bölünip çykýan gazyň mukdary, l;  $q$  – bölünip çykan kondensatyň mukdary,  $\text{sm}^3/\text{m}^3$ ;  $V$  – kondensatly gabyň göwrümi,  $\text{sm}^3$ ;  $\rho_4^{20}$  –  $C_{5+y}$ -nyň 20<sup>0</sup>S-daky dykzlygy,  $\text{g/sm}^3$ ;  $d$  – debutanizirlenen kondensatdaky pentanyň mukdary, mol.%.

$C_{5+y}$ -nyň separirlenen gazdaky mukdaryny aşakdaky formuladan kesgitlemek bolar:



$$L = 10 \cdot L_3 \frac{M_3}{24,04}$$

bu ýerde  $L_3$  – separirlenen gazdaky  $C_{5+y}$ -nyň mukdary, mol.%;  
 $M_3$  –  $C_{5+y}$ -nyň molekulýar massasy.

Gazdaky  $C_{5+y}$ -nyň potensial mukdary bir basgançakly separasiýa üçin

$$P = \frac{q}{V} \left( 0,03aL_1 + 0,03bL_2 + b\rho_4^{20} \right) + 10 \frac{L_3 M_3}{24,04}$$

Iki basgançakly separasiýa üçin:

$$P = \frac{q_1}{V_1} \left( 0,03a_1L_{1,1} + 0,03b_bL_{1,2} + b_1\rho_{4,1}^{20} \right) + \\ + \frac{q_2}{V_2} \left( 0,03a_2L_{1,2} + 0,03b_2L_{2,2} + b_2\rho_{4,2}^{20} \right) + 10L_{3,2} \frac{M_3}{24,04}$$

Çig kondensatyň göwrüminiň ýerleşme koeffisienti

$$K_y = \frac{q_{\text{deg}}}{q}; \quad \text{sm}^3/\text{m}^3,$$

bu ýerde  $q_{\text{deg}}$  – atmosfera şertlerinde degazirlenen kondensatyň mukdary,  $q$  – çig kondensatyň mukdary.

1  $\text{m}^3$  separirlenen gazyň hasabyndan degazirlenen kondensatyň mukdary

$$q_{\text{deg}} = q \frac{b'}{V},$$

bu ýerde  $b'$  – gabyň göwrümindäki degazirlenen kondensatyň düzümindäki  $C_{5+y}$  mukdary.

Onda  $K_y = b'/V$ .

## 10.2. Uglewodorod komponentleriniň faza paýlanyş koeffisiýenti

Gapda ýerleşýän termodinamiki deňagramlyk şertlerindäki iki fazaly haldaky bug-suwuklygy berlen

düzümlüň köp komponentli garynda seredeliň. Garyndynyň massasy we temperaturasy hemişelik, garyndynyň basyşy göwrümiň üýtgemegi netijesinde üýtgeýär.

Hemişelik massada we garyndynyň düzüminde hem-de basyşyň izotermiki üýtgemesinde garyndynyň komponentleriniň bir fazadan beýlekä geçmegi we basyşyň üýtgemeklik prosesinde suwuk fazanyň komponentleriniň bugarmagy ýa-da bug fazadan komponentleriň kondensasiýasy bolup geçýändigine baglylykda fazalaryň arasyndaky gatnaşyklaryň üýtgemeklik prosesine galtaşyk (birsaparlyk) kondensasiýa ýa-da galtaşyk (birsaparlyk) bugarma diýilýär.

Berlen gapda ýerleşýän başlyngyç garyndynyň  $N$  mol sany  $P$  basyşda we  $T$  temperaturada suwuk fazanyň  $N_c$  we bugyň  $N_b$  mol sany na den.

$$N = N_b + N_c, \quad (10.1)$$

$i$ -komponentiň mol sany fazalaryň arasynda şu aşakdaky görnüşde paýlanýar

$$\eta_i N = y_i N_b + x_i N_c, \quad (10.2)$$

şu ýerde  $\eta_i$ ,  $y_i$ ,  $x_i$  başlangyç garyndyda, bug we suwuk fazalarda  $i$ -komponentiň molýar birligi.

Gapdaky garyndynyň bir mol üçin  $i$ -komponentiň garyndyda paýlanmagynyň material balansynyň deňlemesini ýazalyň

$$\eta_i = y_i \frac{N_b}{N} + x_i \frac{N_c}{N} = y_i V + x_i L, \quad (10.3)$$

şu ýerde  $V + L = 1$  den bolanda,  $V = \frac{N_b}{N}$  we  $L = \frac{N_c}{N}$  - molýar birlikler gapdaky bug we suwuk fazalaryna degişlilikde.

