TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY

B.N.Nurmämmedow

Ýerasty gidrogazodinamika

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010

B.N.Nurmammedow, Ýerasty gidrogazodinamika.

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby,
Aşgabat – 2010.

GIRIŞ

Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň ýolbaşçylygy netijesinde biziň döwletimiz ägirt uly galkynyşa eýe boldy. Soňky ýyllarda biziň halkymyz uly ösüşleriň şaýaty boldy. Birnäçe täze nebit-gaz känleri: Günorta Ýoleten, Osman we ş.m. açyldy. 2009-njy ýylda uzynlygy 7000 km bolan transcontinental Türkmenistan – Hytaý gazgeçirijisi, başga-da Döwletabat – Eýran gazgeçirijisi işe goýberildi.

2006-njy ýylyň 25-nji oktýabrynda bolup geçen Türkmenistanyň XVII Halk Maslahaty "Türkmenistanyň nebit-gaz senagatyny ösdürmegiň 2030-njy ýyla çenli döwür üçin" maksatnamasyny kabul etdi.

Maksatnamada nebitiň, gazyň çykarylyşyny we gaýtadan işlenilişini hem-de içerki we daşarky sarp edijilere ugradylşyny, ýangyç serişdeleriniň çig mal bunýadyny mundane beýläk-de ösdürmek üçin geçiriljek işleriniň esasy ugurlary we möçberleri kesgitledi. Nebit-gaz senagatynyň ähli ugurlaryny döwrebap hem-de ýokary derejeli dünýä talaplaryna laýyklykda ösdürmek çärelerini amala aşyrmak arkaly önümizdäki 20 ýylyň dowamynda edilomeli işler bellenildi.

2030-njy ýyla çenli gazyň çykarylyşy 250 milliard m^3 çenli, nebitiň çykarylyşy bolsa 110 million tonna çenli artdyrmaly.

Ýerasty gidrogazodinamika - öýjükli we çat açan dag jynslarynda suwuklyklaryň, gazlaryň we olaryň garyndylarynyň hereketini öwrenýän ylym. Nebit, gaz, suwlar we olaryň garyndylary dag jynslaryndaky öýjüklerde we jaýryklarda ýerleşip, şolaryň içinde basyş tapawudy dörände, hereket edýärler, şol aýratyn herekete - filtrasiýa (süzülmek hereketi) diýip at berilýär. Filtrasiýa gazyň suwuklyklaryň umumy hereketinden (kanallardaky, turbalardaky we ş.m.) ep-esli tapawutlanýar, sebäbi öýjükleriň we jaýryklaryň ölçegi örän kiçi hemde egrem - bugram bolup, ýüzleri büdür - südür bolýarlar.

1851 ýylda, fransuz inženeri Darsi, ýerasty suwlaryň filtrasiýasyny eksperiment esasynda barlag geçirip, dykyzlanmaýan suwuklygyň filtrasiýa tizligiň gidrawliki ýapgytlygyna çyzyklaýyn baglylygyny anyklaýar. Ol açyş şu günlere çenli Darsiniň kanuny höküminde belli bolup durýar.

1857 ýylda, fransuz alymy Dýupýui, Darsiniň kanuny esasynda, praktikada duş gelýän meseleleriň biri bolan, skwažinaň debitiniň formulasyny çykarýar. Ol Dýupýuiniň formulasy diýip gidrodinamikada tanalýar.

Buýesinesk, Forhgeýmer, Slihter, Žukowskiý we başgalar ýerasty suwlaryň filtrasiýa teoriýasyna öz goşandyny goşýarlar.

Ylmy ugur bolup, ýerasty nebit - gaz gidromehanikasy, XX asyryň 20 ýyllarynda, akademik L.S.Leýbenzonyň işleri esasynda döreýär.

Nebitli we gazly gatlaklardaky filtrasiýa teoriýasynyň ösmegine akademik S.A.Hristianowiç, professor B.B.Lapuk, W.I.Şelkaçew, A.H.Mirzadžanzade hem-de başgalaryň uly goşandy bardyr.

“Ýerasty gidrogazodinamika” - okuw sapagy höküminde Moskwanyň dag akademiýasynda 1927-28 ýyllarda, akademik Leýbenzon tarapyndan okydylýar. L.S.Leýbenzonyň okuwçylary professorlar W.I. Şelkaçew we B.B.Lapuk, 1949 ýylda birinji okuw kitaby çap edýärler.

Ýerasty gidrogazodinamika - nebiti we gazy ýataklaryndan işläp çykarmagyň esasy bolup, nebit-gaz fakultetleriniň okuw planlarynda profile dogry gelýän sapaklaryň biri bolup durýar.

Şu kitap, türkmen dilinde ilkinji okuw gollanma esbaby bolandygy sebäpli, käbir ýetmezçiliklerden, nätakyklardan halas däldir. Okyjylar tarapdan beriljek teklipler we bellikler, onuň hilini gowulandyrmaga kömek eder diýip awtorlar ynanýarlar, we şolara minnetdarlyk bilen garaşýarlar.

I. DARSINIŇ FILTRASIÝA ÜÇIN ÇYZYKLAÝYN KANUNY WE ONY ULANMAK ÇÄGI

Dag jynslaryndaky öýjükleriň göwrüminiň dag jynslarynyň umumy göwrimine bolan gatnaşygyna - öýjüklik koeffisiýenti diýilýär, we “m” harpy bilen bellenýär.

$$m = \frac{V_o}{V} \tag{1}$$

Gazyň ýa-da suwuklyklaryň sarp edilýän göwrüminiň, gatlagyň kese – kesik F meýdanyna bolan gatnaşygyna filtrasiýa tizligi diýilýär:

$$V = \frac{Q}{F} \tag{2}$$

Süzülmek tizlik diýilýän, ol toslama tizlik.

Süzülmegiň orta tizligini kesgitlejek bolsak onda süzülmek tizligini öüjüklik koeffisiýentine bölmeli:

$$V_0 = \frac{V}{m} \tag{3}$$

Darsiň kanuny, dykyzlanmaýan suwuklygyň sarp edilýän göwrüminiň gidrawliki ýapgytlygyna çyzyklaýyn baglylygyny aňladýar.

$$Q = c\frac{H_1 - H_2}{L}F \tag{4}$$

bu ýerde: C - süzülmek koeffisiýenti; $L\varepsilon$ - sütünjik görnüşli dag jynsynyň uzynlygy.

$$\frac{H_1 - H_2}{L} = i \text{ - gidrawliki ýapgytlyk} \qquad (5)$$

Onda
$$Q = c_i F \qquad (6)$$

$$V = \frac{Q}{F} = ci \qquad (7)$$

Süzülmek tizligi uly bolmadyk ýagdaýynda suwuklygyň öýjükli sredadaky hereketi Darsiň kanunyna laýyk gelýär.

Süzülmek tizligi ulalanda suwuklykda döreýän inersion güýçler ösýär, we päsgel güýçleriň derejesine etýär. Bu ýagdaýdaky suwuklygyň hereketi Darsiň kanunyna laýyk gelip belmeýär.

Ýerasty gidrawlikada Darsiň kanunynyň çägini kesgitlemek üçin R_e kriteriýasy hasaplanylýar. N.N.Pawlowskiý R_e sanyny kesgitlemek üçin şu formulany hödürleýär.

$$R_e = \frac{v d_e \rho}{\mu(0,75m + 0,23)}$$

(8)

bu ýerde: v - süzülmek tizligi; ρ - suwuklygyň dykyzlygy; $d_э$- derňew esasynda kesgitlenen fraksiýaň effektiw diametri; m - öýjüklik koeffisiýenti; μ - şepbeşiklik koeffisiýenti.

N.N.Pawlowskiň barlaglarynyň esasynda:

$$7,5 \le R_e \le 9$$

Eger-de ýokardaky hödürlenen formulalar bilen hasaplanan R_e sany 7,5-dan az bolsa, onda suwuklygyň öýjükli sredadaky hereketi Darsiň kanunyna laýyk gelýär. Hasaplanan R_e sany 9-dan ýokary bolsa, onda bu ýagdaýdaky suwuklygyň hereketi Darsiň kanunyna laýyk gelmeýär.

W.I.Şelkaçewyň R_e sanyny kesgitlemek üçin aşakdaky formulany hödürleýär.

$$R_e = \frac{10\sqrt{k}\rho}{m^{2.3}\mu} \qquad (9)$$

k - geçirijilik koeffisiýenti.

W.I.Şelkaçew barlaglary esasynda: $1 \le R_e \le 12$

Akademik M.D.Millionşşikowyň barlaglary esasynda:

$$R_e = \frac{v_0\sqrt{\frac{k}{m}}\rho}{\mu} \qquad (10)$$

$$0{,}022 \le R_e \le 0{,}29$$

Öýjükli sredada suwuklygyň hereketi Darsiniň kanunynyň ulanmak çäginden daşary geçýän bolsa, onda süzülmek tizligi ν bilen basyş dP/dI gradiýentiniň arasyndaky baglanşyk aşakdaky ikiçlen formula laýýk gelýär.

$$-\frac{dP}{dl} = av + bv^2 \qquad (11)$$

bu ýerde $\qquad a = \frac{\mu}{k} \qquad b = \frac{12 \cdot 10^{-3}\rho d_э^2}{mk^{3/2}}$

Ýe.M. Minskiniň tejribesi esasynda.

Süzülmek tizligi kiçi bolan ýagdaýynda $\alpha\nu >> b\nu^2$, onda formulanyň ikinji çlenine, biperwaý garamak bolar, şol bir wagtda formula Darsiniň kanunyna öwrüler. Süzülmek tizligi uly bolanda $\alpha\nu << b\nu^2$ formulany şu görnüşde ulanyp bolar:

$$-\frac{dP}{dL} = bv^2 \qquad (12)$$

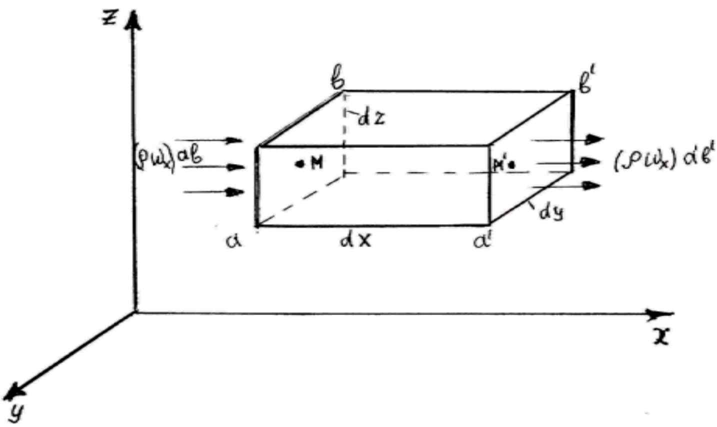
II. ÜZÜNIKSIZ FILTRASION AKYMYŇ DEŇLEMESI.

Deformirlenýän öýjükli sredada gysylýan, bir jynsly flýuid üçin, üzülmesiz filtrasion akymyň deňlemesini çykaralyň. Ol öýjükli sredanyň elementar göwrimleýin massanyň balansynyň deňlemesi bolup durýar. Öýjükli sredada elementar göwrüm diýip – gapdalary dx, dy, dz bolan parallelepipedi göz öňüne getireliň. Parallelepipediň “ab” gapdalynyň merkezindäki “M” nokadyň koordinatalary x, y, z diýip alarys. Onda parallelepipediň “a’b’” gapdalynyň merkezindäki “M” nokadyň koordinatalary (x-dx), y, z bolup durýar. Wagtyň dt aralygynda şol elementar göwrimiň “ab” gapdalyndan akyp girýän flýüidiň massasy deň (sur. 1):

$$(PW_x)_{ab}\ dy\ dz\ dt$$

elementar göwrümiň kiçi bolanlygy sebäpli, akyp girýän we çykýan flýuidiň dykyzlygy, hem-de filtrasion tizligi onuň “a’b’ a’b’” gapdalarynda deň bolup. M we M’ nokatlardaky bahasyna laýyk gelýär. a’d’ gapdalyndan akyp çykýan flýuidiň massasy bolsa deň bolýar:

$$(PW_x)_{a'b'}\ dy\ dz\ dt$$



Surat 1.

Flýuid “ab” gapdalyň M-nokadyndan a’b’ gapdalyň M’ nokadyna geçende onyň x koordinatasynyň üýtgeýişi (bahasy) – dx kiçi bolany sebäpli, aşakdaky deňlemäni ýazyp bileris:

$$(\rho w_x)_{a'b'} = (\rho w_x)_{ab} + \frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} dx$$

Onda wagtyň dt aralygynda “ab, a’b’” göwrümde, akym ugry x-oka ugrykdyrylanda, flýuidiň massasynyň ütgeýşini ýazyp bileris:

$$\left[(\rho w_x)_{ab} - (\rho w_x)_{a'b'}\right] dydzdt = -\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} dxdydzdt$$

Akym **y** we **z** oklara ugrukdyrylan diýip, flýuidiň massasynyň şol oklaryň ugryna görä üýtgeýişini hem tapyp bileris:

$$-\frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} dxdydzdt \quad \text{hem-de} \quad -\frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z} dxdydzdt$$

Şeýlelikde wagtyň dt aralygynda dx dy dz göwrüminde, flýuidiň umumy massasynyň ýtgeýşi (ýygnanşy) bolar:

$$\left[\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z}\right] dxdydzdt \qquad (1)$$

Başga tarapdan hem seredilende bu öýjükli elementar göwrymde flýuidiň massasy:

M = pm dx dy dz

bu ýerde “m” – gatlagyň öýjüklik koeffisiýenti.

Bu fiksirlenen dx dy dz göwrümde şol dt wagtyň içinde, flýuidiň massasynyň ütgeýşi:

$$\frac{dM}{\partial t} dt = \frac{\partial(\rho m)}{\partial t} dxdydzdt \qquad (2)$$

(1) we (2) aňlatmalary deňläp we olary dx dy dz dt gysgaldyp üzülmesiz akym üçin deňlemäni ýazyp bileris:

$$-\left[\frac{\partial(\rho\rho_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho\rho_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho\rho_z)}{\partial z}\right]=\frac{\partial(\rho\rho m}{\partial t} \qquad (3)$$

Soňky (3) deňlemäniň çep tarapyndaky aňlatmany gysga ýazyp bolýar we oňa filtrasion massalaýyn tizlik wektorlarynyň diwergensiýasy diýilýär, hem-de aşakdaky görkezilşi ýaly ýazylýar:

$$\frac{\partial(\rho w_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho w_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w_z)}{\partial z}=diw(\overrightarrow{\rho w}) \qquad (4)$$

Şol sebäpli (3) deňlemäni başga görnüsinde hem ýazyp bolýar:

$$div(\overrightarrow{\rho w})+\frac{\partial(\rho w)}{\partial t}=0\,.$$

III. FLÝUIDLERIŇ WE ÖÝJÜKLI SREDANYŇ PARAMETRLERINIŇ BASYŞA BAGLYLYGY

Çykarlan differensial deňlemelere (3) flýuidiň dykyzlygy - ρ, şepbeşikligi M, gatlagyň öýjüklik we geçirjilik koeffisiýentleri “m” we “k” girýärler. Gatlakda basyşyň üýtgemegi bilen olaryň bahasy hem üýtgeýär.

Izotermik proses bolanda bir jynsly flýüidiň dykyzlygynyň basyşa baglylygy flýuidiň hal deňlemesine laýyk gelýär. Suwuklygyň kadalaşan filtrasiýasy döwründe onuň dykyzlygy basyşa bagly däl hem-de ol gysylmaýan suwuklyk diýip hasap etmek bolar (mümkin): onda ρ = const.

Gatlakda kadalaşmadyk prosessler geçýän döwründe, basyşyň peselmegi nebitiň göwrimininiň ulalmagyna getirýär we şol goşmaça güýç bolup nebiti çykarmaga kömek edýär.

Bu prosesslarda suwuklygyň gysylyjylygyny hökman hasaba almaly. Suwuklyk maýyşgak diýip hasap etsek, onda onuň gysylyjygynyň kanuny aşakdaky görnüşde ýazylýar:

$$\beta_S = -\frac{1}{\beta_S}\frac{dV_S}{dP} \qquad (5)$$

V_s – suwuklygyň göwrümi;

dV_s – basyşyň dp üýtgemegi bilen suwuklygyň göwrüminiň üýtgeýşi;

β_s – suwuklygyň göwrümleýin gysylma koeffisiýenti.

$$V_S = \frac{M}{\rho} \qquad \text{we} \qquad dV_S = -\frac{Md\rho}{\rho^2}$$

onda:

$$\beta_S = \frac{Md\rho d\rho^2}{(M/\rho M dP} = \frac{d\rho}{\rho dP} \qquad (6)$$

bu ýerde: $$\frac{d\rho}{\rho} = \beta_S dP$$

Soňky deňlemäni P_o–P we ρ_o-ρ çäklerinde integrirlesek

$$\int_{\rho_O}^{\rho} dP/\rho = \beta_S \int_{\rho_O}^{\rho} dP \qquad (7)$$

onda

$$\ln\left(\frac{\rho}{\rho_O}\right) = \beta_S (P - P_O) \qquad (8)$$

ýa-da $$\rho = \rho_O e^{\beta_S (P - P_O)} \qquad (9)$$

Gatlakdaky basyşyň üýtgeýşi uly bolmadyk ýagdaýynda ($P-P_o$=10 MPa) basyşa göni baglanşykly bolup

$$\rho = \rho_O [1 + \beta_S (P - P_O)] \qquad (10)$$

Maýyşgaklyk modulyny girizip deňlemäni aşakdaky görnüşde hem hödürläp bolar:

$$\rho = \rho_O [1 + (P - P_O)/K_s] \qquad (11)$$

Gaz ýataklarynda gatlaklaryň basyşlary uly bolmadyk ýagdaýda (6-9 MPa çenl) hem-de gaz akymyndaky depressiýa pes bolanda (1MPa çenli), şol gatlaklardaky gazy ideal hasap edip, onuň üçin gazyň halynyň Klaýperon-Mendeleýew deňlemesini ýazmak bolar:

$$\frac{P}{\rho} = RT \quad \mathrm{R} = \frac{\overline{\mathrm{R}}}{\overline{\mu}} \qquad (12)$$

nirede

$\overline{R}$ - uniwersal gaz hemişeligi;

$\overline{\mu}$ - gazyň molekulýar massasy.