(10.3) deňlemä  $y_i = k_i x_i$  we  $L = 1 - V$  goýup, aşaky deňlemäni alarys

$$x_i = \frac{\eta_i}{V(k_i - 1) + 1}; \quad (10.4)$$

$$y_i = \frac{\eta_i k_i}{V(k_i - 1) + 1}; \quad (10.5)$$

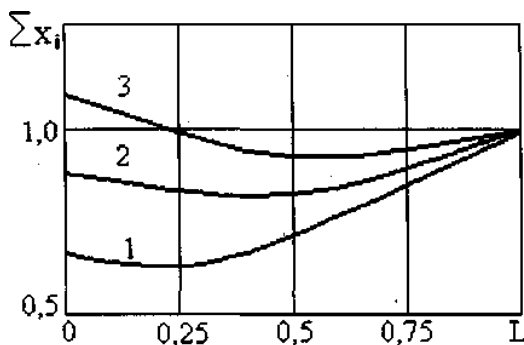
Bu deňlemelere garyndynyň komponentiniň faza konsentrasiýasynyň deňlemeleri diýilýär. Olar berlen  $P$ ,  $T$ , garyndynyň düzümi we faza deňagramlyk konstantynda komponentiň konsentrasiýasyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Bu deňlemeleri suwuk fazanyň  $L$  molýar böleklerinden  $\sum x_i$  baglanyşygynyň (suwuk fazada molýar birliginiň jemi) derňäliň (sur.1).

Eger-de  $L = 0$   $\sum x_i = \frac{\eta_1}{k_1} + \frac{\eta_2}{k_2} + \dots < 1$ , onda garyndyda

suwuk faza ýok, garyndy bug halyna (1, 2 çyzyk). Eger-de  $\sum x_i > 1$   $L = 0$  (3 çyzyk), onda suwuk faza bardyr  $\sum x_i = 1$  we  $L = 1$  - garyndy birkfazly suwuk halda bolýar.

$\sum y_i = \sum \frac{\eta_i}{k_i} = 1$   $L = 0$  suwuk fazanyň emele gelme

egrisini kesgitleýär ýa-da nemiň nokatlary egri çyzygy emele getirýär.  $\sum y_i = \sum \eta_i k_i = 1$   $V = 0$  suwuklykdan bug fazanyň emele gelip, başlamagynyň egrisini ýa-da gaýnamanyň nokatlarynyň egrisini kesgitleýär.



1-nji surat. Suwuk fazanyň  $L$  molýar böleklerinden  $\sum x_i$  baglanyşygy

### 10.3. Deň gelýän basyş boýunça faza paýlanyş koeffisiýentini kesgitlemek

Bu empiriki usul garyndynyň kritiki basyşynda we bellenilen temperaturada ýeňil binar parafin uglewodorodlar garyndysynyň komponentleriniň birliginiň deňagramlyk konstantalarynyň birlik çatrygynda birleşýän faktyna esaslanýandyr. Komponentleriň deňagramlyk konstantasy köp komponentli garyndylarda diňe garyndynyň  $P_{kr}$  we  $T_{kr}$  deň gelýär. Başga temperaturada deňagramlyk konstantasynyň birlige deň gelen basyşyna, hyýaly basyşyň deňleşmesi diýilýär. Deňagramlyk konstantasy dine iki fazaly haldan bir fazaly hala geçýän basyşa çelli bolup biler.

Basyşyň deň gelmegi boýunça deňagramlyk konstantasyny kesgitlemek usulyň esasynda Henson we Braunyň dürli garyndylaryň düzümine girýän komponentleriň deňagramlyk konstantasy,  $P$ ,  $T$  we şu garyndylaryň deň geliş deňligini tassyklan eksperimentleri goýlan. Basyşyň deňgelmesi iki deňagramly fazalaryň komponentleriniň düzüminiň funksiýasydygyna garamazdan, praktikada başlangyç garyndynyň düzümi ýa-da berlen basyşda suwuk fazanyň düzümi bilen kesgitlenýär.

Molekulýar massa  $M_{c7+}$  we dykyzlyk  $\rho_{c7+}$  belli bolsa, formula boýunça basyşyň deň gelmegi takmynan kesgitlenýär.

Eger-de  $120 \leq M_{c7+} \leq 200$ , onda

$$P_{dñ}=1,02 \left( 90 - 18,1 \cdot 10^{-2} T - 0,423 \cdot 10^{-4} T^2 \right) \frac{M_{c7+} + \rho_{c7+}}{200}. \quad (10.1)$$

Eger-de  $90 < M_{c7+} < 120$ , onda

$$P_{dñ} = \frac{P_{dn}^{(1)}}{1,2 + 0,399 \cdot 10^{-4} (T - 100)^2}, \quad (10.2)$$

Şu ýerde  $P_x^{(1)}$  – (1) boýunça kesgitlenen basyş.