Gatlagyň temperaturasy hemişelik bolanda:

$$T = T_{gat} = const \quad \frac{P_{at}}{\rho_{at}} = R \cdot T \qquad (13)$$

ρ_{at} – atmosfera basyşdaky gazyň dykyzlygy onda ýokarda berilen iki aňlatmany deňläp ýazmak mümkin:

$$\rho = \rho_{at} \cdot \frac{P}{P_{at}} \qquad (14)$$

Bu görnüşdäki deňleme aşakda giňden ulanylýar, soňky wagytlar gatlak basyşy uly bolan (40-60 MPa) gaz ýataklaryna ýygy-ýygydan duş gelmek bolýar. Şolar käbir ýagdaýlarda uly depressiýa (15-30 MPa) ekspluatirlenýärler. Şu şertlerde diňe real gaz halynyň deňlemesini ulanmak bolar:

$$\frac{P}{\rho} = ZRT \qquad (15)$$

Z-aşa gysyljylyk koeffisiýenti ol real gazyň ideal gazuň kanunyndan gyşarmasyny hasaba alýar we belli bir gaz üçin getirme basyş hem-de getirme temperatura bagly bolýar.

$$Z = Z\,(P,T) \qquad (16)$$

Bu koeffisiýentiň bahasyny Braunyň grafiklerinden kesgitlemek bolar. Onuň üçin getirme basyş we getirme temperatura hasaplanylýar:

$$P_g = \frac{P}{P_{kr.gaz}} \quad T_g = \frac{T}{T_{kr.gaz}} \qquad (17)$$

$P_{kr.gaz}$, $T_{kr.gaz}$ – dürli komponentlerden durýar tebigy gazyň kritiki basyşy we temperaturasy. Real gazyň izotemetriki filtrasiýasy geçende onuň dykyzlygynyň basyşa baglylygy aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\rho = \rho_{at} Z(P_{at}) \frac{P}{P_{at} Z(P)} \qquad (18)$$

Gatlakdaky basyşyň az ütgeýän ýagdaýynda hemişelik temperaturada Z(P) basyşa baglylygyny çyzyklaýyn diýip şu görnüşde ýazyp bolar:

$$Z = Z_o[1 - a_z(P_o - P)] \qquad (19)$$

Eger-de basyşyň ütgeýşi uly möçberde bolsa onda Z(P) basyşa baglylygy eksponenžial bolar we

$$Z = Z_o e^{-a_z(P_o - P)} \qquad (20)$$

a_z – konstanta saýlama usul bilen tapylýar.

Nebitiň we gazyň şepbeşiklik koeffisiýentleri basyşyň ulalmagy bilen ösýändigini eksperimentler görkezýär. Gatlakdaky basyşyň üýtgeýşi ep-esli derejede bolanda onda nebitiň we tebigy gazyň şepbeşikliginiň basyşa baglylygy eksponensial görnüşinde bolar:

$$\mu = \mu_o e^{-a_\mu(P_o - P)} \qquad (21)$$

Gatlakdaky basyşyň üýtgeýşi az derejede bolanda ol baglylyk çyzyklaýyn häsiýete eýe bolar:

$$\mu = \mu_o[1 - a_\mu(P_o - P)] \qquad (22)$$

μ_o – fiksirlenen P_o – basyşdaky şepbeşiklik;

a_μ - nebitiň ýa-da gazyň düzümine bagly eksperiment esasynda tapylýan koeffisiýent.

Indi öýjüklik koeffisiýentiniň basyşa baglylygyna seredeliň.

Öýjüklik gatlaga üstünden täsir edýän dag jynslarynyň massasynyň döredýän basyşyna dag basyşy diýilýär P_d. Bu basyş nebit we gaz alynan döwründe üýtgemeýär diýilip hasap edip bolar.

$$P_d = \rho_d g H \qquad (23)$$

ρ_d – gatlagyň üstindäki dag jynslarynyň ortaça dykyzlygy;

H – gatlagyň çuňlugy.

Bu basyş (P_g) gatlagyň skeletindäki naprýaźenýe (dartgynlyk güýji) hem-de suwuklykdaky basyşyň P güýji bilen deňlenýär.

$$P_{dag} = (1 - m)\sigma + mP \qquad (24)$$

σ – öýjikli sredaň skeletindäki hakykat naprýaźeniýe (dartgynlygy).

Basyş peselende dag jynsynyň (düzümindäki) däneleri gysýan güýç hem azalar, şol sebäpli ol dänejikliriň göwrümi ulalýar, öýjikleriň göwrümi bolsa kiçelýär. Jynslaryň deformasiýasy kiçi bolany sebäpli onuň öýjükligini basyşa bagly üýtgeýşini çyzyklaýyn diýip hasap etmek bolar.

Göwrümleýin maýyşgaklyk koeffisiýentini girizip, dag jynsynyň gysylyş kanunyny aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$\beta_S = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV_d}{dP} \tag{25}$$

nirede

dV_d – element gatlakda öýjükleriň göwrüminiň üýtgeýşi.

Ýa-da öýjüklik koeffisiýentini girizip:

$$dm = \beta_C dP \tag{26}$$

onda:

$$m = m_O + \beta_S (P - P_O) \tag{27}$$

m_o-(P-P_o) basyşdaky öýjüklik koeffisiýenti.

Her dürli dag jynslary üçin göwrümleýin maýyşgaklyk koeffisiýenti laboratoiriýa eksperimentlar esasynda anyklanan we

$$\beta_S = (0{,}3 - 2{,}0) \cdot 10^{-10}\, Pa^{-1} \tag{28}$$

Gatlaklardaky basyşyň ütgeýşi uly bolanda onuň öýjükliginiň ütgeýşi aşakdaky deňlemä laýyk gelýär:

$$m = m_O e^{-a_m (P_O - P)} \tag{29}$$

Gatlagyň geçirjilik ukyba hem basyşa bagly bolup durýar.

Bu eksperimental esasynda tassyklanan.

Gatlakda basyşyň üýtgeýşi kiçi bolanda ol öz ara baglylyk çyzyklaýyn bolar:

$$K = K_O [1 - a_k (P_O - P)] \tag{30}$$

Uly bolanda weli-eksponensial bolar. Öýjükli gatlaklardan çat açan jaýrykly gatlaklarda onuň geçirjilik ukybynyň basyşa baglylykda üýtgeýşi has intensiw bolup durýar. Şonuň üçin çat açan gatlaklarda geçirjiligiň basyşa baglylygyny hasaba almak has hem zerurdyr.

IV. GYSYLMAÝAN SUWUKLYGYŇ DARSIŇ KANUNY BOÝUNÇA KADALAŞAN FILTRASIÝASYNYŇ DIFERENSIAL DEŇLEMESI

Üznüksiz akymyň, suwuklygyň we öýjükli sredanyň halynyň hem-de flýuidleriň hereketiniň deňlemelerini ulanyp gysylmaýan suwuklygyň Darsiň kanyny boýunça kadalaşan filtrasiýasynyň differensial deňlemesini çykaralyň. Öýjükli sredanyň defformasiýasy hasaba alynanda (ρ=const, m=const) üzüniksiz akymyň deňlemesi aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$\frac{\partial w_x}{\partial x}+\frac{\partial w_y}{\partial y}+\frac{\partial w_z}{\partial z}=0 \qquad (31)$$

Suwuklygyň hereketine agram güýjiniň täsir ediş meýdanynda garalanda onda onuň Darsiň kanuny boýunça geçýän kadalaşan hereketiniň deňlemelerini aşäkdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$w_x=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x}; \qquad w_y=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial P}{\partial y};$$

$$w_z=-\frac{k}{\mu}\left(\frac{\partial P}{\partial z}+\rho g\right) \qquad (32)$$

Bu deňlemelerden dw_x/dx, dw_y/dy, dw_z/dz proizwodnylaryny alarys:

$$\frac{\partial w_x}{\partial x}=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}; \qquad \frac{\partial w_y}{\partial y}=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial^2 P}{\partial y^2};$$

$$\frac{\partial w_z}{\partial z}=-\frac{k}{\mu}\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \qquad (33)$$

we olaryň ululygyny üznüksiz akymyň deňlemesine girizip ony ýazýarys.

$$-\frac{k}{\mu}\left(\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}\right)=0 \qquad (33)$$

nirede

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}=0 \qquad (34)$$

$$\nabla^2 P=0$$ ýa-da div grad P=0

Bu deňleme gysylmaýan suwuklygyň deformirlenmeýän öýjükli sredada Darsiň kanuny boýunça kadalaşan filtrasiýasynyň differensial deňlemesi bolup ol Laplasyň deňlemesi diýip atlanylýar. Filtrasiýa teoriýasynda Φ(x,y,z) funksiýany girizmek amatly bolup, oňa filtrasiýa tizliginiň potensialy diýip atlandyryp ony taparys:

$$\Phi=\frac{k}{\mu}(P+\rho gz) \qquad (35)$$

we muny ýokarda ýazylan suwuklygyň kadalaşan hereketiniň deňlemelerine girizsek onda:

$$w_x=-\frac{\partial\Phi}{\partial x}; \quad w_y=-\frac{\partial\Phi_y}{\partial y}; \quad w_z=-\frac{\partial\Phi_z}{\partial z}$$

Bu deňlemeleri koordinatalar boýunça differensirläp, üznüksiz akymyň deňlemesine filtrasiýa tizliginiň proizwodnylaryny girizip aşakdaky görnüşde ýazyp bileris:

$$\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2}=0$$

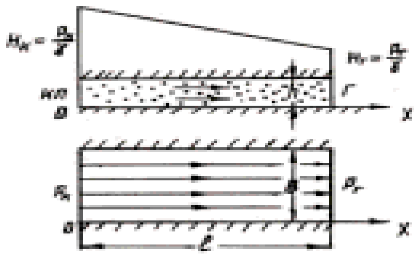
Şunuň bilen filtrasiýa tizliginiň potensialy Φ, edil basyş ýaly Laplasyň deňlemesine kanagatlarly bolup durýar.

V. GATLAKDAKY BIR ÖLÇEGLI AKYMLAR. DÝUPÝUINIŇ FORMULASY

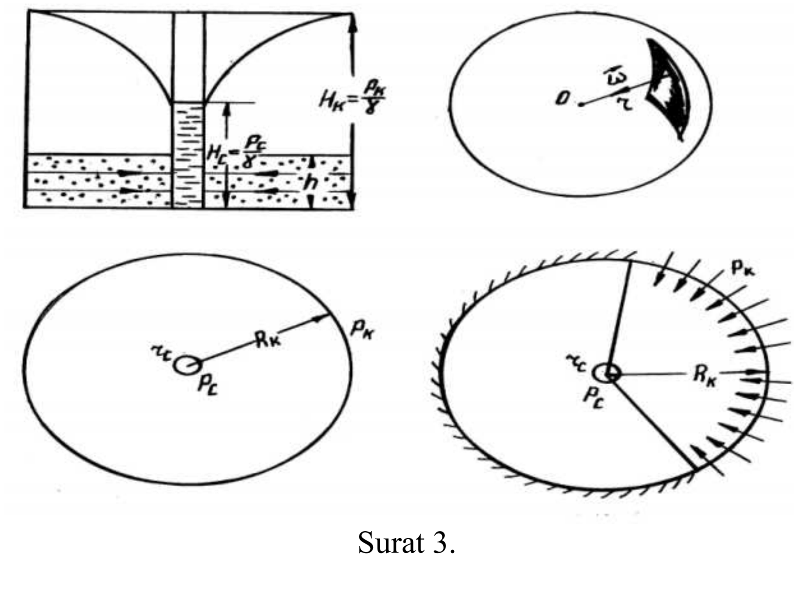
Bir ölçegli akymlara degişli:

1. Göni çyzykly parallel syzylýan akym.
2. Tekiz radial akym.
3. Radial – sfera görnüşinde syzylýan akym.

Göni çyzykly parallel syzylýan akym diýip aýdylýar, eger-de süzülmegiň tizlikleriniň wektorlary özara parallel bolsalar. Suwuklyklaryň ýerasty gönüburçly drenaž gallereýa süzülmesini mysal getirip bolar (sur. 2).



Surat 2.



Surat 3.

Onuň debiti (m^3/s) deňdir.

$$Q=\frac{k}{\mu}\frac{P_k-P_{\text{г}}}{l}F \qquad (1)$$

F=Bh – gatlagyň kese kesiginiň meýdany.

Gatlagyň **X** koordinataly kese kesik meýdanyndaky basyş.

$$P=P_k-\frac{P_k-P_{\text{г}}}{l}x \qquad (2)$$

Suwuklygyň bölejikleriniň **X** aralygy geçýän wagty

$$t=\frac{m\mu}{k}\frac{l\cdot x}{\left(P_k-P_{\text{г}}\right)} \qquad (3)$$

Tekiz radial akym bolan ýagdaýynda süzülmek tizliginiň wektory radius boýunça skwažinanyň merkezine gönükdirilýär.

Gatlagyň daş çägindäki basyş P_k=const, skwažinaň töweregindäki basyş P_c=const bolanda, gatlagyň öýjüklik koeffisiýenti m, we geçirijilik koeffisiýenti k bolsa, suwuklygyň hereketi Darsiň kanunyna laýyk gelýän ýagdaýynda, dýupi guýynyň debitini şu formula bilen kesgitleýär:

$$Q=\frac{2\pi kh(P_k-P_c)}{\mu\ln\frac{R_k}{r_c}} \qquad (4)$$

h – gatlagyň galyňlygy, m.

Tekiz radial akym bolan ýagdaýynda guýy bilen gatlagyň çäginiň arasyndaky basyşyň üýtgemegini, aşakdaky formulalar bilen kesgitläp bolar:

$$P = P_k - \frac{(P_k - P_c)}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r_x} \tag{5}$$

$$P = p_c + \frac{(P_k - P_c)}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{r_x}{r_c} \tag{6}$$

r_c – guýynyň radiusy;
R_k - gatlagyň daş çäg radiusy.

Tekiz radial akym bolan ýagdaýynda, guýynyň töweregindäki basyşyň üýtgemegini depression çyzyk görnüşinde hem görkezip bolar (sur. 3).

Guýynyň debiti Q bilen depressiýaň $\Delta P = P_k - P_c$ arasyndaky baglylygy indikator çyzyk görnüşinde hem görkezip bolar. Haçanda akym Darsiň kanunyna laýyklykda hereket edende, ol göni çyzyk görnüşinde bolýar.

$$Q = \eta \Delta P \tag{7}$$

η - gatlagyň öndürjiliklilik koeffisiýenti.

Suwuklygyň bölejiginiň belli aralygy - *r* geçýän wagtyny hasaplamak hem bolar:

$$t = \frac{\pi\, hm}{Q}(r_0^2 - r^2) \tag{8}$$

$$t = \frac{m\mu \ln\frac{R_k}{r_c}}{2k(P_k - P_c)}(r_0^2 - r^2) \qquad (9)$$

$r = r_0$ haçanda $t = 0$

Süzülmek tizliginiň wektory radial birleşýän nokada gönükdirilen bolanda, oňa radial - sfera görnüşinde syzylýan akym diýilýär.

VI. SUWUKLYGYŇ KADALAŞAN TEKIZ FILTRASIÝASY. GUÝULARYŇ INTERFERENSIÝASY. TEKIZ MESELELI FILTRASIÝA TEORIÝASYNYŇ KOMPLEKS ÜÝTGEÝJILIKLI FUNKSIÝALARYŇ TEORIÝASY BILEN BAGLANŞYGY

Umumy ýagdaýda, basyş we süzüjilik tizligi gatlakdaky nokadyň üç koordinatasyna baglydyr. Eger basyş we filtrasiýanyň tizligi diňe iki koordinata, her üçünji oka perpendikulýar tekizlikde bagly bolsa, onda tizlik we basyş meýdany bir meňzeş bolýar, şu ýagdaýda filtrasiýanyň akymy tekiz diýip atlandyrylýar. Bir jynsly hemişelik galyňlykly gorizontal gatlakda, bir ýa-da birnäçe gidrodinamiki kämilleşen guýular işlände, tekiz filtrasiýa akymy öz ýerini tutýar. Şu bölümde edil şeýle akymlara seredilýär.

Suwuklygy özüne ýygnaýan nokada - “stok” diýip atlandyrýarys. Suwuklygy özünden çykaryp daş töweregine böleýän nokada - “istoçnik” diýip atlandyralyň. Onda “stok” - ekspluatasion guýy, we “istoçnik” - sarp ediji guýýa meňzeş diýip bolar. Gutarnyksyz gatlakda bir guýy stok işlände - akymyň süzüjiligi tekiz - radial bolýar we skwažinanyň merkezinden r - aralykdaky nokatda basyş şu formula bilen hasaplanýar.

$$P = \frac{q\,\mu}{2\,\pi\,k}\ln r + c \qquad (1)$$

bu ýerde $q = \frac{Q}{h}$ - guýy - stokyň debiti; h - gatlagyň galyňlygy; C - integrirlemegiň hemişeligi.

Filtrasiýanyň tizliginiň potensialy - “Ф” diýip, şu aňlatma diýeliň.

$$\Phi = \frac{kP}{\mu} \qquad (2)$$

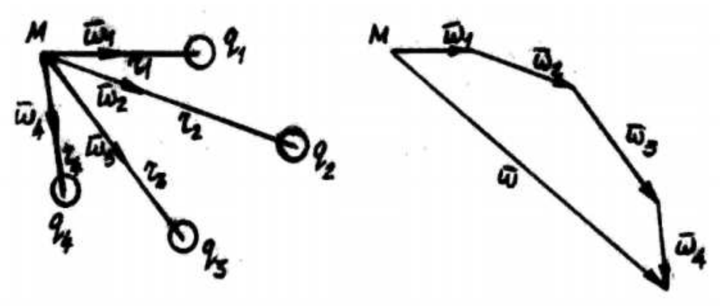
Basyşdan potensiala geçip, guýunyň merkezinden r aralykdaky nokadyň potensialynyň bahasyny alarys.

$$\Phi = \frac{q}{2\pi}\ln r + c \qquad (3)$$

Istoçnigiň debitine (sarp ediji guýy) minus goýulýar. Gatlakda birnäçe guýy bilelikde işlände, gatlagyň islendik “M” nokadyndaky netijeleýji potensial her bir skwažinanyň Φ_1, Φ_2, ... potensiallaryň algebrigi jemine deň diýmek mümkin.

$$\Phi_M = \frac{q_1}{2\pi}\ln r_1 + \frac{q_2}{2\pi}\ln r_2 + \frac{q_3}{2\pi}\ln r_3 + \ldots + C = \frac{1}{2\pi}\sum_{i=1}^{n} q_i \ln r_i + C \quad (4)$$

Şu ýagdaýda filtrasiýanyň tizligi geometriki jemlenip ýerleşdirilýär (sur. 4). Bu usula superpozisiya diyilýär.



Surat 4.

Superpozisiýa usulyny ulanyp, iýmitlendiriş çägi örän daşlaşan gatlakda işleýän guýular topary üçin debiti ýa-da düýp potensialyny (soňundan, düýp basyşy) ýakynlaşan görnüsde hasaplamak mümkin. Iýmitlendiriş çägiň Φ_k potensialy belli hasap edilýär, çäkden beýleki guýulara çenli aralyk - bir meňzeş we takmynan R deňdir diýip alynär.

"M" nokady her guýynyň düýbünde yzygiderli ýerleşdirip, guýynyň sanyna deň sanly deňleme alarys. Hemişelik integrirleme, iýmitleniş çäginiň şertinde tapylýar. Debitleri ýa-da düýp potensiallary hasaplamak üçin gutarnykly deňlemeler sistemasy şu görnüşe eýe bolar:

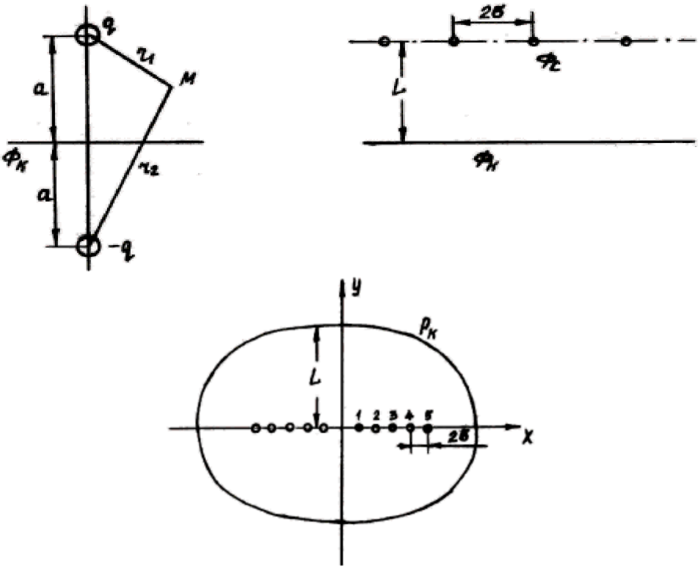
$$\Phi_k - \Phi_{c1} = \frac{1}{2\pi}\left[q_1 \ln\frac{R_k}{r_{c1}} + q_2 \ln\frac{R_k}{r_{1-2}} + \ldots q_n \ln\frac{R_k}{r_{c1n}}\right]$$

$$\Phi_k - \Phi_{c2} = \frac{1}{2\pi}\left[q_1 \ln\frac{R_k}{r_{1-2}} + q_2 \ln\frac{R_k}{r_{c2}} + \ldots q_n \ln\frac{R_k}{r_{c2n}}\right] \quad (5)$$

$$\phi_k - \phi_{cn} = \frac{1}{2\pi}\left[q_1 \ln\frac{R_k}{r_{1-2}} + q_2 \ln\frac{R_k}{r_{2-n}} + ..q_n \ln\frac{R_k}{r_{cn}}\right] \quad (6)$$

Bu ýerde r_{ij} i – we j guýynyň merkeziniň arasyndaky uzynlyk.

Superpozisiýa usulyny ulanmak mümkin, şol ýa-da beýleki görnüşli iýmitlendiriş çägi cäklendirlen ýa-da geçirmeýän araçäkli gatlakda işleýän guýular üçin. Ýöne real guýy bilen araçakde hökmany şertleri döreýän beýleki şertleri ýerine ýetirmek üçin gatlagyň daşynda (fiktiw) guýyny girizmeli bolýarys. Soňundan çäklendirilmedik gatlakda birwagtda işleýän real we fiktiw skwažinalara seredýäris. Bu usul "otobraženiýe" usuly diýip atlandyrylýar. Ol diňe ýerasty gidrawlikada we gidromehanikada giňişleýin ulanyşa eýe bolman, eýsem elektrogeçirijiligiň we magnetizmiň, elektrik teoriýalarynyň meseleleri işlenilende hem ulanylýar.



Surat 5.

Şeýle, eger ekspluatasion guýy çäkden “a” aralykda göni çyzykly iýmitlendiriji çäkli gatlakda ýerleşse, onda fiktiw guýyny çägiň beýleki tarapynda “a” aralykda ýerleşdireliň we onuň debitini otrisatel hasaplalyň.

Şunlukda işlendik “M” nokadyň potensialy deň bolar:

$$\Phi_M = \frac{q}{2\pi}\ln r_1 - \frac{q}{2\pi}\ln r_2 + C = \frac{q}{2\pi}\ln\frac{r_1}{r_2} + C \qquad (7)$$

Iýmitleniş çäginde $r_1 = r_2$ we $\phi = c = \Phi_k$, onda guýynyň debiti aşakdaky formula bilen hasaplanylýar.

$$Q = \frac{2\Phi_K h(\pi_k - \Phi_c)}{\ln\frac{2a}{r_c}} = \frac{2\pi_K \pi h(P_k - P_c)}{\mu \cdot \ln\frac{2a}{r_c}} \qquad (8)$$

“Otobraženiýe” usuly meselelerde, çäklendirilen kesişýän gönüçyzykly, geçirmeýän araçäkli gatlaklarda işleýän guýynyň debitini tapmak üçin hem ulanylýar. Şu usulyň kömegi bilen tegelek gatlakda eksentriki ýerleşen guýynyň debitini hasaplamak mümkin:

$$Q_{ekss} = \frac{2\pi\,kh(P_k - P_c)}{\mu \cdot \ln\left[\frac{R_k}{r_c}\left[1 - \frac{\delta^2}{R_k^2}\right]\right]} \qquad (9)$$

nirede δ - guýynyň merkezinden töwerek görnüşli gatlagyň merkezine çenli aralyk (eksentrisitet).

Göniçyzykly iýmitlendiriji çäkden L aralykda ýerleşen her bir guýunyň debiti (sur. 5).

$$Q = \frac{2\pi\,kh(P_k - P_c)}{\mu\,(\ln 2sh\frac{\pi l}{\tau} + \ln\frac{\tau}{\pi r_c})} \qquad (10)$$

nirede τ - guýularyň arasyndaky aralygyň ýarysy.

Eger-de L > τ onda ýakynlaşan görnüşde kabul etmek mümkin.

$$\ln 2sh\frac{\pi l}{\tau} = \ln(e^{\pi l/\tau} - e^{-\pi l/\tau}) \approx \frac{\pi l}{\tau} \qquad (11)$$

onda

$$Q = \frac{2\pi\,kh(P_k - P_c)}{\mu \cdot \left[\frac{\pi l}{\tau} + \ln\frac{\tau}{\pi r_c}\right]} \qquad (12)$$

R_k radiusly gatlakdaky, “n” guýudan düzülen tegelek batareýadaky bir guýynyň debiti şu görnüşe eýe bolar.

$$Q = \frac{2\pi h(\Phi_k - \Phi c)}{\left[\ln \frac{R_k^n}{nr_c R_1^{n-1}}\left[1 - \frac{R_1^{2n}}{nr_c R_k^{2n}}\right]\right]} = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \cdot \ln\left[\ln \frac{R_k^n}{nr_c R_1^{n-1}}\left[1 - \frac{R_1^{2n}}{nr_c R_k^{2n}}\right]\right]} \quad (13)$$

bu ýerde R_1 – batareýaň radiusy.

Eger batareýadaky guýularyň sany köp bolsa (5 ýa-da 6), onda $(R_1/R_k)^{2n} << 1$ we bu aňlatmany birlik bilen deňeşdireňde hasaba almazlyk hem mümkin, mundan başgada.

$\frac{\mathbf{R_1}}{\mathbf{nr_c}} = \frac{\boldsymbol{\tau}}{\mathbf{nr_c}}$ çalyşsak, onda ýakynlaşan formulany alarys.

$$Q = \frac{2\pi kh(P_c - P_c)}{\mu \cdot \left[n \ln \frac{R_k}{R_1} + \ln \frac{\tau}{\pi r_c}\right]} \quad (14)$$

Eger-de ellips görnüşli gatlakda “n” guýy işleýän bolsa (sur.5), onda bir skwažinanyň debiti W.T. Mironenkonyň hödürleýän formulasy esasynda tapylýar:

$$Q = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)\,\mathrm{sh}\,\beta\,\mathrm{ch}\frac{\beta x}{\tau}}{\mu \cdot \mathrm{sh}(n\beta)\left[\mathrm{Arsh}\frac{L}{\tau n} + \frac{1}{n}\ln\frac{\tau}{nr_c}\right]} \quad (15)$$

β - aşakdaky deňlemeden tapylýar

$$\mathrm{ch}(2\beta) = 1 + \frac{\ln n}{(n-1)\ln \frac{\tau}{r_c}} \quad (16)$$

X – guýynyň merkeziniň koordinatasy; L - ellipsiň kiçi ýarym oky; τ - guýynyň arasyndaky uzynlygyň ýarysy.

Ýu.P. Borisowyň, ekwiwalent filtrasion garşylyklar hasaplama usuly, guýularyň ýa-da köphatarly batareýanyň debitini hasaplamagyň usullarynyň biri bolýar.

n - skwažinaly zynjyryň debitiniň jemi deňdir.

$$Q^1 = \frac{2\pi\, khn(P_k - P_c)}{\mu \cdot \left[\frac{\pi l}{\tau} + \ln\frac{\tau}{\pi r_c}\right]} = \frac{P_k - P_c}{\left[\frac{\mu l}{2\tau\, khn} + \frac{\mu}{2\pi\, khn}\ln\frac{\tau}{\pi r_c}\right]} \qquad (17)$$

Filtrasiýanyň we Omyň kanunynyň arasyndaky analogiýasyny geçirip, we göwrümleýin harçlanşyň analogy--tok güji bolup, basyşyň tapawudynyň analogy-elektrik potensiallarynyň bolýandygyny göz öňünde tutup, maýdalawjyda durýan aňlatmany filtrasiýanyň garşylygy diýip atlandyrmak mümkin. Ol filtrasiýanyň daşky garşylygyndan,

$$\rho = \frac{\mu\, l}{2\tau\, khn} = \frac{\mu\, l}{Bkh} \qquad (18)$$

iýmitlendiriji çäkden uzynlygy L aralykda ýerleşen gönüburçly ýerasty galereýadan, iýmitlendiriji çäge çenli akymyň garşylygyny özünde görkezýän we

$$\rho^1 = \frac{\mu}{2\pi\, khn}\ln\frac{\tau}{\pi\, r_c} \qquad (19)$$

τ/π - radiusly tekiz radial akymyň zolagyna suwuklyk ýakynlaşanda ýüze çykýan garşylygy aňladýan filtrasiýanyň içki garşylygyndan düzülýär. Formula bolsa şu görnüşe gelýär:

$$Q^1 = \frac{P_k - P_c}{\rho_1 + \rho^1} \qquad (20)$$

Soňky formula gabat gelýän elektrik shema: Q - tok güýji, potensiallaryň tapawudy P_k we P, we ρ hem-de ρ^1 garşylykly iki yzygider birleşdirilen geçirijini özünde görkezýär (sur. 6).

Eger gatlakda her haýsynda n sanly skwažinaň üç setiri (zynjyry) bolsa, r_{c1}; r_{c2}; r_{c3} radiusly we düýpdäki basyş P_{c1}; P_{c2}; P_{c3} we debitiň jemi Q^{I}, Q^{II}, Q^{III} bolsa, onda ekwiwalent filtrasion garşylyklaryň shemasy şahalanan bolar, şeýle suwuklygyň umumy mukdary, iýmitlendiriji çäkden geçende, soňundan şahalanýar; birinji zynjyra Q^{I} debit sowulýar, galan suwuklyk aňry herekedini dowam etdirýär, ikinji zynjyra Q^{II} debiti sowulýar we ş.m.

Şu ýagdaýda filtrasiýanyň daşky garşylygy

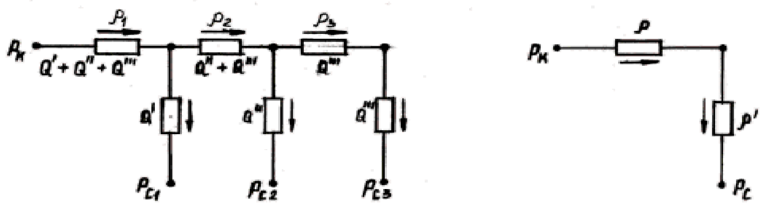
$$\rho_1 = \frac{\mu L_1}{Bkh}; \quad \rho_2 = \frac{\mu L_2}{Bkh}; \quad \rho_3 = \frac{\mu L_3}{Bkh}; \qquad (21)$$

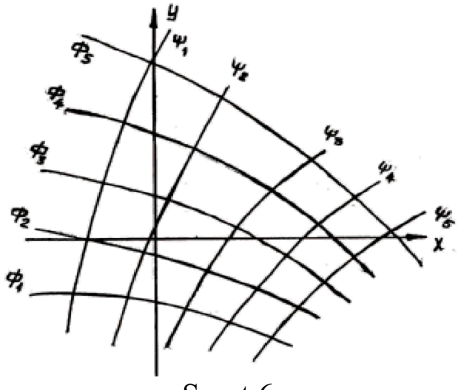
bu ýerde

L_1 - iýmitlendiriji çökden birinji skwažinalar zynjyryna çenli aralyk;

L_2 - birinji we ikinji zynjyryň arasyndaky uzynlyk;

L_3 - ikinji we üçünji zynjyryň arasyndaky uzynlyk.





Surat 6

Içki garşylyk:

$$\rho_1^1 = \frac{\mu}{2\pi\, khn_1} \ln \frac{\tau_1}{nr_{c1}}; \qquad \rho_2^1 = \frac{\mu}{2\pi\, khn_2} \ln \frac{\tau_2}{nr_{c2}}$$

$$\rho_3^1 = \frac{\mu}{2\pi\, khn_3} \ln \frac{\tau_3}{nr_{c3}} \qquad (22)$$

Shemany hasaplamak Omyň we Kirhgofyň kanuny boýunça geçirilýär. Şu ýagdaýda näbellileriň sanyna deň algebriki çyzykly deňleme düzülýär.

Töwerekleýin guýularyň batareýasynyň debitiniň jemi hem şol formula boýunça hasaplanýar, daşky garşylyk bolsa

$$\rho = \frac{\mu}{2\pi\, kh} \ln \frac{R_k}{R_1} \qquad (23)$$

içki garşylyk bolsa üýtgemeýär we öňki görnüşde galýar. Şu ýagdaý üçin ekwiwalent filtrasion garşylyklar shemasy edil gönücýzykly zynjyryňky ýaly bolar.

Birnäçe töwerekleýin batareýalar üçin (meselem üç) shemasy 6-njy suratda görkezilen. Su ýagdaýda filtrasion daşky garşylyk aşakdaky formulalar boýunça hasaplanýar:

$$\rho_1 = \frac{\mu}{2\pi\, kh} \ln \frac{R_k}{R_1} \quad \rho_2 = \frac{\mu}{2\pi\, kh} \ln \frac{R_1}{R_2}$$

$$\rho_3 = \frac{\mu}{2\pi\, kh} \ln \frac{R_2}{R_3} \qquad (24)$$

nirede R_1; R_2; R_3 - batareýalaryň radiusy.

Içki garşylygyň formulasy öňkiligine galýar.

Darsiniň kanunyna boýun egýän tekiz süzüjilikli akym derňelende, kompleks üýtgeýjilikli funksiýanyň teoriýasyny ulanmak mümkin.

Her bir tekiz süzüjilik akymy üçin akymyň häsiýetli funksiýasyny tapmak mümkin, ýa-da üýtgeýjiniň kompleks funksiýasy bolan kompleks potensialyny F(z) tapmak mümkin

$$F(z) = \Phi(x,y) + i\psi(x,y) \qquad (25)$$

Nirede (x,y) - tizligiň potensialy

iψ - akymyň funksiýasy.

Bu funksiýalar öz arasynda Koşi-Rimonyň deňlemesi bilen baglydyrlar:

$$\frac{\partial \boldsymbol{\Phi}}{\partial x} = \frac{\partial \boldsymbol{\psi}}{\partial y}; \quad \frac{\partial \Phi}{\partial \mathrm{y}} = -\frac{\partial \psi}{\partial \mathrm{x}}; \qquad (26)$$

we Laplasyň deňlemesine boýun egýär:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0; \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0; \qquad (27)$$

Φ(x,y)=c deňleme izobara gabat gelýän ekwipotensiallar diýip hasaplanýar, sebäbi $\Phi = \frac{k}{\mu} \cdot P$ bolany üçin; we ψ(x,y)=c.

Ekwipotensiallar we akym çyzyklary özara ortagonaldyrlar (sur.6).

Filtrasiýa tizliginiň proýeksiýasy koordinatlar okunda aşakdaky formulalar boýunça tapylýar

$$\omega_x = -\frac{\partial \Phi}{\partial x}; \quad \omega_y = -\frac{\partial \Phi}{\partial y}; \qquad (28)$$

filtrasiýa tizligiň moduly

$$\omega = \left|\frac{\mathrm{dF}}{\mathrm{dz}}\right| = \sqrt{\omega_{\mathrm{x}}^2 + \omega_{\mathrm{y}}^2} \qquad (29)$$

Akymyň S çyzygynyň boýunda, suwuklygyň bölejikleriniň hereketiniň wagtyny şu formula boýunça hasaplamak mümkin

$$t = -m\int \frac{dz}{\frac{dF}{dz}} \qquad (30)$$

z=x-yi bilen bir-birine kompleks üýtgeýji.

Eger haýsy hem çylşyrymly tekiz filtrasiýa akymy birnäçe ýönekeý akymyň üstüne goýmagyň netijesinde göz öňünde tutmak mümkin bolsa, onda çylşyrymly akymyň funksiýasynyň häsiýetnamasy superpozisiýa usuly boýunça ýönekeý akymlarynyň algebrik jemininiň häsiýetnamasyna deň.

VII. GIDRODINAMIK KÄMILLEŞDIRMEGIŇ GUÝYNYŇ DEBITINE TÄSIRI

Eger guýy nebitli we gazly gatlagy doly galyňlygynda açsa hem-de düýbi açyk bolsa, emeli filtr bolmasa, onda nebit we gaz guýynyň doly töwerek gapdalyndaky meýdanyndan süzülip geçýär, we oňa gidrodinamiki kämilleşen guýy diýilýär.

Suwuklygyň kämilleşen guýy akymy-tekiz süzülýän akymdyr. Egerde guýynyň düýbi açyk emeli filtirsiz bolsa, ýöne gatlagy doly galyňlykda açman, belli bir "в" ululyga açsa, ýa-da guýy bilen gatlak arasyndaky arabaglanşyk ekspluatasion kolonnada edilýän aýratyn deşijikler üsti bilen geçýän bolsa, onda suwuklygyň ýada gazyň süzülişi giňişleýin (ýçölçegli) bolýar, we oňa gidrodinamiki kämilleşmedik guýy diýilýär.

Kämilleşmedik guýynyň üç görnüşi bar.

1) Gatlagyň açylyş derejesi boýunça gidrodinamiki kämilleşmedik - bu guýynyň düýbi emeli filtirsiz açyk bolýar, ýöne gatlagy doly galyňlykda açmaýar.

2) Gatlagy açylyş häsiýeti boýunça gidrodinamiki kämilleşmedik - bu guýy nebitli we gazly gatlagy onuň basyrgasyndan etegine çenli doly açýar, ýöne guýy bilen gatlag arasyndaky arabaglanşyk ekspluatasion kolonnada edilýän aýratyn deşijikler üsti bilen ýada ýörite emeli filtrler arkaly geçýär.

3) Açylyş derejesi hem häsiýeti boýunça gidrodinamiki kämilleşmedik guýy.