Suwuk fazanyň belli bolan düzümi boýunça

$$P_{\text{dñ}} = 356,06(a_1 + a_2 \overline{M}_{c_{2+}})(a_3 + a_4 \overline{T}), \quad (10.3)$$

Şu ýerde

$\overline{M}_{c_{2+}} = \frac{M_{c_{2+}}}{142,93}$ ;  $\overline{T} = \frac{T}{310,66}$ ;  $a_1 = 0,12258886$ ;  $a_2 = 1,225988$ ;  
 $a_4 = 1,1242308$ ;  $M_{c_{2+}} - C_{2+}$  ondan ýokarsy komponentleriň garyndysynyň molekulýar massasy:

$$M_{c_{2+}} = \frac{\sum_{i=c2}^n g_i M_i}{\sum_{i=c2}^n g_i}; \quad g_i = \frac{x_i M_i}{\sum_{i=c2}^n x_i M_i}, \quad (10.4)$$

Şu ýerde  $M_i$  –  $i$  komponentiň molekulýar massasy;  $g_i$  –  $C_{2+}$  galp komponentde  $i$  komponentiň massalaýyn bölegi.

#### 10.4. Gazkondensat garymynyň faza üýtgemesiniň analitik çözüwi

Köpkomponentli ulgamyň faza ýagdaýy faza konsentrasiýasynyň deňlemesi arkaly ýazylyp beýan edilýär.

Faza konsentrasiýasynyň deňlemesi deňagramly termodinamik ulgamda her fazanyň mukdaryny kesgitlemäge we ähli fazadaky komponentleriň konsentrasiýasyny (fazanyň düzümini) anyklamaga mümkinçilik berýär.

Iki fazaly deňagramlylykda (gaz-suwuklyk) bolan garymyň faza konsentrasiýasynyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýedir.

$$x_i = \eta_i / [W (K_i - 1) + 1], \quad (10.4.1)$$

bu ýerde  $W = Mg/M$  - garymdaky gaz fazanyň molýar üleşi,  $Mg$ ,  $M$  - gaz fazanyň we garymyň mol sany;  $\eta_i$ ,  $x_i$  -  $i$ -nji komponentiň gatlak garymyndaky we suwuk halyndaky molýar üleşi.

$y = \kappa_i x_i$  bolanlygy üçin:

$$y_i = \eta_i K_i / [W (K_i - 1) + 1], \quad (10.4.2)$$

$\eta_i, y_i, x_i$  - üçin jemleýji gatnaşyk:

$$\sum_{i=1}^N \eta_i = 1, \quad \sum_{i=1}^N y_i = 1, \quad \sum_{i=1}^N x_i = 1. \quad (10.4.3)$$

(10.4.1), (10.4.2) görnüşindäki faza konsentrasiýasynyň deňlemesi (3) jemleýji gatnaşyk bilen gaz fazanyň  $W$  molýar uluşine we  $K_i$  komponentleriň paýlanma koeffisiýentini berlen  $\eta_i$  düzümlü garym üçin kesgitlemeklige mümkinçilik berýär.  $W$  ululugy hasaplamak üçin Reçforduň hödürlän deňlemesi giňden ulanylýar:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - x_i) = \sum_{i=1}^N \frac{\eta_i (K_i - 1)}{W(K_i - 1) + 1} = F(\eta_i, K_i, W) = 0 \quad (10.4.4)$$

(10.4.4) deňlemäni çözmek üçin Nýutonyň usulyňy ýa-da hordalar usulyňy ulanmaklygy maslahat berýäris.

Gaz - suwuklyk deňagramlylygyny hasaplamak üçün gaz halynyň deňlemesini ulanmaklyk termodinamikanyň faza deňagramlylygynyň düşüňjesi- komponentleriň uçujylygynyň deňligi baradaky teoriýa esaslanandyr.