Açyş derejesi boýunça kämilleşmedik guýynyň debiti M.Masketiň formulasyndan hasaplanýar.

Eger-de radiusy $R_k \geq 1/2h$ bolsa

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu} \frac{P_k - P_c}{\xi} \qquad (1)$$

nirede

$$\xi = \frac{1}{2\bar{h}}\left[2\ln\frac{4h}{r_c} - \varphi(\bar{h})\right] - \ln\frac{4h}{R_k} \qquad (2)$$

gatlagyň otnositel açylyşy bolsa: $\bar{h} = в/h$;

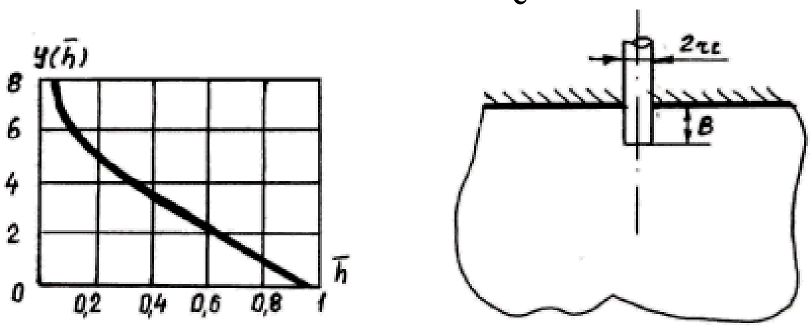
$\varphi(\bar{h})$ - funksiýa aşakdaky analitik aňlatma deňdir:

$$\varphi(\bar{h}) = \frac{\Gamma(0.875\bar{h})\Gamma(0,125\bar{h})}{\Gamma(1-0.875\bar{h})\,\Gamma(1-0.125\bar{h})} \qquad (3)$$

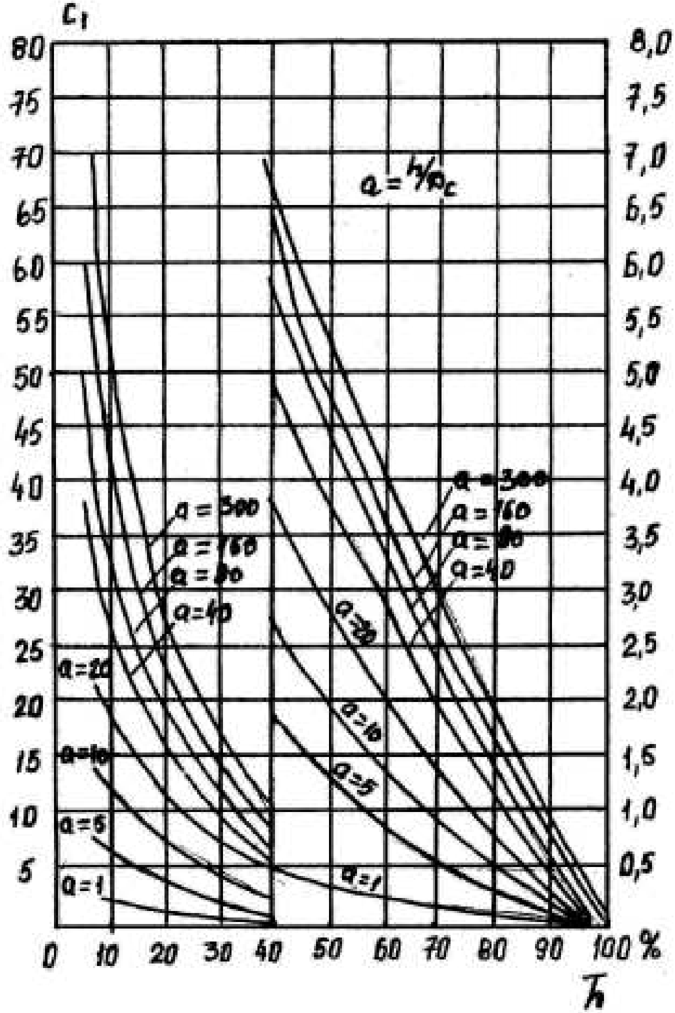
nirede Г - Eýleriň ikinji derejeli integraly ýa-da gamma funksiýa, şular üçin matematiki sprawoçniklerde (habar kitapçasynda) tablisalar bar, we suratda grafigi görkezilen.

Galyňlygy gutarnyksyz bolan gatlakdaky guýular üçin debiti N.K.Girinskiniň formulasynyň kömegi bilen tapmak bolar:

$$Q = \frac{2\pi kb}{\mu}\frac{P_k - P_c}{\ln\frac{1.6b}{r_c}} \qquad (4)$$

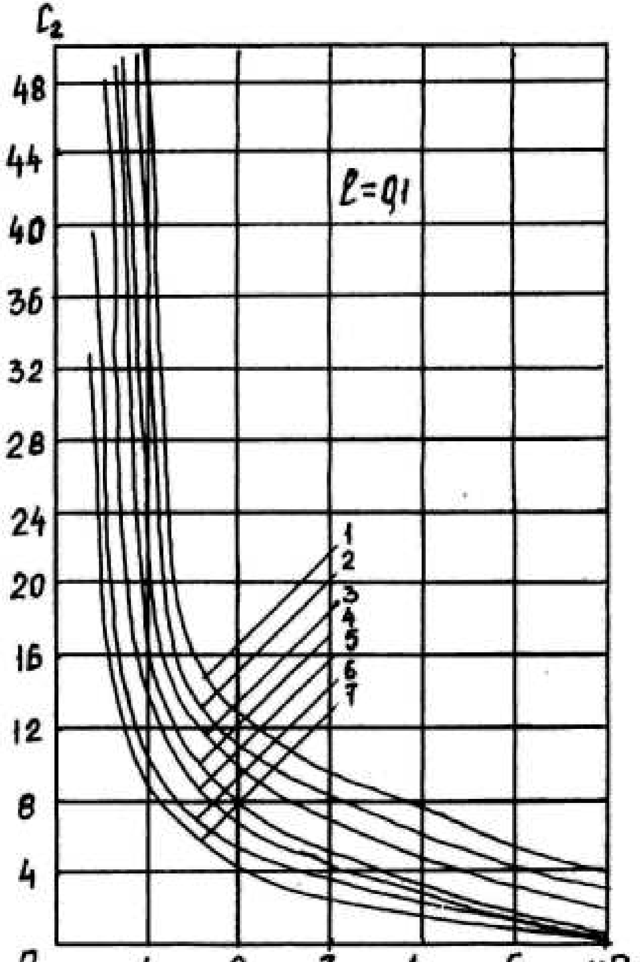


Surat 7

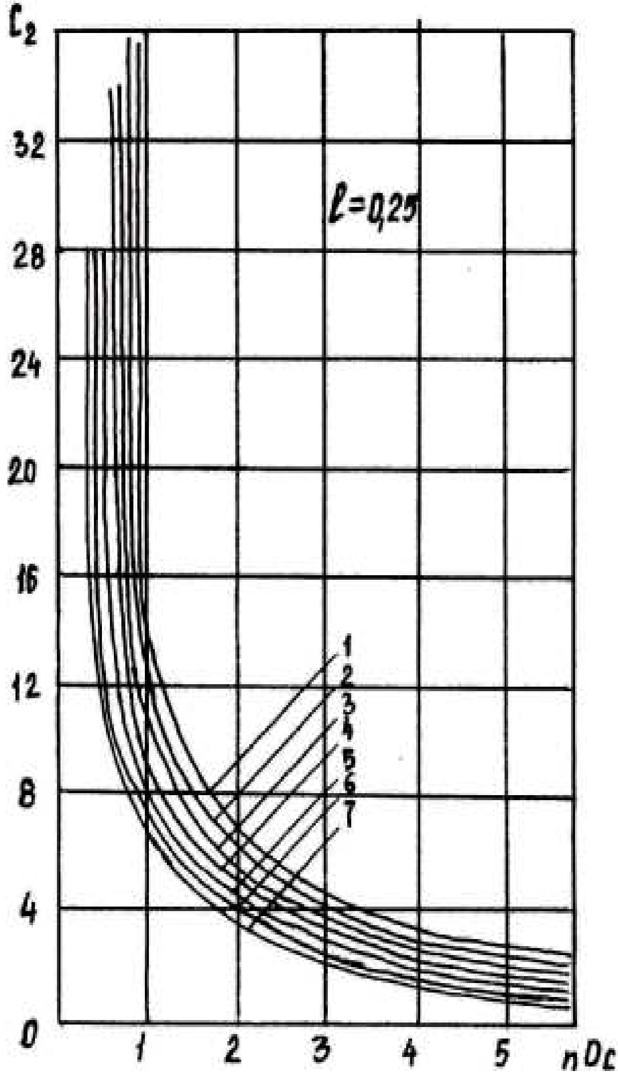


c_1
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
8,0
7,5
7,0
6,5
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5
1,0
0,5
a = h/p_c
a = 300
a = 160
a = 80
a = 40
a = 20
a = 10
a = 5
a = 1
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100 %

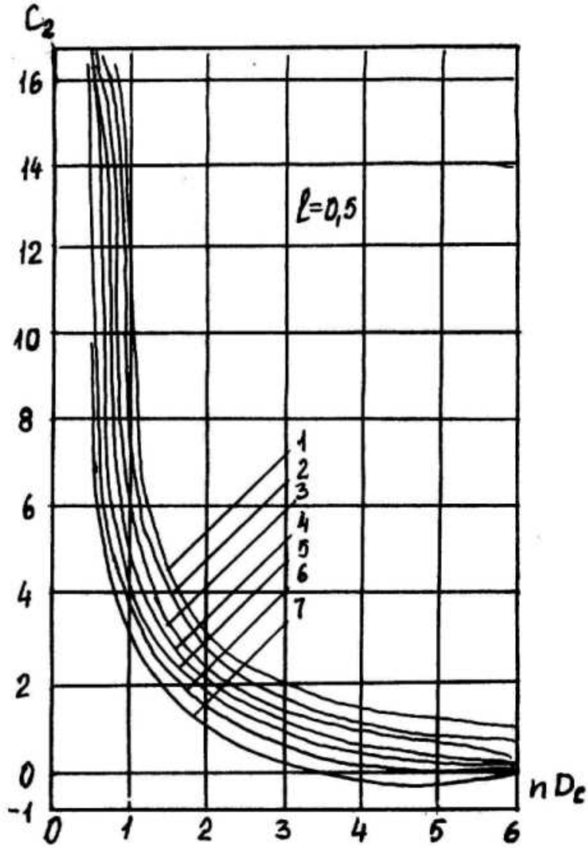
Surat 8.



Surat 9.



Surat 10.



Surat 11

Açylyş derejesi we häsiýeti boýunça gidrodinamiki kämilleşmedik guýynyň debitini hem hasaplap bolýar:

$$Q = \frac{2\pi\, kb(P_k - P_c)}{\mu\left[\ln\frac{R_k}{r_c} + C_1 + C_2\right]} \qquad (5)$$

Nirede C_1 - gatlagyň açyş derejesi boýunça kämilleşmedik guýuda goşmaça filtrasion garşylygyny takyklaýan ölçegsiz ululyk.

C_2 - gatlagyň açyş häsiýeti boýunça kämilleşmedik guýuda goşmaça filtrasion garşylygy görkezýän ölçegsiz ululyk.

Iki görnüşli kämilleşmedik guýynyň suwuklygyň ýygnanmagyny W.I. Şurow elektrolitik modellerde öwrenip C_1 we C_2 koeffisiýentleri tapmak üçin aşakdaky grafikleri gurýar (sut. 8-11). C_1 - ululyk suratda $a = h/D_s$ we $h = в/h$ parametrlere baglylykda görkezilen. C_2 - ululyk, üç parametre baglylygy nD_s; $e=e`/D_c$ we $\alpha = d_o/D$ - suratda görkezilen;

n – bir pogon metrdäki perfarasion deşijikleriň sanyny görkezýär;

D_s – skwažinanyň diametri (m);

e – okuň jynsa giriş çuňlugy;

d_0 – perfarasion deşijekleriň diametri.

Şu aşakdaky tablisadan $\alpha=d_0/D_s$ parametrleriň bahalarynyň we egrileriň arasyndaky degişlilik görünýär.

Guýynyň getirme radiusyny formula girizip başgaça ýazmak mümkin:

$$r_{c1} = r_c e^{-(c1+c2)} = r_c e^{-c}$$

№	1	2	3	4	5	6	7
α	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09

Şunuň ýaly kämilleşen guýynyň debiti, kämilleşmedik guýynyň debitine deň

$$Q = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (6)$$

käbir ýagdaýda guýynyň kämilleşme koeffisiýentiniň kömegi bilen guýynyň gidrodinamiki kämilleşmezligi göz öňünde tutulýar

$$\delta = \frac{Q}{Q_{sow}} \qquad (7)$$

nirede Q - kämilleşmedik guýynyň debiti;

Q_{sow} - şol şertlerde kämilleşen guýynyň debiti.

Guýynyň kämilleşme koeffisiýenti δ we $C=C_1+C_2$ ululyklar öz arasynda şu aňlatma bilen baglydyr:

$$\delta = \frac{\ln \frac{R_k}{r_c}}{\ln \frac{R_k}{r_c} + C} \qquad (8)$$

hem-de

$$C = \left[\frac{1}{\delta} - 1\right] \ln \frac{R_k}{r_c}$$

Kitaplarda **C** ululyga baha bermek üçin δ-nyň grafigi getirilen.

VIII. SUWUKLYGYŇ ÖÝJÜKLI SREDADA KADALAŞAN BATSYZ HEREKETI

Eger-de pýezometrik üst bilen suwuklygyň erkin üsti gabat gelse we her bir nokatda hemişelik basyş täsir etse, suwuklygyň hereketi batsyz bolýar.

Batsyz hereketde suwuklygyň erkin AB üsti, guýudaky ýa-da gönüburçly galereýadaki, suwuklygynyň derejesinden ýokarda ýerleşen.

Nebit çykaryşda batsyz filtrasiýa duş gelinýär meselem, haçanda gatlagyň energiýasynyň güýçden gaçmagynyň yzy süre nebit onun üstenden (krowlýa) aşaga düşýär.

Batsyz süzüjilik, nebit ýataklaryny şahtaly we karýerli peýdalanyş usulynda öz ornuny tutýar. Gidrotehnikler toprakdaky akymyň batsyz hereketi bilen köplenç duş gelmeli bolýarlar. Gatlakdaky suwuklygyň kadalaşan batsyz hereketine degişli mysal işlenende köplenç Dýupýui-Forhgeýmeriň gidrawliki teoriýasy diýip atlandyrylan-ýakynlaşdyrlan teoriýa ulanylýar. Gidrawliki teoriýada şu aşakdaky çaklamalar edilen.

1) Filtrasiýanyň tizliginiň gorizontal komponentleri akymyň kese-kesiginde deň ölçegli bölünen.

2) Basyş wertikal boýunça gidrostatik kanuna laýyklykda bölünen $H + \frac{P}{\gamma} = const$ - wertikal boýunça hemişelik hasaplanýar.

Gidrawlik teoriýanyň bu çaklamalary erkin üstüň gyşarmasy i=sin$\alpha \approx 1$ bolanda akymyň şol böleginde goyberilen (α - üstüň gorizontala garşy gyşarma burçy).

Eger-de erkin üstli suwuklygyň akymy uly meýdany tutsa, onda erkin üstüň çala (sähelçe) gyşarmasy bolýar. Şu ýagdaýda göniçyzykly ýerasty gönüburçly galllereýa we gidrodinamiki kämilleşen guýy batsyz akymyň meselelerni birölçegli hereketiň teoriýasy boýunça çözüp bolýar.

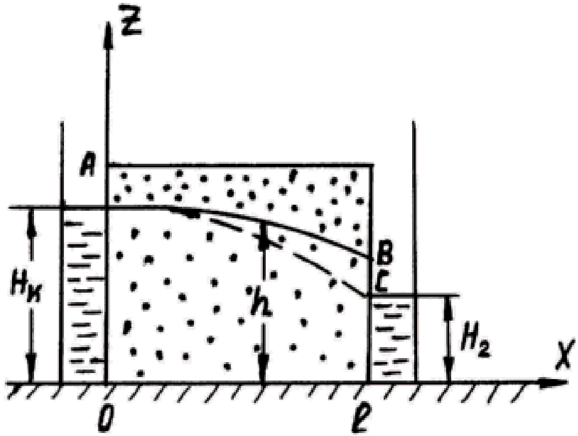
IX. SUWUKLYGYŇ GÖNI ÇYZYKLY ÝERASTY GÖNI BURÇLY GALLEREÝA BATSYZ HEREKETI

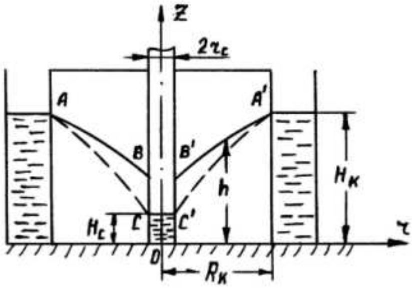
Gatlakda suwuklygyň kadalaşan batsyz hereketi Darsiniň kanuny boýunça bolup geçýär diýip hasaplasak, koordinata oklarynyň ýerleşişini saýlanyp alnan ýagdaýynda, “B” inlikli ýerasty göniburçly gallereýa ýygnanmagyny iýmitlendiriş oblast tarapyndan debit bilen häsiýetlendirilýär:

$$Q = \frac{Bkh_{\gamma}(H_k^2 - H_{\Gamma}^2)}{2\mu l} \quad (1)$$

Pýezometrik çyzyk (AC depressiýanyň egri çyzygy) aşakdaky deňlemä laýyk ýazylýar:

$$h = \sqrt{H_k^2 - \frac{H_k^2 - H_k^2}{l} x} \quad (2)$$





Surat 12.