Garymyň  $i$ -nji komponentiniň  $f_i$ - uçujylygyny ýa-da gaz halyndaky  $\psi_i$  we suwukluk halyndaky  $\gamma_i$  uçujylyk koeffisiýentleri hasaplamak üçün aşadaky aňlatmalar ulanylýar:

$$\ln f_i = \ln \frac{n_i RT}{v} + \frac{1}{RT} \int_v^\infty \left[ \left( \frac{\partial p}{\partial n_i} \right)_{T, v, n_{j(j \neq i)}} - \frac{RT}{v} \right] dv \quad (10.4.5)$$

$$\ln f_i = \ln(n_i \rho T R) - \frac{1}{RT} \int_\rho^0 \left[ \left( \frac{\partial p}{\partial n_i} \right)_{T, \rho, n_{j(j \neq i)}} - RT \rho \right] \frac{d\rho}{\rho^2} \quad (10.4.6)$$

$$\ln \psi_i = \ln \frac{f_{ir}}{y_i p} = \frac{1}{RT} \int_0^p \left( \bar{v}_{ir} - \frac{RT}{p} \right) dp, \quad (10.4.7)$$

$$\ln \gamma_i = \ln \frac{f_{i\kappa}}{x_i f_{i\kappa}^0} = \frac{1}{RT} \int_0^p (\bar{v}_{i\kappa} - v_{i\kappa}^0) dp, \quad (10.4.8)$$

Bu ýerde  $V_i$ - parsial molýar göwrüm,  $\eta_i$ - i-nji komponentiň mol sany.

$f_i$ ,  $\psi_i$  we  $\gamma_i$  bahalary tapmak üçin basyşyň, temperaturanyň, göwrümiň we garymyň düzüminiň arasyndaky baglanyşygy bilmek zerurdyr. Bu baglanyşyklar berlen garymyň halyny beýan edýän deňlemeden gelip çykýar.

Ýokarda belleýşimiz ýaly, real gaz halynyň deňlemesi – Reng-Robinsonyň deňlemesini faza üýtgemelerini hasaplamak üçün teklipl edýärler:

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a(T)}{v(v+b) + b(v-b)} \quad (10.4.9)$$

bu ýerde  $a(T) = a_{kp} \alpha(T)$ ;  $\alpha(T) = [1 + m(1 - T_{np}^{0.5})]^2$ ,  
 $a$  we  $b$  koeffisiýentleriň bahalary:

$$a_{kp} = 0,45724 \frac{R^2 T_{kp}^2}{P_{kp}}; \quad b = 0,0778 \frac{RT_{kp}}{P_{kp}} \quad (10.4.10)$$

Bu ýerde  $m = 0,37464 + 1,54226\omega - 0,26992\omega^2$ ;  
 $\omega$ - komponentiň asentrik faktory.

Ýokarda garalyp geçilen deňlemäni arassa maddalarynda, gaz garymlarynda häsiýetlitrini hasaplamak üçün ulanylyp bilner.

Wan-der-Wals tarapyndan  $a$  we  $b$  koeffisientleriň garym üçin aşakdaky aňlatmadan hasaplanyp bilinjekdigi görkezilen:

$$a_{cM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \eta_i \eta_j a_{ij} ; b_{cM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \eta_i \eta_j b_{ij} \quad (10.4.11)$$

bu ýerde  $\eta_i$ -i-nji komponentiň gaz ýa-da suwuk fazadaky molýar ülüşi;  $a_{ij}, b_{ij}$ -çatryk koeffisiýentler.

Gazlaryň molekulýar teoriýasyndan gelip çykyşy ýaly, çatryk koeffisiýentler molekulalaryň arasyňy häsiýetlendirende bolsa orta arifmetik düzgün ulanylýar:

$$a_{ij} = a_i^{0,5} a_j^{0,5} ; b_{ij} = 0,5(b_i + b_j). \quad (10.4.12)$$

onda

$$a_{cM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \eta_i \eta_j a_i^{0,5} a_j^{0,5} = \left( \sum_{i=1}^N \eta_i a_i^{0,5} \right)^2 ; \quad (10.4.13)$$

$$b_{cM} = \sum_{i=1}^N \eta_i b_i \quad (10.4.14)$$

$$a_{cM} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \eta_i \eta_j a_i^{0,5} a_j^{0,5} = \left( \sum_{i=1}^N \eta_i a_i^{0,5} \right)^2 ;$$

$$b_{cM} = \sum_{i=1}^N \eta_i b_i \quad (10.4.15)$$

Peng-Robinsonyň deňlemesinde  $a_{ij}$  koeffisiýenti aşadaky görnüşde gözlemek amatlydyr:

$$a_{ij} = (1 - c_{ij})(a_i a_j)^{0,5}; \quad (10.4.16)$$

Bu ýerde  $c_{ij}$ - tejribeler arkaly kesgitlenen düzediji koeffisiýent bolup, molekulalaryň özara täsirini hasaba alýar (tablisa 2 seret).

Reng-Robinsonyň real gaz halynyň deňlemesi boýunça i-nji komponentiň uçujlygyny aşadaky formuladan kesgitläp bolar:



$$\ln f_i = \ln(\eta_i p) - \ln(z - B) + \frac{b_i}{b}(z - 1) - \frac{A}{2\sqrt{2}B} \left[ \frac{2 \sum_{j=1}^n \eta_j (1 - c_{ij})(a_i a_j)^{0,5}}{a} - \frac{b_i}{b} \right] \times$$

$$\times \ln \{ [z + (1 + \sqrt{2})B] / [z - (\sqrt{2} - 1)B] \}, \quad (10.4.17)$$

by ýerde  $z$  aşagysylyk koeffisiýenti:

$$z^3 = (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0. \quad (10.4.18)$$

Kubiki deňlemäni çözmek arkaly kesgitlenýär.

$c_{ij}$  koeffisiýentiň bahalary

Таблица 2

Komponent	$c_{ij}$ bahasy							
	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
N <sub>2</sub>	0,000	0,000	0,130	0,025	0,010	0,090	0,095	0,100
CO <sub>2</sub>		0,000	0,135	0,105	0,130	0,125	0,115	0,115
H <sub>2</sub> S			0,000	0,070	0,085	0,080	0,075	0,070
CH <sub>4</sub>				0,000	0,005	0,010	0,025	0,030
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>					0,000	0,005	0,010	0,010
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>						0,000	0,000	0,020
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>							0,000	0,005
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>								0,000
n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>								
n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>								
n-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>								
n-C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>								
n-C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>								

Komponent	<i>c<sub>ij</sub></i> bahasy				
	n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	n-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	n-C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	n-C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
N <sub>2</sub>	0,110	0,115	0,120	0,120	0,125
CO <sub>2</sub>	0,115	0,115	0,115	0,115	0,115
H <sub>2</sub> S	0,070	0,060	0,060	0,060	0,055
CH <sub>4</sub>	0,030	0,035	0,040	0,040	0,045
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>		0,000	0,000	0,000	0,000
n-C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>			0,000	0,000	0,000
n-C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>				0,000	0,000
n-C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>					0,000

### 10.5. Gazkondensat garymynyň faza üýtgemesiniň hasap yzygiderligi

1. Hasaplama üçin ilkinji maglumatlar:

Berlen tebigy gazyň her komponentiniň  $T_{\text{çäk}}$ - çäk temperaturasy;  $P_{\text{çäk}}$ -çäk basyşy;  $\omega_i$ - asentrik faktory. Gaz garymynyň molýar ülüş görnüşdäki düzümi; işçi basyş  $P$  we temperatura  $T$ ;

2. Başky ýakynlaşmada garymyň komponentleriniň ýaýrama koeffisiýentini

$$K_i^{(0)} = \frac{\rho_{kpi}}{p} \exp \left[ 5,372697(1 + \omega_i) \left( 1 - \frac{T_{kpi}}{T} \right) \right] \quad (10.5.1)$$

formula boýunça ýa-da surat 4 boýunça kesgitlemek bolar.

3. Faza konsentrasiýasynyň (10.5.4) deňlemesini çözmeli we gaz fazanyň molýar ülüşini kesgitlemeli:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - x_i) = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_i (K_i - 1)}{W(K_i - 1) + 1} = F(\eta_1, K_i, W) = 0$$

(10.5.2)

4. (1) we (2) deňlemeler boýunça gaz we suwuk fazadaky komponentleriň molýar ülüşlerini kesgitlemeli:

$$x_i = \eta_i / [W(K_i - 1) + 1], \quad y_i = \eta_i K_i / [W(K_i - 1) + 1]$$

(10.5.3)

5. (10.5.1), (10.5.2) we (10.5.3) formulalara laýyklykda gaz faza üçin hal deňlemesiniň  $a$  we  $b$  koeffisiýentlerini hasaplamaly:

$$a_{kp} = 0,45724 \frac{R^2 T_{kp}^2}{P_{kp}}; \quad b = 0,0778 \frac{RT_{kp}}{P_{kp}};$$

$$b_{cm} = \sum_{i=1}^n \eta_i b_i; \quad a_{ij} = (1 - c_{ij})(a_i a_j)^{0.5}. \quad (10.5.4)$$

6. (10.5.4) - nji kubiki deňlemäni gaz fazasy üçin çözmeli:

$$z^3 = (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0$$

(10.5.5)

gaz fazasy üçin aşagysylyjylyk koeffisiýenti bolup deňlemäniň iň uly položitel köki hyzmat edýär.