Suwuklygyň bölejikleriniň hereketi bolsa - şu aşakdaky kanuna boýun egýär:

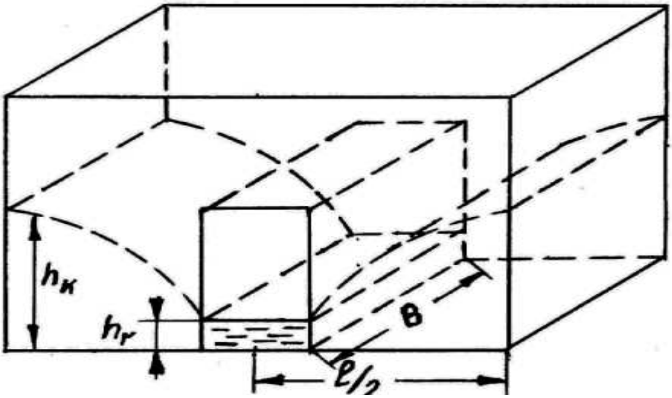
$$t = \frac{B^2 mk\gamma}{3Q^2\mu}\left[\left[H_k^2 - \frac{2Q\mu}{Bk\gamma}x_0\right]^{3/2} - \left[H_k^2 - \frac{2Q\mu}{Bk\gamma}x\right]\right]^{3/2} \qquad (3)$$

nirede x_o - suwuklygyň hereket edýän bölejikleriniň koordinatasy (t=0) bolanda. Suwuklygyň hereketi hemme gatlaklarda Darsiniň çyzyklaýyn kanunyna laýýk bolmadyk ýagdaýynda

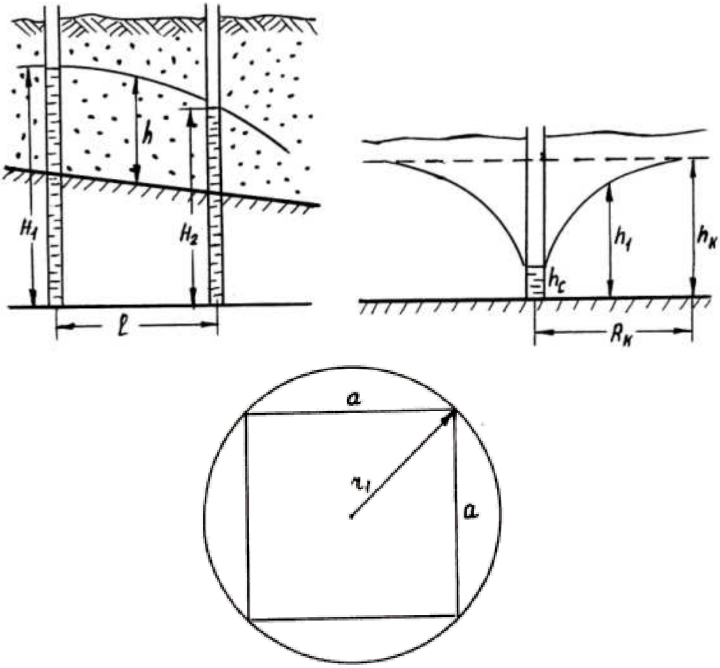
$$\omega = C\left[-\frac{dh}{dx}\right]^{1/n} \qquad (4)$$

nirede C we n käbir hemişelikler, eger 1<n<2 onda debitiň formulasy aşakdaky ýaly bolýar.

$$Q = B\,C\left[\frac{H_k^{n+1} - H_Г^{n+1}}{(n+1)\,l}\right]^{1/n} \qquad (5)$$



Surat 13.



Surat 14.

X. SUWUKLYGYŇ GUÝYNYŇ BATSYZ HEREKETI

Eger-de R_k radiusly gidrodinamiki kämilleşen guýy ýokardaky birinji suwly gatlagy açsa we gatlakda Darsiniň kanuny boýunça, erkin üstli suwuklygyň hereketi öz ýerini tutýan bolsa, onda debit şu formula boýunça hasaplanýar.

$$Q = \frac{\Pi\, k\, j\,(H_k^2 - H_c^2)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (6)$$

aşakdaky formula boýunça bolsa depressiýanyň egri çyzygy hasaplanýar (sur. 12)

$$h = \sqrt{H_k^2 - \frac{H_k^2 - H_k^2}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (7)$$

Bölejikleriniň hereketiniň wagty bolsa grafik - analitik usuly esasynda aşakdaky deňlemäni integrirlemek bilen tapylýar.

$$t = \frac{2\pi m}{Q} \int_r^{r_0} r \sqrt{H_k^2 - \frac{Q\mu}{\Pi k j} \ln \frac{R_k}{r}}\, dr \qquad (8)$$

ýa-da ýakynlaşan formula bilen tapyp bolýar.

$$t = \frac{2\pi m}{Q} h \int_r^{r_0} r dr = \frac{\pi h m}{Q}\left(r_0^2 - r^2\right) \qquad (9)$$

nirede $\overline{h}$ ululygyň r-den r_o çenli üýtgeýän aralykdaky badyň ortaça bahasy.

Suwuklygyň hereketi Darsiniň kanunyna laýyk gelmedik ýagdaýynda guýynyň debitini aşakdaky formula bilen tapyp bolýar.

$$Q = 2\pi c\left(\frac{n-1}{n+1}\frac{H_k^{n+1} - H_c^{n+1}}{\frac{1}{r_c^{n-1}} - \frac{1}{R_k^{n-1}}}\right)^{\frac{1}{2}}$$

n = 2 bolanda formuladan A.A. Krasnopolskiý tarapyndan jaýrykly jynslarda batsyz süzüjilik ýagdaýy üçin formula alynýar. Dýupýuniň formulasy (6) diýip atlandyrylan, debitiň formulasy örän jur we takyk bolýandygyny M.A. Çarnyý görkezdi.

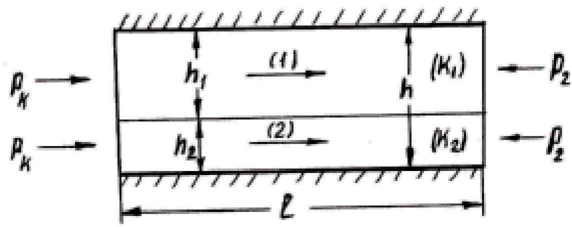
XI. KÖPJYNSLY GEÇIRIJILIKLI GATLAKDA SUWUKLYGYŇ HEREKETI

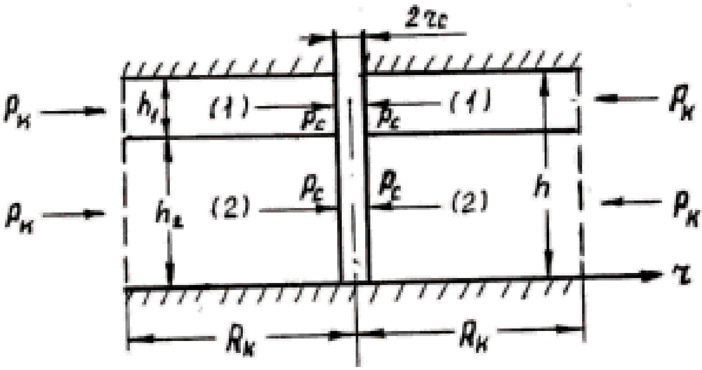
Öndürjilikli gatlaklaryň geçirijiligi, dürli nokatlarda pugta hemişelik ululyk bolmaýar. Kämahal gatlak boýunça geçirijiligiň üýtgeýişi haotiki häsiýeti bolany üçin gatlagy ortaça birjynsly geçirijilikli seredip bolýar.

Eger-de geçirijiligiň üýtgeýişi tötänleýin häsiýetli bolmasa, gatlagyň uzynlygynda geçirijiligiň üýtgeýişi belli bir kanuna laýyklykda bolsa, onda suwuklygyň we gazyň hereketi birjynsly gatlaklardaky hereketden tapawutlanýar.

Gatlagyň köp jynslylygynda aşakdaky ýönekeý ýagdaýlaryny belläliň.

Gatlag birnäçe gatdan durýar (sur. 15). Bir gatyň araçäginde geçirijilik birmeňzeş we bir gatdan beýlekä geçende böküp üýtgeýär. Hemme "n" gatlar gorizontal diýip alýarys, I – gatyň h_i galaňlygyny, geçirijiligi – K bolsun diýeliň, her gatyň bir ujynda basyş P_k deň, beýlekisinde – P_r deň.





Surat 15.

Eger-de suwuklygyň hereketi Darsiniň kanuny boýunça göniçyzykly parallel bolsa, onda her gatyň içindäki basyşyň üýtgemegi göni bolup, şu formula bilen kesgitläp bolýar:

$$P = P_k \frac{P_k - P_r}{l} x \qquad (1)$$

Eger-de suwuklygyň hereketi Darsiniň kanuny boýunça göniçyzykly parallel bolsa, onda her gatyň içindäki basyşyň üýtgemegi göni bolup, şu formula bilen kesgitläp bolýar:

$$P = P_k \frac{P_k - P_r}{l} x \qquad (1a)$$

Akymyň debiti bolsa aşakdaky formula boýunça hasaplanýar:

$$Q = \frac{B(P_k - P_r)}{\mu l} \sum_{i=1}^{n} k_i h_i \qquad (2)$$

Geçirijiligiň ortaça koeffisiýenti şu formula bilen hasaplanýar:

$$K_{opt} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} k_i h_i}{\sum\limits_{i=1}^{n} h_i} \qquad (3)$$

Suwuklyk köp gatly gatlakda gidrodinamiki kämilleşen guýy Darsiniň kanuny boýunça tekiz radial hereketde bolsa, her gatdaky basyş logarifmiki kanun bilen üýtgeýär:

$$P = P_k - \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r} \qquad (4)$$

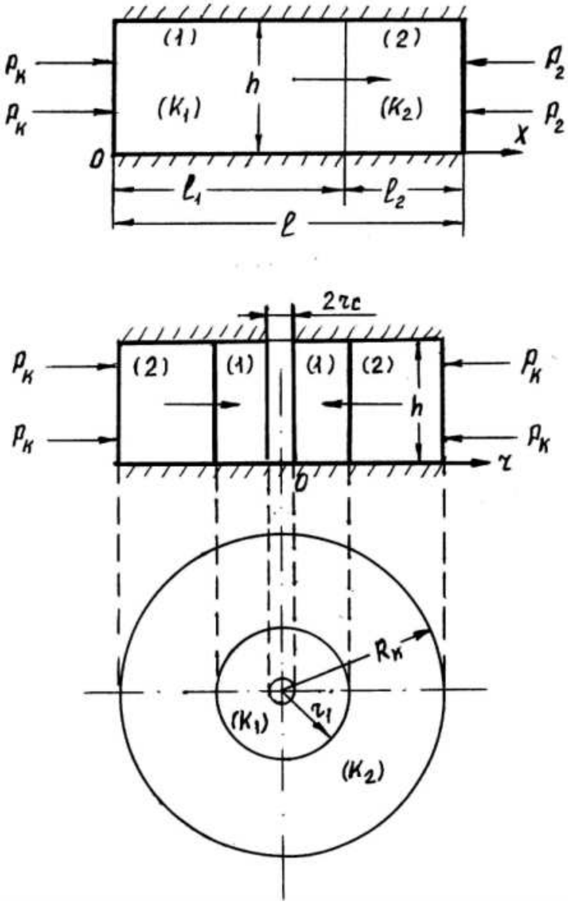
Guýynyň debiti aşakdaky formula bilen hasaplanýar:

$$Q = \frac{2\Pi (P_k - P_c)}{\mu \cdot \ln \frac{R_k}{r_c}} \sum_{i=1}^{n} k_i h_i \qquad (5)$$

Gatlagyň geçirijiliginiň ortaça koeffisiýenti – şu ýagdaýda (3) formula bilen kesgitlenýär.

2) Gatlak birnäçe dürli geçirijilikli zolaklardan durýar. Iki zolagyň araçäginde geçirijilik böküş görnüşinde üýtgeýär. Şol bir zolagyň içinde geçirijilik birmeňzeş (sur. 16).

Köpjynslygyň şeýle görnüşi bilen duşmak mümkin. Meselem, iki dürli gatlaklaryň zyňylma boýunça galtaşygynda ýa-da şol bir gatlagyň fasial üýtgeýän ýagdaýynda bolmaly. Goý gorizontal gatlagyň galyňlygy H, uzynlygy L. Gatlak dürli geçirijilikli *n* zolakdan düzülen.



Surat 16.

L_i – zolagyň uzynlygy; K_i – geçirijilik koeffisiýenti.

Eger-de şeýle gatlakda suwuklygyň hereketi Darsiniň kanuny boýunça parallel-göniçyzykly bolsa onda debiti aşäkdaky formula boýunça hasaplanýar.

$$Q = \frac{Bh(P_k - P_Г)}{\mu \sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{k_i}} \qquad (6)$$

Geçirijilik koeffisiýentiň ortaça bahasy deň:

$$k_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^{n} l_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{k_i}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{k_i}} \qquad (7)$$

n =2 bolanda basyşyň paýlanmasy P_1 birinji zolakda, P_2 ikinjide, şeýle deňlemeler bilen ýazylýar:

$$P = P_k - \frac{(P_k - P_Г)K_2}{l_1K_2 + l_2K_1} X;$$

$$0 < X < 1 \qquad (8)$$

$$P_{(2)} = P_Г + \frac{(P_k - P)K_1}{l_1K_2 + l_2K_1}(1 - x);$$

$$l_1 \leq x \leq 1 \qquad (9)$$

Haçanda suwuklyk Darsiniň kanuny boýunça tekiz radial görnüşde gidrodinamiki kämilleşen guýa hereket edýän bolsa, gatlakda dürli geçirijilikli zolaklar halkalaýyn görnüşi eýeleýärler we guýynyň debiti şu formula bilen tapylýar:

$$Q = \frac{2\pi kh(P_k - P_c)}{\mu \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{k_i} \ln \frac{r_i}{r_{i-1}}} \qquad (10)$$

nirede K_i, I – nomerli zolagyň geçirijiliginiň koeffisiýenti; we r_{i-1}, r_i – zolagyň içki we daşky radiusy, r_0=r_c hem r_n=R_k. Şu ýagdaýda geçirijilik koeffisiýentiň ortaça bahasy aşakdaky formula boýunça tapylýar:

$$k_{ort} = \frac{\ln\dfrac{R_k}{r_c}}{\sum\limits_{i=1}^{n}\dfrac{1}{k_i}\ln\dfrac{r_i}{r_{i-1}}} \qquad (11)$$

n=2 bolanda basyşyň ýaýraýyşy P_1 birinji zolakda, P_2 – ikinji zolakda aşakdaky formula bilen kesgitlenilýär:

$$P_1 = P_{(c)} + \frac{(P_k - P_c)\ln\dfrac{r}{r_c}}{\ln\dfrac{r_1}{r_c} + \dfrac{k_1}{k_2}\ln\dfrac{R_k}{r_1}}; \qquad P_2 = \frac{\dfrac{k_1}{k_2}(P_k - P_c)\ln\dfrac{r}{R_k}}{\ln\dfrac{r}{R_k} + \dfrac{k_1}{k_2}\ln\dfrac{R_k}{r_1}} \qquad (12)$$

$$r_c \le r \le r_1 \qquad\qquad r_1 \le r \le R_k$$

3) Gatlagyň geçirijiligi üznüksiz üýtgäp durýar, ulalýar ýa-da kiçelýär haýsy hem bolsa bir ugura. Goý tekiz – radial akymda geçirijilik koeffisiýenti çyzykly kanun boýunça üýtgeýän bolsun:

$$K = a + br = \frac{K_c R_k - K_0 r_c}{R_k - r_c} + \frac{K_0 - K_c}{R_k - r_c} r \qquad (13)$$

guýynyň düýbünde geçirijilik koeffisiýenti K_c deň, iýmitlendiriş sudurde bolsa **(**$r=R_k$**)** $K=K_o$. Suwuklygyň süzüjiligi Darsiniň kanuny boýunça bolup geçýär. Bu ýagdaýda debitiň formulasy şu görnüşde bolar:

$$Q = \frac{2\Pi h(P_k - P_c)}{\mu\int\limits_{r_c}^{R_k}\dfrac{dr}{rK(r)}} = \frac{2\Pi h(P_k - P_c)(K_c R_k - K_0 r_c)}{\mu(R_k - r_c)(\ln\dfrac{R_k}{r_c} + \ln\dfrac{K_c}{K_0})} \qquad (14)$$

XII. GYSYLÝAN SUWUKLYGYŇ WE GAZYŇ KADALAŞAN FILTRASIÝASY

Gysylýan suwuklygyň we gazyň kadalaşan filtrasiýasy bolanda massalaýyn ýa-da agramlaýyn harçlanyşy gatlagyň hemme kese –kesiginde birmenzeş bolýar.

Gowrümleýin harçlanyş bolsa, suwuklygyň ýa-da gazyn giňelmeginiň hasabyna basyşyň aşak gaçmagy bilen ösýär.

Şu funksiýany $$L = \int jdP + C \tag{1}$$

L.S. Leýbenzonyň funksiýasy diýip atlandyrýarys.

Şu funksiýanyň girizilmeginiň maksadyny aýdyňlaşdyrýan formulalary deňeşdirmegimizden görünýär. Ol gysylmaýan suwuklyklar üçin Darsiniň kanuny differensial görnüşde

$$Q = -\frac{k}{\mu}\frac{dP}{dS}F(S) \tag{2}$$

Q – suwuklygyň hemişelik göwrümleýin harçlanyşy we gysylýan suwuklyk hem-de gaz üçin:

$$G = -\frac{k}{\mu}\frac{jdP}{dS}F(S) = \frac{k}{\mu}\frac{dL}{dS}F(S) \tag{3}$$

nirede G – agramlayyn harçlanyş.

dL = jdP - Leýbenzonyň funksiýasynyň differensialy. Aňlatmalar birmeňzeş tipli differensial deňleme bolup, daňlemede – göwrümleýin harçlanyş bilen – (3) formuladaky agramlaýyn harçlanyş, hem-de (2) formuladaky basyş – (3) formuladaky Leýbenzonyn funksiýasy bilen gabat gelende, Darsiniň kanuny boýunça gysylmaýan suwuklygyň kadalaşan filtrasiýasy üçin alynan hemme formulalary, gysylýan suwuklygyň we gazyň kadalaşan filtrasiýasy üçin şol bir çäklendirlen şertlerde şu aşakdaky üýtgeýjileriň çalyşmasy bilen ulanmak mümkin.

Gysylmaýan suwuklyk	Gysylýan suwuklyk ýa-da gaz
1. Göwrümleýin harçlanyş	1. Agramlaýyn harçlanyş
2. Basyş	2. Leýbenzonyň funksiýasy
3. Göwrümleýin filtrasiýa tizligi	3. Agramlaýyn filtrasiýa tizligi

Gukyň kanunyna laýyk gelýän gysylma damjalaýyn suwuklyk üçin udel agramyň, basyşa baglylyk deňlemesi aşäkdaky görnüşde bolar:

$$L = j_o l^{\beta s(P-Po)} = j_o l^{P-Po/K_s} \quad (4)$$

nirede β_s – suwuklygyň göwrümleýin gysyş koeffisiýenti; K_s – suwuklygyň maýyşgaklyk moduly.

Gysylýan suwuklyk üçin Leýbenzonyň funksiýasynyň dogry bahasy aşakdaka deňdir.

$$L = \int j dP + C = \int j_{0l}^{\beta s(P-Po)}\, dP + C = j/\beta_s + C \quad (5)$$

Leýbenzonyň funksiýasynyň ýakynlaşan bahasy bolsa:

$$L = \int \gamma_o [1+\beta_s \cdot (P - P_o)] dP + C \quad (6)$$

Köplenç $\beta_s(P-Po) << 1$ bolup $P = j_0 P + C$ diýip kabul etmek mümkin onda, gysylýan suwuklygyň filtrasiýasyny, gysylmaýan suwuklygyň formulalary bilen hasaplamak bolar.