7. (10.5.3), (10.5.4) we (10.5.5) formulalara laýyklykda suwuk faza üçin  $a$  we  $b$  koeffisiýentleri hasaplamaly.

$$a_{kp} = 0,45724 \frac{R^2 T_{kp}^2}{P_{kp}}; \quad b = 0,0778 \frac{RT_{kp}}{P_{kp}};$$

$$b_{cM} = \sum_{i=1}^n \eta_i b_i ; \quad a_{ij} = (1 - c_{ij})(a_i a_j)^{0.5}. \quad (10.5.6)$$

8. (10.5.6) - nji kubiki deňlemäni gaz fazasy üçin çözmeli:

$z^3 = (1 - B)z^2 + (A - 3B^2 - 2B)z - (AB - B^2 - B^3) = 0$   
 suwuklyk fazasy üçin aşagysylyjylyk koeffisiýenti bolup deňlemäniň iň kiçi položitel köki hyzmat edýär.

9. Formuladan gaz  $f_i''$  we suwuklyk  $f_i'$  faza üçin komponentleriň uçujlygyny yzygider hasaplaýarys:

$$\ln f_i = \ln(\eta_i p) - \ln(z - B) + \frac{b_i}{b}(z - 1) -$$

$$- \frac{A}{2\sqrt{2}B} \left[ \frac{2 \sum_{j=1}^n \eta_j (1 - c_{ij})(a_i a_j)^{0.5}}{a} - \frac{b_i}{b} \right] \times$$

$$\times \ln \{ [z + (1 + \sqrt{2})B] / [z - (\sqrt{2} - 1)B] \}, .$$

$$10. \quad K_i^{(m)} = K_i^{(m-1)} f_i' / f_i'', \quad i = 1, 2, \dots, n$$

formula boýunça komponentleriň paýlanyş koeffisiýentini takyklaýarys. Bu ýerde  $m$ - iterasiýa sany.

$$11. \quad |f_i' / f_i'' - 1| > 10^{-4}, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ deňsizligi barlaýarys.}$$

Eger-de şert ýerine ýetmeýän bolsa 3-nji nokada gaýdyp, hasaplamalary täzeden geçirýäris. Şertiň ýerine ýeten halatynda hasaplanan  $y_i$  we  $x_i$  ululyklar deňagramly we hasaplamalar tamamlanýar.

Nebit we gaz ojaklary taslananda, olar işe girizilende olarda bolup geçýän faza üýtgemelerini göz önünde tutmazlyk mümkin däl.

## **XI. NEBITGAZ OJAKLARYNY ÖZLEŞDIRMEKDE DAŞKY GURŞAWY GORAMAK.**

Daşky gurşawy goramak - möhüm döwlet meseleleriň biri. Nebitgaz kânlerini özleşdirme prosesinde (şonuň içinde kenarýaka kânler) käbir ýagdaýlarda nebit, nebit önümleri, nebit gazlary we olaryň ýangyç önümleri, kükürtiň okisleri, mineralizirlenen akym suwlar, buraw erginleri, dürli ÜIM (nebit çykarmakda ulanylýan) bilen hapalanmasy ýüze çykýar. Diýmek nebit senagaty daşky gurşawy we tebigaty goramak üçin çäreleiri görmäge borçludyr.

Biziň ýurdumyzda şol meseleleriň biri hem - buraw işler prosesinde, nebiti we gazy çykarmak we daşamakda Kaspi deňzi hapalanmakdan goramakdyr. Bu mesele, buraw erginleriň, gatlak we buraw akym suwlarynyň galyndylaryny peýdaly ulanmak üçin täze tehniki serişdeleri döretmek we giňden ornaşdyrmak bilen çözülýär esasy ugry bolýar.

Gury ýer üçin - özleriniň ýokary zäherlilikli we agresiwligi sebäpli promysel akym we buraw sywlary uly howplulyk döredýärler. Şol meseläni çözmekde esasy ugur - hemme akyjy suwlary gaýtadan işläp taýýarlamak we önümlü gatlaklara gaýtadan göýbermek.

Promysellerde hapalanmagynyň azalmasyna gatlak suwlaryň guýynyň içine akmasyny togtatmak; nebiti, gazy, suwy ýygnamasynyň we taýarlamasynyň tehnologik proseslerini germetimäkemleşdirmegi kämilleşdirmek boýunça çäreleri amala asyrmak; enjamlary poslamakdan goraýan serişdeleri we usullary ornaşdyrmaga ýardam eder. Alynýan nebitiň düzüminde uly möçberde pesgaýnawly fraksiýalaryň we ergin gazyň bardygy mälimdir. Promysel şertlerinde ýygnamada, daşamada we saklamada şol nebitlerden ergin gazlar ýitirim bolýar. Ondan başgada, ýeňil nebit fraksiýalaryň ýitirilmezligi möhümdir, sebäbi gazyň düzümindäki komponentleriň (metan, etan, propan) bugarmagynda nebitden has agyr uglewodorodlar (butan, pentan we ýokarkylar),

bölünip çykýarlar. Uglewodorodlaryň ýitirilmesi şu aşakdaky faktorlara baglydyr: nebitiň fiziki-himiki häsiýetlerine, basyşa, temperatura, ulanylýan apparatlaryň we enjamlaryň konstruksiýasyna, klimatiki şertlerine we beýlekiler. Nebitiň we gazyň bu ulanyş ýitgileri nebit kânlerindäki umumy ýitgileriň 60-75% bolup durýar we indiki sebäpleriň netijesinde döreýär:

1)Nebiti ýygnama we daşama sistemalaryň kämildälliligi.

2)Guýularyň agyz enjamlarynyň we nasoslaryň bozuklygy (salniklerden nebitiň we gazyň geçmegi).

3)Çig mal we haryt rezerwuarlaryň pes derejede mäkemleşdirilmegi we olary alyş -beriş operasiýalary amala aşyrmak üçin ulanmak.

4) Separasiýon prosesleriň kämildälliligi.

5) Nebiti we suwy taýarlamakda mäkemleşdirilmedik sistemalary ulanmak

6) Tehniki ulanyşyň düzgüni bozulanda we awariýalarda döreýän nebit önümlerini geçirijilerdäki desikler.

Turbageçiriji arkaly daşamaklygyň ösmegi, daşky gurşawy goramak boýunça çäreleriň ýerine ýetirmegi bilen üznüksiz baglydyr, magistral nebitgeçirijileri prinsipial täze ylmy - tehniki esaslarynda taslanmaly, gurulmaly we ulanylmaly. Daşamagyň başga görnüşlerine göre magistral trubageçirijiler has amatly bolsada käbir - ýagdaylarda atmosferanyň, suwgorlarynyň we topragyň hapalanmasy ýüze çykýar. Olaryň esasy sebäpleri şeýledir

1) Rezerwuarlar doldurylanda we ondaky gaz boşlugynyň temperaturasynyň üýtgäp durmagynda ýeňil uglewodorodlaryň we kükürt birleşmeleriniň zyňylmasy.

2) Hapa akym suwlaryň syzylp we awariýalarda joşgun dökülmeginde, olaryň üstünden nebitiň bugaryp çykmagy, netijede ol nebitler ýagyn suwlar bilen suwgorlaryna akyp gitmegi.

1)Trubageçirijileri we rezerwuarlary parafin gatlaklaryndan arassalanýan serişdeleriň önümleri we beýlekiler.

## EDEBIÝATLAR

1. Türkmenistanyň Konstitusíasy. Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. I tom. Aşgabat, 2008.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler. II tom. Aşgabat, 2009.
4. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
5. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistan – sagdynlygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, 2007.
6. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Ministrler Kabinetiniň göçme mejlisinde sözlän sözi. (2009-njy ýylyň 12-nji iýuny). Aşgabat, 2009.
7. Türkmenistanyň Prezidentiniň «Obalaryň, şäherleriň, etrapdaky şäherçeleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşayyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin» Milli maksatnamasy. Aşgabat, 2007.
8. «Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry» Milli maksatnamasy. «Türkmenistan» gazetini, 2003-nji ýylyň, 27-nji awgusty.
9. «Türkmenistanyň nebitgaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin Maksatnamasy». Aşgabat, 2006.
10. I.I.Lurýewa. Ýeňil uglewodorod garyndylarynyň faza üýtgemesi. Aşgabat, TPI, 2001.
11. Batyrow Ýu. Uglewodorodlaryň faza üýtgemesi dersinden umumy sapagyň ýazgysy. Aşgabat, 2006.
12. Batyrow Ýu. Uglewodorodlaryň faza üýtgemesi dersinden ýyllyk işiniň usuly görkezme. Aşgabat, 2006.
13. Ю.П.Коротаяев, А.И.Ширковский. Добыча, транспорт и подземное



хранение газа. М., Недра, 1984.

14. Г.Р.Гуревич, А.И.Брусиловский. Справочное пособие по расчету фазового состояния и свойств газоконденсатных смесей. М., Недра, 1984.