Ideal gaz halynyň deňlemesini izotermik akymda aşäkdaky ýaly ýazmak mümkin:

$$\frac{P}{j} = \frac{P_{at}}{j_{at}} = RT \quad (7)$$

nirede j_{at} – atmosfera basyşda we gatlak temperaturada gazyň udel agramy.

Bu ýerde:

$$j = \frac{j_{at} P}{P_{at}} \quad (8)$$

Şol sebäpli Leýbenzonyn funksiýasy ideal gaz üçin şu görnüşe eýe bolýar:

$$L = \int j dP + C = \int \frac{j_{at} P}{P_{at}} dP + C = \frac{j_{at} P^2}{2P_{at}} + C \quad (9)$$

nirede P – absolýut basyş.

1) Darsiniň kanuny boýunça ideal gazyň parallel – akymly filtrasiýasyna seredeliň. Parallel akymly filtrasiýada gysylmaýan suwuklygyň göwrümleýin harçlanyşy (4) formula bilen kesgitlenýär; aýdylan gysylmaýan suwuklyk we gaz akymlarynyň arasyndaky meňzeşliklerden peýdalanyp, gaz üçin agramlaýyn harçlanyşyň formulasyny ýazyp bileris:

$$G = \frac{K(L_k - L_g)}{\mu \, l} Bh \quad (10)$$

ýa-da (9) hasaba alyp:

$$G = \frac{K j_{at} (P_k^2 - P_g^2)}{2 \, \mu \, P_{at} l} Bh \quad (11)$$

Q_{at} – atmosfera basyşyna getirilen göwrümleýin harçlanyş diýsek onda:

$$Q_{at} = \frac{G}{j_{at}}; \;\; Q_{aT} = \frac{K(P_k^2 - P_g^2)}{2\mu \cdot P_{at} l} Bh \quad (12)$$

Gysylýan suwuklygyň parallel – akymly filtrasiýasy üçin, basyşyň gatlakda ýaýraýyş kanunyny aňlatýan formulada P-ni L bilen çalyşyp, Leýbenzonyň funksiýasynyň çyzykly kanunyna görä ýaýraýşyny alarys:

$$L = L_k - \frac{L_k - L_g}{l} x \quad (13)$$

we ýokarda berlen formulany ulanyp parabolik kanuny boýunça basyşyň ýaýraýşyny ýazyp bileris:

$$P^2 = P_k^2 - \frac{P_k^2 - P_g^2}{l} x \quad (14)$$

Göwrümi boýunça orta bahaly gazyň gatlakda basyşy bolsa:

$$\widetilde{P} = \frac{2}{3} \frac{P_k^3 - P_g^3}{P_k^2 - P_g^2} \qquad (15)$$

2) Gazyň tekiz radial filtrasiýasy üçin (4) Dýupýuiniň formulasyna laýyklykda gazyň agramlaýyn debitiniň formulasyny ýazyp bileris:

$$G = \frac{2\pi kh(P_k^2 - P_c^2)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (16)$$

Leýbenzony funksiýasynyň bahasyny ýokardaky formula goýsak, onda

$$G = \frac{\pi khj_{at}(P_k^2 - P_c^2)}{\mu P_{at} \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (17)$$

we atmosfera basyşyna getirilen gaz guýynyň göwrümleýin debiti üçin aňlatmany şu görnüşde alarys:

$$Q_{at} = \frac{\pi kh(P_k^2 - P_c^2)}{\mu P_{at} \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (18)$$

(5) formulada P-ni L çalşyp, gazyň tekiz radial süzüjiliginde P-niň logarifmiki ýaýraýyş kanunyny alarys:

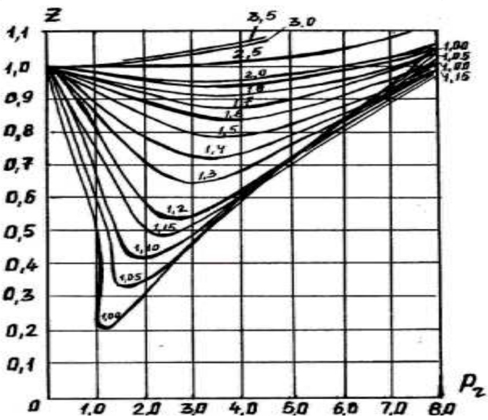
$$L = L_k - \frac{(L_k - L_c)}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R}{r} \qquad (19)$$

Bu ýerde (9) aňlatmany ulanyp, basyşyň gatlakda ýaýrayş kanunyny şu görnüşde taparys:

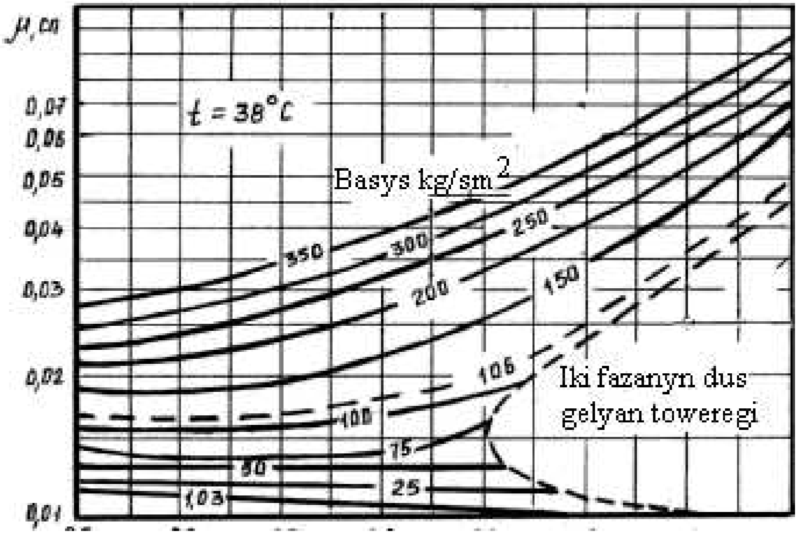
$$\widetilde{P} = \sqrt{P_k^2 - \frac{(P_k^2 - P_c^2)}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R}{r}} \qquad (20)$$

Darsiniň kanuny boyunca kadalaşan tekiz radial filtrasiýasynda gatlakdaky gazyň basyşynyň orta bahasy şu formula bilen ýakynlaşan görnüşde hasaplanylýar:

$$P = P_k \left\{ \frac{1 - \left[\frac{P_c}{P_k}\right]^2}{2} \left[\frac{1}{2\ln \frac{R_k}{r_c}} - \frac{1}{\frac{R_k^2}{r_c^2} - 1} \right] \right\} \qquad (21)$$



Surat 17



Surat 18

Uly basyşda real gaz halynyň deňlemesi Klapeýronyň deňlemesinden tapawutlanýar we şu görnüşli bolýar:

$$\frac{P}{j} = Z\,R\,T \qquad (22)$$

nirede Z = Z(P_rT_r) – gazyň aşa gysyjylyk koeffisiýenti, ol real gazyň, ideal gazyň kanunyndan gyşarmasyny hasaba alýar, we getirme basyşa hem-de temperatura bagly bolýar.

$$P_Г = \frac{P}{P_{ort.kr.}}; \quad T_Г = \frac{T}{T_{ort.kr.}} \qquad (23)$$

we grafiki bilen hasaplanýar (sur. 17), bu ýerde $P_{ort.kp}$ we $T_{ort.kp}$ orta kritiki basyş we orta kritiki basyş we orta kritiki temperatura.

Hakyky (tebigy) gaz dürli komponentlerden (metan, etan, propan we başgalardan) durýar, şonuň üçin $P_{ort.kp}$ we $T_{otr.kp}$ bahasyny öňünden aşakdaky formulalar bilen hasaplamaly:

$$P_{ort.kr.} = \frac{\sum n_i P_{kr.i}}{\sum n_i} \qquad T_{ort.kr.} = \frac{\sum n_i T_{kr.i}}{\sum n_i} \qquad (24)$$

nirede n_i - % hasabynda I komponentiň gazda göwrümleýin tutýan bölegi.

$P_{ort.kp}$ we $T_{ort.kp}$ komponentyň kritiki basyşy we temperaturasy.

Tebigy gazyň şepbikliginiň dinamiki koeffisiýenti basyşa we we temperatura bagly.

Gatlakda geçýän prosessi izotermiki diýip kabul edip μ (P) baglylygy hasaba almaly.

Tejribe derňewleriniň esasynda grafikler gurulan, şolara görä tebigy gazyň şepbikliginiň dinamiki koeffisiýenti howanyň otnositel udel agramyna baglylykda dürli basyşda we temperaturada 6 % çenli takyklykda tapmak mümkin (sur. 18).

Real gazlaryň agramlaýyn debitini ýa-da basyşynyň gatlakdaky ýaýramagynyň kanunyny hasaplamak üçin gatlagyň gutarnyksyz kiçi elementi üçin Darsiniň kanunyny ýazmak gerek we μ (P) baglylygy, hemde (22) formulany göz öňünde tutup ony grafik analitiki usul bilen integrirlemeli. Eger basyş gatlakda kiçi aralykda üýtgese, onda $P/\mu(P) \cdot z(P)$ gatnaşygy ýönekeý algebriki funksiýa bilen aproksimirläp bolýar, we ony integrala alyp debiti we gatlakdaky basyşyň ýaýramak kanuny üçin analitiki aňlatmany tapyp bolýar.

XIII. GAZLAŞDYRLAN SUWUKLYGYŇ KADALAŞAN FILTRASIÝASY

Eger-de gatlakdaky basyş doýgunlaşan basyşdan ýokary bolsa, onda gaz suwuklykda doly eräp, ol özüni bir meňzeş ýaly alyp barýar. Basyş doýgun basyşdan aşak düşende nebitden gaz köpürjikleriniň bölünip çykmagy bolup geçýär. Gatlakda guýynyň düýbüne ýakynlaşdygyça basyş aşak düşýär we köpürjikleriň ölçegi gazyn giňelmegi netijesinde ulalýar, şol bir wagtda nebitde täze gaz köpürjikleriniň bölünip çykmagy gaýtalanýar. Bu ýerde biz ikifazaly sistemany emele getirýän gazlaşan suwuklygyň filtrasiýasy bilen iş salyşýarys (suwuklyk garyndysy we nebitden bölünip çykýan erkin gaz). Gazlaşan suwuklygyň filtrasiýasy geçende, her bir fazaň hereketi aýratyn seredilýär. Suwuk faza jynsyň bölejiginden we gaz köpürjiginden durýan üýtgeýän sredada, gaz fazasy bolsa suwuklykdan we jynsdan durýan üýtgeýän sredada hereketlenýär diýilip hasaplanýar.

Gatlakdaky nokatdan nokada üýtgeýän K_s, K_g fazalaýyn geçirijiligiň koeffisiýentlerini girizip, filtrasiýanyň çyzykly kanuny ýerine ýetirilýär diýip hasap edip, ol kanuny her faza üçin aýratyn ýazýarys:

$$Q_S = -\frac{K_S}{\mu_S}\frac{dP}{dS}F(S) \qquad Q_g = -\frac{K_g}{\mu_g}\frac{dP}{dS}F(S) \qquad (1)$$

bu ýerde Q – gatlak şertlerindäki erkin gazyň debiti.

Fazalaýyn geçiriş köplenç suwuk fazanyň – öýjük giňişliginiň doýgunlygyna baglydygy Wikowyň we Botsetiň tejribesinde anyklanan. Suwuk fazanyň eýelän öýjükli göwrüminiň öýjükli sredanyň hemme öýjük göwrümine bolan gatnaşygyna doýgunlyk – diýilýär. Otnositel fazalaýyn geçirijiligiň:

$$K_S^* = \frac{K_S}{K} \quad \text{we} \quad K_g^* = \frac{K_g}{K} \qquad (2)$$

doýgunlygyna baglydygy grafikada görkezilen (sur. 19). Bu ýerde K – birmeňzeş suwuklygyň filtrasiýasy netijesinde anyklanýan jynsyň absolýut geçirijiligi. Gazlaşdyrylan suwuklygyň filtrasiýa teoriýasynda gaz faktory diýen düşünjesi girizilýär.

Ol atmosfera basyşyna getirilen erkin we suwuklykda erän gazyň debitiniň, suwuklygyň debitiniň gatnaşygyna deňdir.

$$G = \frac{Q_{g\,at}}{Q_S} \quad (3)$$

Gazlaşdyrlan suwuklygyň kadalaşan filtrasiýasynda gaz faktoryň ulylygy, akymyň çyzygnyň uzynlygy boýunça hemişeligine galýar.

Doýgunlyk – basyşyň bir alamatly funksiýasy bolmak bilen suwuk fazanyň K^*_s otnositel fazalaýyn geçirijiligini basyş bilen baglanyşdyryp, $K^*_s(P^*)$ grafigi gurmak mümkin. Bu ýerde ölçegsiz basyş:

$$P^* = \frac{P}{P_{at}\xi} \qquad \xi = \Gamma\frac{\mu_g}{\mu_S} \quad (4)$$

Indi şu aňlatmany:

$$H = \int_0^p K_S^* dP \qquad (5)$$

S.A.Hristianowiçiň funksiýasy diýip atlandyrýarys. Hristianowiçiň funksiýasynyň üsti bilen suwuk fazanyň debitini. Darsiniň kanuny boýunça ýazýarys:

$$Q_S = -\frac{K}{\mu_S}\frac{dH}{dS}F(S) \qquad (6)$$

Bu formulada basyşyň ornuny funksiýa “H” tutýar. Meselem gorizontal tegelek gatlagyň merkezinde ýerleşýän gazlandyrlan suwuklykly guýynyň suwuk fazasynyň debiti Dýupýuiniň formulasyna laýyklykda anyklanylýar:

$$Q_S = \frac{2\Pi kh(H_k - H_c)}{\mu_S \ln \frac{R_k}{r_c}} \qquad (7)$$

I – uzynlykly gatlakdaky ini “B” bolan ýerasty göniburçly galereýanyň suwuk fazasynyň debiti bolsa:

$$Q_S = \frac{K}{\mu_S} \frac{H_k - H_Г}{l} Bh \qquad (8)$$

Hristianowiçiň funksiýasy gazlaşan suwuklygyň tekiz – radial filtrasiýasy şertlerinde logarifmiki ýaýrama kanuna boýun egýär:

$$H = H_k - \frac{H_k - H_c}{\ln \frac{R_k}{r_c}} \ln \frac{R_k}{r} \qquad (9)$$

parallel – akymly filtrasiýa bolsa çyzykly kanuny boýun edýär

$$H = H_k - \frac{H_k - H_Г}{l} x \qquad (10)$$

Lapugyn usuly boýunçaa hasaplanylanda Hristianowiçiň funksiýasynyň bahasyny tapmak üçin $K_s(P^*)$ grafigi ulanyp (sur.21), grafiki integrirleme usuly ulanyp Hristianowiçiň ölçegsiz funksiýasy gurulýar.

$$H^* = \int_0^{P^*} K_S^* dP^* \qquad (11)$$

$\xi = \Gamma \frac{\mu_g}{\mu_S}$ ululyk hasaplanýar, soňra ölçegli basyşdan ölçegsiz basyşa şu formula bilen geçirilýär:

$$P^{*} = \frac{P}{P_{at}\xi} \qquad (12)$$

Grafik boýunça, hasaplanan P* ululyga gabat gelýän H* ululygy tapylýar, soňra Hristianowiçiň ölçegli funksiýasyna geçilýär:

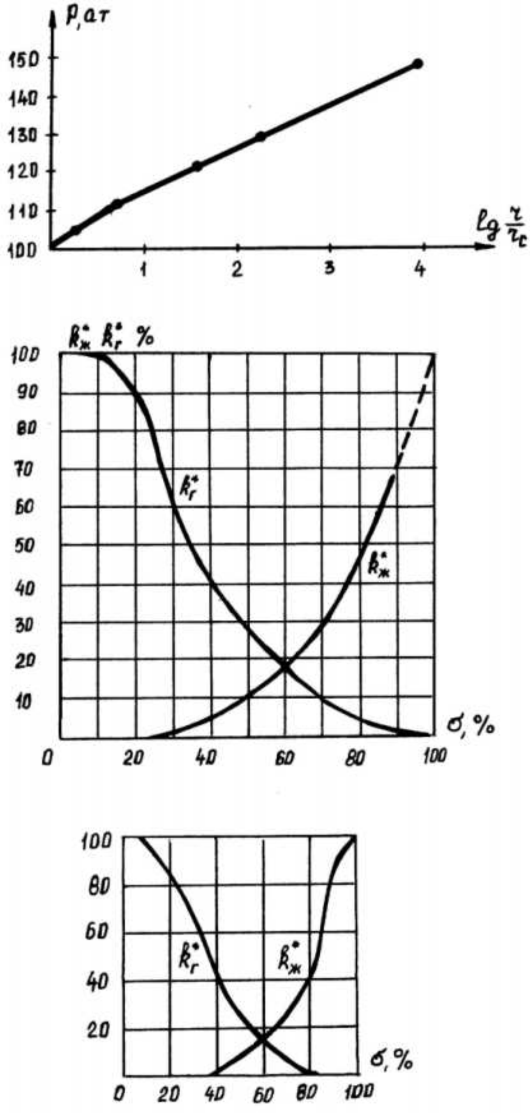
$$H = H^{*}\xi P_{at} \qquad (13)$$

Gatlagyň käbir nokadyndaky basyşy tapmak üçin başda “H” funksiýanyň ululygyny (10) ýa-da (9) formulalar bilen hasaplanylýar. Soňra H*(P*) grafigi baglanşygyny ulanyp H ululyga laýyk gelýän basyşyna geçilýär.