## MAZMUNY

<b>GIRIŞ.</b>	s 7
<b>Dersiň maksady, onuň beýleki sapaklar bilen baglanyşygy. Kondensat we ýeňil nebitiň işledilişiniň osüşi.....</b>	7
<b>I. TEBIGY GAZLARYŇ DÜZÜMI WE TOPARLARY.....</b>	9
1.1. Uglewodorod gazlarynyň fiziki we himiki häsiýetleri.....	12
<b>II. TEBIGY GAZYŇ WE GAZKONDENSATYNYŇ HÄSIÝETLERINI HASAPLAMAGYŇ ANALITIK USULLARY.....</b>	16
2.1. Atmosfera basyşynda we dürli temperaturada gazyň şepbeşiklik koeffisiýenti kesgitlemegiň analitiki usuly.....	22
2.2. Gazyň şepbeşikligi.....	27
2.3. Gazyň çyglylygy.....	36
2.4. Gazyň ýylylyk sygymy.....	47
2.5. Gazy drosselirmek. Joul-Tomsonyň koeffisiýenti.....	48
<b>III. FAZA GECMEGIŇ TERMODINAMIKASYNYŇ ANYKLANYLYŞY WE ESASY DÜŞÜNJELERI.....</b>	51
3.1. Termodinamiki sistema we onuň häsiýetleri. Ýagdaý görkezijileri.....	55
<b>IV. PARSIAL BASYŞ WE PARSIAL GÖWRÜMI.....</b>	55
4.1. Dalton kanuny. Amaganyň kanuny. Additiwlik düzgüni.....	55
4.2. Ýagdaý deňlemesi.....	56

<b>V.</b>	<b>REAL GAZ HALYNYŇ</b>	
	<b>DEŇLEMELERINIŇ GÖRNÜŞLERI.....</b>	<b>61</b>
5.1.	Kubik görnüşli gaz halynyň deňlemeleri.....	63
<b>VI.</b>	<b>SINIŞEN BUGYŇ GARŞYLYGY.....</b>	<b>65</b>
6.1.	Deňagramlyk konstantasynyň düşünjesi.....	65
6.2.	Deňagramly iki fazaly köp komponentli sistemanyň fazalarynyň düzümi.....	68
<b>VII.</b>	<b>FAZALARYŇ KONSENTRASIÝASYNYŇ</b>	
	<b>DEŇLEMELERI.....</b>	<b>71</b>
7.1.	Faza konsentraciýasynyň deňlemesi. Kontaktly kondensaciýa. Fazadeňagramlygyň hemişeligini anyklamagyň tärleri. Deňleşdirmek basyşy.....	71
7.2.	Deň gelýän basyş boýunça faza deňagramlygynyň konstantasyny kesgitlemek.	73
7.3.	Her dürli komponentleriň kondensirlenmeginiň başlanýan basyşyna täsiri.....	75
<b>VIII.</b>	<b>ÇUŇNUR ÝATAN OJAKLARYŇ</b>	
	<b>GATLAK GARYNDYLARYNYŇ FAZA</b>	
	<b>HALYNYŇ ÜÝTGEMEGI.....</b>	<b>77</b>
8.1.	Uglewodorod garyndylarynyň faza ýagdaýynyň üýtgemegi, olaryň çuňlukda ýerleşişiniň täsiri. C <sub>5+</sub> toparyň düzümini kesgitlemek.....	77
8.2.	Gatlak gazynda C <sub>5+</sub> ýokary toparyň mukdary.....	79
<b>IX.</b>	<b>GATLAK GARYMYNYŇ FAZA</b>	
	<b>DIAGRAMMASY.....</b>	<b>84</b>
9.1.	Iki komponentli sistemalaryň diagrammasy...	84
9.2.	“P Basyş - T temperatura” diagrammasy.....	85
9.3.	Köp komponentli sistemalaryň diagrammasy..	88
9.4.	Uçuýlyk we işjeňlik.....	91
9.5.	Paýlanma koeffisiýenti.....	93

9.6.	Köp komponentli garymyň faza konsentrasiýasynyň deňlemesi.....	95
<b>X.</b>	<b>GABAT GELME BASYŞY WE ONY HASAPLAMAGYŇ USULLARY.....</b>	<b>97</b>
10.1.	Durgun gaz kondensatynyň häsiýetlerini kesgitlemek.....	99
10.2.	Uglewodorod komponentleriniň faza paýlanyş koeffisiýenti.....	101
10.3.	Deň gelýän basyş boýunça faza paýlanyş koeffisiýentini kesgitlemek.....	104
10.4.	Gazkondensat garymynyň faza üýtgemesiniň analitik çözüwi.....	105
10.5.	Gazkondensat garymynyň faza üýtgemesiniň hasap yzygiderligi.....	110
<b>XI.</b>	<b>NEBITGAZ OJAKLARYNY ÖZLEŞDIRMEKDE DAŞKY GURŞAWY GORAMAK ..... EDEBIÝAT.....</b>	<b>113 116</b>