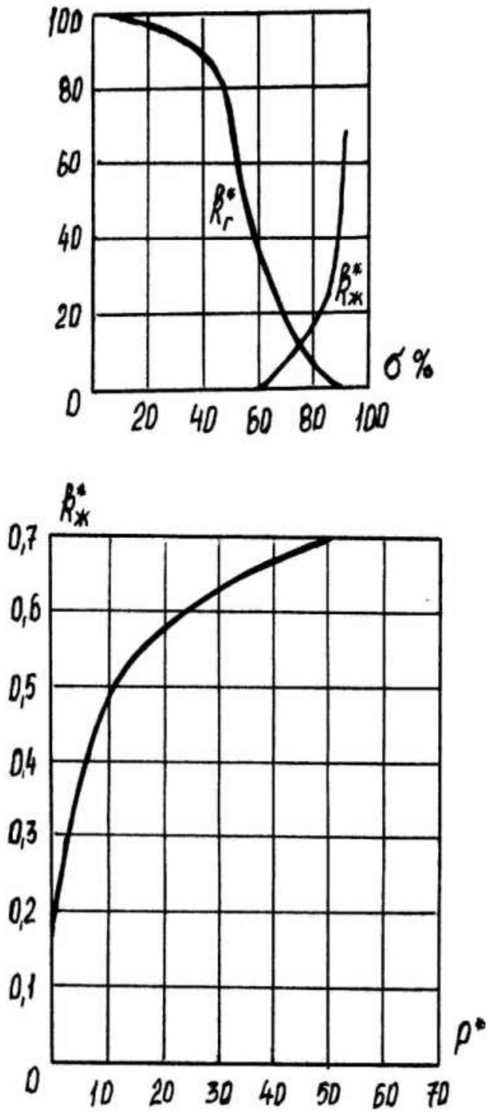
Hristianowiçiň funksiýasy basyşdan başgada hem (gatlakdaky üýtgeýän ululyk)

$$\alpha = S\frac{\mu_\Gamma}{\mu_S} \qquad (14)$$

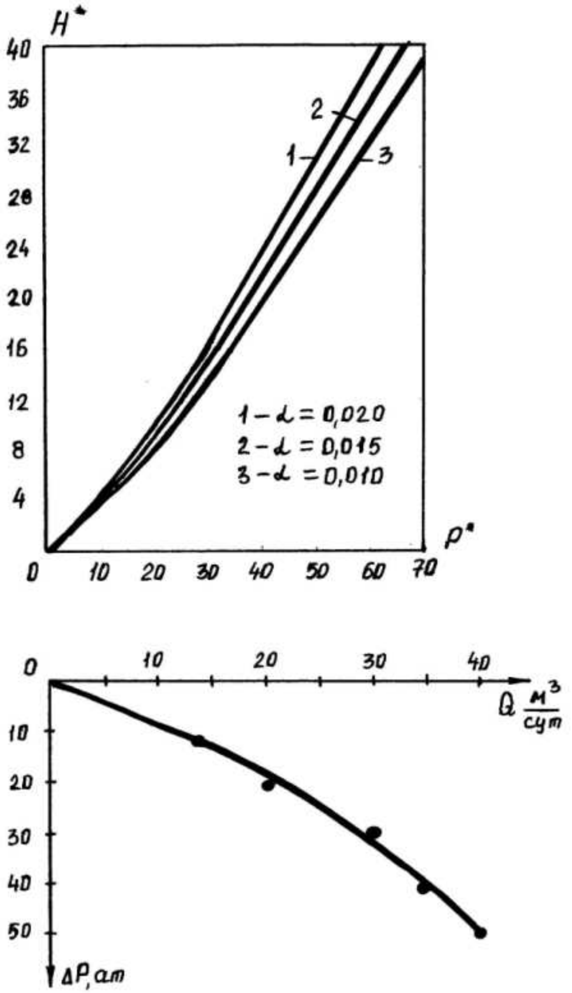
Hemişelik parameter baglydyr. Nirede S - suwuklykda gazyň göwrümleýin ereýiş koeffisiýenti.


p, ат
150
140
130
120
110
100
lg r/r_c
1
2
3
4
k*ж k*г %
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
k*г
k*ж
σ, %
0
20
40
60
80
100
100
80
60
40
20
k*г
k*ж
σ, %
0
20
40
60
80
100

Surat 19


100
80
60
40
20
0
20
40
60
80
100
σ %
$R_г^*$
$R_ж^*$
$R_ж^*$
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
10
20
30
40
50
60
70
P^*

Surat 20



Surat 21

H*(P*) baglanyşyk grafige laýyklykda P* - ululygyň giňişleýin diapozonda edil göni çyzyga meňzeş şekillenýändigini (eger $P_c/P_k \geq 0,2$) I.A.Çarnyý tarapyndan bellenipdir, şonuň üçin baglanyşygy ýakynlaşan görnüşinde kabul etmek mümkin:

$$H^*=AP^*+B \text{ we şoňa görä } H_k-H_c=A(P_k-P_c) \qquad (15)$$

nirede

$$A = 0{,}944-21{,}43\alpha$$

Eger-de gatlakdaky basyş giň çäklerde üýtgeýän bolsa, fazalaýyn geçirijilik K^*_s sähelçe üýtgeýär, şonuň üçin ony hemişelige ýakynlaşan diýip, hasaplamak bolar we gatlakdaky basyşyň orta ölçegine gabat gelýän fazalaýyn geçirijiligiň K_s ululygyna deň hasaplamak bolar diýip Pyhaçew belläpdir.

$$H_k - H_c = \widetilde{\mathbf{K}}_s(P_k - P_c) \qquad (16)$$

XIV. IKI SUWUKLYGYŇ BÖLÜNME ARAÇÄGINIŇ ÖÝJÜKLI SREDASYNDAKY HEREKETI

Suw batly düzgün şertlerinde, suwlaryň badyna skwažina nebit gatlakdan çykanda, nebit ýataklaryny işletmegi proýektirlenende, nebit öndürjilikli (neftenostnost) çäginiň skwažina tarap çekilişine göz öňünde tutmak hökmanydyr. Gysylyp çykmak, “porşenleýin” usulda bolup geçýär (we iki suwlugyň bölüniş araçägi käbir üst bolýar) diýlip çaklanylýar. Gysylyp çykmak baradaky meseleler işlenilende suwuň we nebitiň dykyzlygy birmeňzeş diýlip hasaplanylýar. Bu, şol suwuklygyň bölüniş araçäginiň dikleýin (wertikal) seredilmegine mümkinçilik berýär. Umumy ýagdaýda dürli tapawutly fiziki düzümli iki suwuklygyň bölüniş araçäginde, akym çyzýgynyň döwülmesi bolup geçýär. Şu döwülme, nebiti suw bilen gysyp çykarylandaky meseleleriň takyk çözülmegine esasy kynçylyk döredýär (ýa-da suw bilen gazy). Haçan wagtyň başlangyç momentinde filtrasiýanyň tangensial düzümli tizligi 0-a deň bolanda gönüçyzykly öňe we radial hereketde akym çyzyklary döwülmeýär. Şu ýagdaýda takyk çözgütler alynan. Şu çözgütlerde suwuklyklar (suw we nebit) gysylmaýan hasaplanylýar, gatlak gorizontal, gatlagyň düzgüni – suw batly, filtrasiýa – çyzyklaýyn kanun boýunca bolup geçýär diýip hasaplanylýar.

Suw – nebit kontakty başlangyç görnüşinde, ýerasty gönüburçly galereýa parallel diýip hasaplaýarys. Gatlagyň galyňlygy, geçirijilik we öýjüklik koeffisiýentleri hemişelik bolan ýagdaýynda ýerasty gönüburçly galereýanyň debitiniň formulasy şu görnüşe eýe bolýar:

$$Q = \frac{2\pi kh(p_K - p_G)}{\mu_B s + \mu_H (1 - s)} \qquad (1)$$

nirede l – gatlagyn uzynlygy

S – iymitleniş çäginden suw-nebit kontaktyna çenli uzaklyk.

Eger $\mu_n > \mu_s$ we P_k = const P_g = const bolan ýagdaýynda kontaktyň galereýa tarap golaýlaşdygyça debitiň ösýändigi ýokarda getirilen formuladan görünýär.

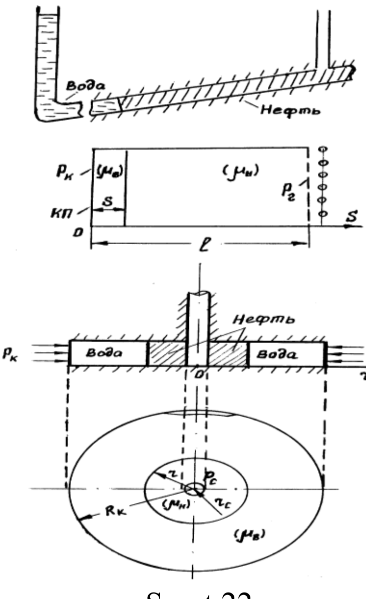
Bölüniş araçäginiň (kontaktyň) gönüçyzykly – öňe hereketinde, nebitiň suw bilen gysylyp çykarylýan wagty aşakdaky formula bilen hasaplanylýar:

$$t = \frac{m}{k(P_K - P_G)}\left[\mu_H l(s - s_0) - \frac{1}{2}(\mu_H - \mu_B)(s^2 - s_0{}^2)\right] \quad (2)$$

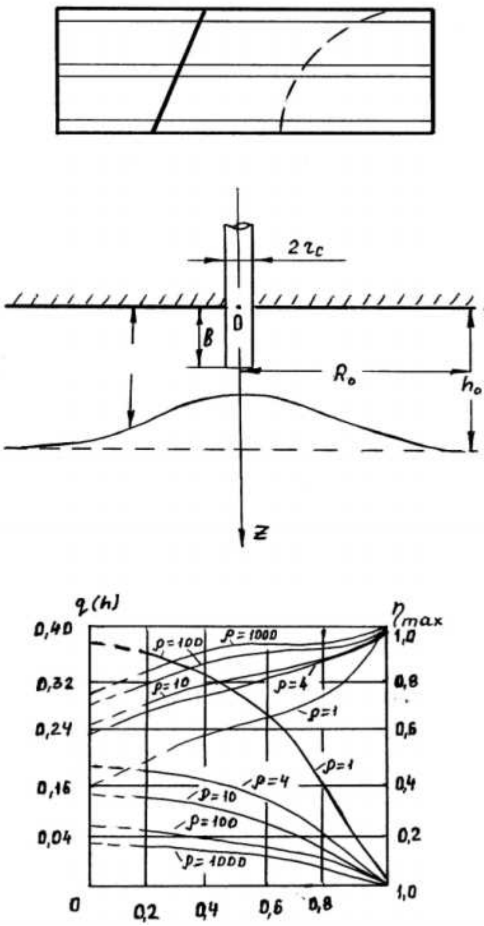
nirede

S_o – wagtyň başlangyç momentinde kontaktyň ornuny hasaplaýan koordinata.

Nebitiň doly gysylyp çykarylýan wagtyny tapmak üçin (2) formulada S = 1 goýmaly.



Surat 22



Surat 23

Tekiz radial filtrasiýasy şertlerde hem muňa meňzeş ýagdaýlar üýze çykýar (sur. 22). Şu ýagdaýda debit aşakdaky formula bilen hasaplanýar:

$$Q = \frac{2\pi\pi kh(p_K - p_C)}{\mu_B \ln \frac{R_K}{r} + \mu_H \ln \frac{r}{r_C}} \qquad (3)$$

nirede: r – wagtyň t momentinde suw nebit kontaktynyň ornuny hasaplaýan koordinata.

Araçägiň başlangyç ýagdaýdan r = r_o(t = 0); r çenli radial süýşmesiniň wagty, aşakdaky formula boýunça tapylýar.

$$t = \frac{m}{k(p_K - p_G)}[\mu_B \ln R_K - \mu_H \ln r_C)]\frac{r_o^2 - r^2}{2} + (\mu_H - \mu_B)$$

$$\left[\left[\frac{r_o^2}{2}\ln r_o - \frac{r_o^2}{4}\right] - \left[\frac{r^2}{2}\ln r - \frac{r^2}{4}\right]\right] \qquad (4)$$

Suwuň we nebitiň şepbeşikliginiň tapawutlylygy, gatlakdan nebitiň (gazyň) çykarylyş wagtyna hem-de suw öndürjilik çäginiň (kontur) hereketine düýpli täsir edýär. Gatlakdaky suw – nebit galtaşygynyň AB başlangyç ýagdaýy ýerasty gönüburçly galereýa parallel däl diýeliň (sur. 23). Görkezilen şertlerde suwnebit galtaşygynyň süýşmegi hakyndaky meseleleri çözmek üçin W.N.Şelkaçewiň hödürlän ýakynlaşan “zolajyk” usuly ulanylýar, we bölejikleriň zolaklaýyn hereketine seredilýär.

$\mu_n > \mu_s$ şertinde “B” – nokadyň tizligi “A” nokadyň tizliginden uludyr. Has dartylan “B” nokatda “Suw diliniň“ tizligi onuň “A” nokatdaky tizliginden çalt ösýär.

XV. GATLAK DABANYNDAKY SUWLARYŇ KONUSY. GUÝYNYŇ SUWSYZ DEBITINIŇ ÇÄGINI HASAPLAMAK

Açylyş derejesi boýunça gidrodinamiki kämilleşmedik guýuda daban suwly gatlakdan nebit (gaz) alnanda, suw-nebit galtaşygynyň araçäginde deformasiýa bolup geçýär. Suw derejesiniň ýokarlanmagynyň emele gelşine daban suwuň konusy diýilýär (sur. 23).

Debitiň artmagy bilen konus ýokary göterilýär we debitiň käbir çäk ululygynda $Q=Q_{pred}$ daban suwlary böwsüp guýy geçýär. Konusyň durnuklaşma şertlerinde onuň depesindäki basyşyň gradiýenti suwuň udel agramyna deň bolýar.

$$\left|\frac{dP}{dz}\right|_{G=O} = \gamma \qquad (1)$$

O.A.Garder, G.J.Meýýer, D.A.Efros. N.S.Piskunow, N.F.Iwanow, I.A.Çarnyý we başgalar tarapyndan suwsyz debitiň çägi hasaplamak usuly hödürlendi.

Haçanda birjynsly anizatrop gatlakda gorizontal ugryn her nokadyň geçirijilik koeffisiýenti, wertikal ugryn geçirijilik koeffisiýentinden mese melim tapawutlanýan diýsek, onda I.A. Çarnyý gatlakdan suwsyz alynjak debitiň ýokary çägini aşakdaky formula bilen kesgitleýär:

$$Q_1 = Q_o q(\bar{h}) = \frac{2\pi k h_o}{\mu}\Delta\gamma h_o q(\bar{h}) \qquad (2)$$

nirede $\Delta\gamma = \gamma_s - \gamma_n$; $\bar{h} = b/h_o$

$q(\bar{h})$ – ölçegsiz debit, we onuň $\rho = \frac{R_o}{\chi h_o}$ dürli ululyklar ucin ara baglanşygy suratda egriler gornuşinde görkezilen (sur. 23).

Bu ýerde

$$\chi = \sqrt{K_{GOR}/K_{WER}} \qquad (3)$$

gatlagyň anizatroplygyny hasaba alýan koeffisiýent. Seýle hem suratda Q_1 gabat gelýän konusyň γ_{max} ýokary galma beýikligini hasaplamak üçin:

$$\eta_{max} = \frac{\gamma_{max}}{h_o - b} \qquad (4)$$

grafiki getirlen.

Suw konusyň depesi skwažinanyň düýbünde ýerleşýän predel ýagdaýyna seredip N.F.Iwanow onuň suwsuz debiti üçin ýakynlaşan formulany getirip çykardy.

$$Q = \frac{\pi k \Delta\gamma({h^2}_o - b^2)}{\mu \ln \frac{r_o}{r_c}} \qquad (5)$$

XVI. MAÝYŞGAK SUWUKLYGYŇ MAÝYŞGAK ÖÝJÜKLI SREDADA KADALAŞMADYK FILTRASIÝASY

Guýy peýdalanmaklyga göýberilende, ýa-da olar duruzylanda guýudan suwuklygyň alnyş tempi üýtgedilende, gatlakda kadasyz prosesler üýze çykýar.

Şu kadasyz prosesleriň aýratynlygy gatlaklaryň we olary doldurýan suwuklyklaryň maýyşgak häsiýetine bagly. Suwuň, nebitiň we öýjükli sredanyň gasylyş koeffisiýentleri örän az bolsada $\beta_{suw}=4{,}5 \cdot 10^{-5}$ m^2/kg; $\beta_{н}=(7\text{-}30) \cdot 10^{-5}$ cm^2/kg; $\beta_{sk}=(0{,}3\text{-}2) \cdot 10^{-5}$ m^2/kg gatlagyň we ony doldurýan suwuklygyň göwrümi örän uly bolup bilýänligi sebäpli suwuklyklaryň we gatlagyň maýyşgaklygy, gatlagyň we guýynyň ulanyş prosessinde alyp barşyna uly täsir edýär. Şonuň üçin nebitiň (gazyň) zapasy hasaplananda, nebit we gaz ýataklaryny işläp ulanmagy proýektirlenilende, peýdalanylanda, guýy derňelende, ýerasty gaz saklanýan hranilişşalar gurulanda, suwuklygyň we öýjükli sredanyň gysylyşyny göz öňünde tutmaly bolýar.

Basys peselende gatlagy doldurýan suwuklygyň göwrümi ulalýar, onuň öýjükleriniň göwrümi bolsa kiçelýär. Bu hem gatlakdan suwuklygyň guýy gysylyp çykýandygyny takyklaýar. Eger nebiti çakaryş prosessinde energiýanyň esasy göwrümi gysylan suwuklygyň we gatlagyň maýyşgak deformasiýasynyň energiýasy bolsa, onda gatlakdaky süzüjilik düzgün maýyşgak düzgün diýlip atlandyrylýar. Şunlukda filtrasion akym bir fazaly, gatlagyň basyşy doýgun basyşdan ýokary, diýlip çaklanylýar. Maýyşgak düzgüniň şertinde gatlakdaky basyşyň ýaýraýyş prosessi haýal bolup geçýär.

Maýyşgak düzgüniň teoriýasynda iki parametr uly rol oýnaýar:

1) Gatlagyň maýyşgak sygymynyň koeffisiýenti

$$\beta^*=m\beta_s+\beta_{sk} \qquad (1)$$

nirede m – öýjüklik (poristost); β_{sk} we β_s degişlilikde, öýjük sredanyň we suwuklygyň gysyjylyk koeffisiýenti; β^* - koeffisiýentiň ululygy, gatlakdaky basyş bir birlik üýtgände suwuklygyň maýyşgaklyk zapasy bir birlik göwrümleýin üýtgeýşine bahalaýyn deň.

Käbir ýagdaýda gatlagyň maýyşgaklyk koeffisiýentiň ýerine, getirilen maýyşgaklyk moduly ulanylýar:

$$K=\frac{1}{\beta_s+\frac{1}{m}\beta_{ck}}=\frac{b}{\beta^*} \qquad (2)$$

2) Gatlagyň pýezogeçirijilik (pýezoprowodnost) koeffisiýenti

$$\chi=\frac{K}{\mu\beta^*}=\frac{k}{\mu}\frac{K}{m} \qquad (3)$$

Ol maýyşgak düzgün şertinde, gatlakdaky basyşyň yaýraýyş tempini häsiýetlendirýär. Bu ululyk ýylylyk berijilik teoriýasyndaky ýylylyk – geçirijilik koeffisiýentine meňzeş we birinji gezek professor W.N.Şelkaçew tarapyndan girizildi. Maýyşgak düzgünde, filtrasiýanyň differensial deňlemesini şu görnüşde ýazmak mümkin:

$$\frac{\partial p}{\partial t}=\chi\left[\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 p}{\partial z^2}\right] \qquad (4)$$

Differensial deňlemäni berlen başlangyç we araçäg şertlerde integrirläp, islendik wagt momentinde gatlagyň işlendik nokadyndaky basyşy hasaplanýar.

Guýyny hemişelik debited Q goýberilenden soň gatlakdaky basyşyň täzeden ýaýraýyş (gutarnyksyz gorizontal gatlak üçin), ýokarda görkezilen differensial deňlemäni integrirlemegine getirilýär, onda deňleme tekiz – radial filtrasiýa üçin şu görnüşde bolýar:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi\left[\frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial p}{\partial r}\right] \qquad (5)$$

başlangyç araçäg şertinde: $P(r,t) = P_k$ haçanda $t = 0$

$$Q = \frac{2\pi kh}{\mu}\left[r\frac{\partial p}{\partial r}\right]_{\Gamma=O} \qquad (6)$$

$P(r,t) = P_k$ haçanda $r = \infty$

Şu meseläniň takyk çözülişi haçan $r_c = 0$, aşakdaky formulada berilýär.

$$P_K - P(r,t) = -\frac{Q\mu}{4\pi\pi k} E_i\left[-\frac{r^2}{4\chi}\right]. \qquad (7)$$

nirede

$$E_i\left[-\frac{r^2}{4\chi}\right]. = \int_{\frac{r^2}{4\chi}} \frac{\ell^{-u}}{u} du \qquad (8)$$

Bu tabulirlenen funksiýa integral ekspotensialy ýa-da görkezijili integral funksiýa diýip atlandyrylýar.

$\frac{r^2}{4\chi\ t}$ argumentiň kiçi bahalarynda - $E_i\left[-\frac{r^2}{4\chi t}\right]$ funksiýany ýakynlaşan formula bilen çalyşmak mümkin:

$$-E_i\left[\frac{r^2}{4\chi t}\right] = \ln\frac{4\chi t}{r^2} - 0.5772 \qquad (9)$$

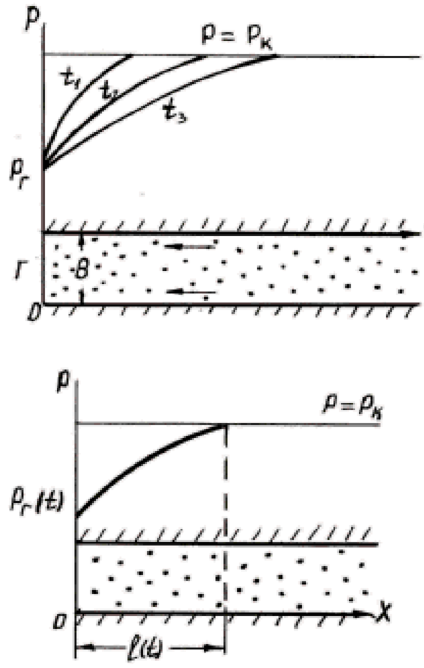
onda

$$P_k - P(r,t) = \frac{Q\mu}{4\pi kh}\left[\ln\frac{4\chi t}{r^2} - 0.5772\right] \qquad (10)$$

Şu formula gatlagyň maýyşgak düzgüniniň esasy formulasy bolup, haçanda Q=const debitli guýy goýberilende, gatlakdaky basyşyň täzeden ýaýraýyş prosessi öwrenilende, skwažina duruzylanda, alnyşyň tempi üýtgedilende we ş.m. giňden peýdalanýar.

Ýerasty gönüburçly gallereýa ýarym gutarnyksyz gatlakda ýerleşen we düýbünde P_r hemişelik basyş bar diýsek (sur. 24), onda ol göniburçly gallereýa maýyşgak suwuklygyň kadasyz filtrasiýasy düzgüninde, gatlagyň islendik nokadyndaky basyşy aşakdaky deňlemäni integrirläp alarys:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \quad (11)$$



Surat 24.

Başlangyç araçäg şertinde

$$P(x,t) = P_k \quad \text{haçanda} \quad t = 0$$
$$P(x,t) = P_r \quad \text{haçanda} \quad x = 0$$
$$P(x,t) = P_k \quad \text{haçanda} \quad x = \infty$$

çözüliş şu formula bilen aňladylýar:

$$P(x,t) = P_k - (P_k - P_r)(1 - erf\xi) \qquad (12)$$

nirede

$$\xi = \frac{\chi}{2\sqrt{\chi t}} \qquad (13)$$

$erf\xi = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{\xi} l^{-u^2} du$ - mümkinçilik (weroýatnost) integraly.

Maýyşgak suwuklygyň kadalaşmadyk filtrasiýasynda, meseläni takyk çözülmeginiň kynçylyklary sebäpli, dürli ýakynlaşan çözüliş usullary teklip edilipdi. Köp ýayran ýakynlaşan usulyň biri stasionar halyny yzygider çalyşma usuly bolýar. Şu usul, haýsy hem bolsa wagtyň bir momentinde, pes basyşly zolak (zona) belli aralyga, l = l(t) ýaýraýar we üýtgeýän hereketi kadalaşan ýagdaýdaky ýaly bolýar diýip hasaplanýar. Hakykatda bolsa basyşyň gatlakda ýaýraýyşy stasionar bolmaýar, we teoretiki pes basyşly zolak gatlagy tutuşlygyna tutýar. Getirme radiusyň wagt boýunça üýtgeýişi l(t), material balans şertinde takyklanýar. Maýyşgak suwuklygyň ýerasty gönüburçly gallereýa kadalaşmadyk ýagdaýynda

$$l(t) = 2\sqrt{xt} \qquad (14)$$

eger-de depressiýa

$$P_k - P_r = const$$

hem-de $l = 2\sqrt{\chi t}$ haçanda $Q(0,t) = const$.

Maýyşgak suwuklygyň tekiz-radial filtrasiýasy bolanda 10-15 % takyklykda hasaplamak mümkin, $l = 2\sqrt{\chi t}$ eger l(t)>>r_c haçan ΔP = const ýa-da Q =const ýagdaýy üçin A.Meriwerdiýanyň usulynda, stasionar halyny yzygider çalyşma usulynyň ösüşi bolup, basyşyň epýurasynda burç nokady bolmaz ýaly berilýär. Gallereýa üçin basyşyň gatlakdaky ýaýraýyşi parabola görnüşde berilýär. Şol parabolada x = l(t) nokatdaky galtaşmasy gorizontaldyr. Eger suwuklygyň alnyşy wagtyň geçmesi bilen üýtgemese:

$$Q(0,t) = \omega_1\omega = const$$

onda

$$P(x,t) = P_K - (P_K - P_G)\left[1 - \frac{\chi}{\ell(t)}\right]^2 \qquad (15)$$

nirede

$$P_K - P_G = \sqrt{\frac{3}{2}\frac{\mu}{K}}\omega_1\sqrt{\chi t} \qquad (16)$$

material balansyň deňlemesinden tapalyp getirme radius aşakdaky formula bilen hasaplanylýar.

$$l(t) = \sqrt{6xt} \qquad (17)$$

Superpozisiýa usuly hem maýyşgak düzgünde kadalaşmadyk akymyň meselerinde giňden peýdalanylýar.

Eger-de gatlakda guýular topary işleýän bolsa, haýsy hem bolsa bir nokatda belli guýularyň döredýän basyş peselmeleri goşulyp tapylýar.

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n}\Delta P_i = \frac{\mu}{4\pi kh}\sum_{i=1}^{n}Q_i\left[-E_i\left[-\frac{r_i^2}{4\chi t}\right]\right] \qquad (18)$$

nirede

n – guýularyň sany; O_i - nji guýynyň debiti, Q > 0 eger guýy peýdalanjy (ekspluatasionnaýa) bolanda, O_i < 0 eger guy ozone ýygnaýjy (nagnetatelnaýa) bolanda; r_i – guýynyň basyşynyň peselmegi hasaplanylýan nokada çenli aralyk. Eger guýular dürli wagtda işläp başlan bolsalar onda:

$$\Delta P = \frac{\mu}{4\pi kh} \sum_{i=1}^{n} Q_i \left[-E_i \left[-\frac{r_i^2}{4\chi t_i} \right] \right] \qquad (19)$$

nirede t_i – 1-nji s guýynyň işläp başlamagyndan bäri geçen wagty.

Superpozisiýa usuly ulanyp, guýy işe goýberilende, duruzylanda, ýa-da guýynyň alnyş tempi üýtgedilendäki meseleleri çözmek mümkin. Meselem goý, guýy hemişelik Q debit bilen peýdalanmaklyga goýberlen bolsun, we wagt aralygy T geçenden soň duruzyldy. Gatlagyň islendik nokadyndaky basyşy hasaplamak talap edilsin. Meseläni çözmek üçin teklip edeliň; guýy öňki debitde işlemegini dowam edýär: onda duruzylandan soň wagtyň (t) momentine çenli, üznüksiz işleýän guýyny goýbermekden üýze çykan basyşyň peselmesini, gatlagyň haýsy hem bolsa bir nokadynda deň bolýar:

$$\Delta P_1 = \frac{Q\mu}{4\pi kh} \{ -E_i \left[-\frac{r_i^2}{4\chi (T+t)} \right] \} \qquad (20)$$

Duruzylandan soň peýdalanyjy guýynyň ýerleşen ýerinde şol debit bilen ýygnaýjy guýy işläp başlady diýip pikir goýbereliň.

Ýygnaýjy guýynyň goýberilmegi netijesinde gatlagyň haýsy hem bolsa bir nokadynda (t) momentine basyşyň ýokarlanmagy aşakdaky formula bilen hasaplanylýar:

$$\Delta P_2 = \frac{Q\mu}{4\pi kh}\{-E_i\left[-\frac{r_i^2}{4\chi t}\right]\} \qquad (21)$$

Onda ΔP basyşyň peselmesiniň jemini şu görnüşde ýazyp bolýar:

$$\Delta P = \Delta P_1 - \Delta P_2 = \frac{Q\mu}{4\pi kh}\{-E_i\left[-\frac{r_i^2}{4\chi(T+t)}\right] + E_i\left[-\frac{r_i^2}{4\chi t}\right]\} \quad (22)$$

Eger funksiýalaryň argumenti az bolsa, onda ýakynlaşan formulany ulanmak mümkin:

$$\Delta P = \frac{Q\mu}{4\pi kh}\ln\frac{T+t}{t} \qquad (23)$$

XVII. GAZYŇ KADALAŞMADYK FILTRASIÝASY

Ideal gazyn Darsiniň kanunyna laýyklykda kadalaşmadyk filtrasiýasynyň differensial deňlemesi aşakdaky görnüşde bolýar:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{K}{2\mu m}\left[\frac{\partial^2 p^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial z^2}\right] \qquad (1)$$

ýa-da

$$\frac{\partial p^2}{\partial t} = \frac{KP}{\mu m}\left[\frac{\partial^2 p^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p^2}{\partial z^2}\right] \qquad (2)$$

Bu deňleme, gönüçyzykly däl, paraboliki görnüşli deňleme bolup, maýyşgak düzgünde filtrasiýanyň differensial deňlemesinden tapawutlanyp, basyş P-niň ýerine P^2, hem-de χ ýerine KP/μm ululygy ulanylýar.

Şu deňlemäniň takyk çözülişi diňe käbir hususy meseleler üçin alnandyr. Bu deňleme ýakynlaşdyrlan usul boýunça integrirlenýär. Has ýönekeý ýakyňlaşdyrma I.A.Çarnyý tarapyndan tassyklanan. Ol üýtgeýän KP/μm koeffisiýenti, ortalaşdyrlan $Kp_{ort}/\mu m$ koeffisiýente deňdir diýip alýar.

$$P_{ort} \approx P_{min} + 0{,}7(P_{max}-P_{min}) \qquad (3)$$

nirede

P_{max} we P_{min} gaz ýataklaryň hasaplaýyş döwrüň çägindäki maksimal we minimal basyşy $P_{or\,t} = 0{,}722P_h$.

Şeýlelikde deňleme gönüçyzykly differensial deňlemesine getirilýär. Onda gazyň kadalaşmadyk hereketini, maýyşgak suwuklygyň maýyşgak düzümindäki filtrasiýasynyň formulasy bilen hasaplap bolýar.

L.S.Leýbenzon tarapyndan, galereýada hemişelik basyş şertinde, zolak görnüşli ýapyk gatlakdaky gazyň akymy baradaky meselesinin çözüwi alyndy. Mesele differensial deňligiň integrirlenmegine getirýär.

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{KP}{\mu m}\frac{\partial^2 P^2}{\partial X^2} \qquad (4)$$

Başlangyç we araçäkleýin şertlerinde

$P = P_n = const$ eger-de $t = 0$

$P_r = const$ haçanda $X = 0$

$dP^2/dX=0$

X = 1 bolanda gaz gatlagynyň syzdyrmaýan araçägindäki şert bolýar. Mesele yzygiderleýin ýakynlaşdyrma metody bilen çözülýär. Birinji ýakynlaşmada deňligiň sag tarapy hemişelik we $KP_n/\mu m$ deň diýip alynýar (4) deňleme şu şertde ýylylyk geçirijilik deňlemesine öwrülip (4) şertde onyň integraly aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$P^2(x,t) = P_G^2 + \frac{4}{\pi}(P_H^2 - P_G^2)\sum_{i=1,2,5.,.}^{\infty}\frac{1}{i}\ell^{wi^2 \cdot t}\sin\frac{i\pi x}{2\ell} \qquad (5)$$

$$\omega = \frac{\pi^2 KP_H}{4m\mu l^2}$$

Ikinji ýakynlaşmada KP/μm koeffisiýentine girýän, diňe t wagta bagly bolan üýtgeýän basyş aşakdaky formula bilen aňladylýar.

$$P(t) = P_G + (P_H - P_G)\ell^{-wt/2} =$$

$$= P_H\left[\frac{P_G}{P_H} + \left[1 - \frac{P_G}{P_H}\right]\ell^{-wt/2}\right] = P_H\delta(t) \qquad (6)$$

täze üýtgeýän ululyk girizsek

$$\theta = \int_0^t \delta(t)dt = \frac{P_G}{P_H}t + \frac{2}{\omega}\left[1 - \frac{P_G}{P_H}\right](1 - \ell^{-wt/2}) \qquad (7)$$

onda

$$\frac{\partial P^2}{\partial \theta} = \frac{KP_H}{\mu m}\frac{\partial^2 P^2}{\partial X^2} \qquad (8)$$

haçanda (5) şertinde (6) deňleme bilen berilse onda üýtgeýän ululyk t hökman θ bilen çalşyrylmalydyr.

$$P^2(x,t) = P_G^2 + \frac{4}{\pi}(P_H^2 - P_G^2)\sum_{i=1,3,5..}^{\infty}\frac{1}{i}\ell^{-wi^2\theta}\sin\frac{i\pi x}{2\ell} \qquad (9)$$

Galereýanyň atmosfera basyşyna getirlen debiti şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$Q_{am} = \frac{BKh}{2\mu P_{am}}\left[\frac{\partial P^2}{\partial X}\right]_{X=0} = \frac{BKh(P_H^2 - P_G^2)}{\mu P_{am} l}(\ell^{-w\theta} + \ell^{-9w\theta} + \ell^{-25we} + ...) \quad (10)$$

Gazyň kadalaşmadyk filtrasiýasy baradaky meseleleriň köpüsi material balans deňlemesini ulanyp, stasionar ýagdaýy yzygiderli çalşyrylýan usuly esasynda çözülýär. Eger gaz ýatagy ýapyk sistema bolsa, onda atmosfera basyşa getirlen gazyň göwrümi şol ýatakdan belli bir t wagtda alnan gazyň $Q_{at}dt$ – bolup, şol bir wagta görä üýtgeýän gaz zapasyna deňdir. Eger öýjüklik göwrümi hemişelik bolsa, gaz idialydyr, syzyjylyk izotermikdir diýsek, şonda gaz zonasynyň üýtgeýşini

$\Omega \frac{dP}{P_{at}}$ görnüşde ýazmak bolar. Şol aňlatmada *dP*, berlen *dt* wagt aralygynda gaz ýatagynyň ortalaşdyrlan göwrümleýin basyşynyň üýtgemegi:

$$Q_{at}dt = -\Omega \frac{dP}{P_{at}} \qquad (11)$$

Bu deňlik, gaz ýatagynyň boşamagyny aňlatýan differensial deňleme. Kadalaşmadyk tekiz – radial filtrasiýasynda aralaşdyrlan $\widetilde{P}$, kontur basyşdan az – kem tapawutlanýar, şonuň üçin $\widetilde{P}$-ny P_k bilen çalşyrylyp aşäkdaky görnüşde ýazylýar:

$$Q_{at}dt = \Omega \frac{dP_K}{P_{at}} \qquad (12)$$

Şu deňlik stasionar ýagdaýny yzygiderli çalşyrylýan usul bilen bilelikde ulanylanda, gatlakdaky basyşyň ýaýraýşyny, wagtyň geçmegi bilen islendik nokatdaky basyşyň üýtgemekligini, gazyň debitini wagtyň geçmegi bilen üýtgemesini hasaplap bolyar.

Şeýle şertler bolup:

a) Q_{at} = const; b) P_c = const; ç) $Q_{at} = CP_c$

$C = 2\pi r_c h \omega_{max}$; ω_{max} – filtrasiýa tizligi.

XVIII. ÇAT AÇAN WE ÇAT AÇAN – ÖÝJÜKLI SREDALARDA GAZLARYŇ WE SUWUKLYKLARYŇ HEREKETI

Çat açan we çat açan öýjükli sredada filtrasiýanyň aýratynlyklary

Birnäçe gatlaklarda şeýle anomaliýalara duş gelip bolýar. Dag jynsynyň örän az geçirjiligine garamazdan, guýy buraw edilýärkä laý ergininiň intensiw siňmesi bolup geçýär: kadalaşan düzgünde işleýän guýulardan, dag jynsynyň örän az geçirijiligine garamazdan, ýokary debit alynýar. Şular we şular ýaly hadysalar, gatlakda birnäçe özara baglanşykly jaýryklaryň bardygyny görkezýär. Şol gatlakdaky jaýryklar gazyň hem-de suwuklyklaryň akymynyň esasy ýely ýa-da laý ergininiň siňmesiniň sebäbi bolup durýar. Şular ýaly gatlaklara jaýrykly gatlaklar diýilýär.

Guýularda geçirilýän derňew işleriniň maglumatlaryna göra hem-de kerniň we şlifiň barlag maglumatlary esasynda çat açan dag jynsynyň çylşyrymly gurluş sistemasynyň bardygyny subut edýär, hem-de şol ýerdäki suwuklygyň we gazyn hereketi, öýjükli sredadaky hereketi bilen deňşdirilende birnäçe aýratynlyklary bilen tapawutlanýar. Çat açan jynsda makro we mikro jaýryklar, ownuk we iri köwekler, boşluklar bar. Jynsyň özi – matrisa jaýryklaryň arasyndaky giňişlik bolup, we absolýut geçirmeýän bolup bilýär, ýa-da adaty öýjükli sreda şekilende bolmagy mümkin. Makro jaýrygynyň açylmagy 1 mm bolup, aýratyn ýagdaýlarda uly bolmagy hem mümkin, mikro jaýryklar bolsa 1-100 mkm çenli bolýar. Şoňa göräde çat açan jynysda suwuklygyň hereketine garşylyk ýeterlik derejede uly bolýar, sebäbi makro jaýryklar uly aralygy tutmaýarlar, we köp ýagdaýlarda özaralarynda mikro jaýryklar bilen birleşýärler (ýagny uly garşylygy döredýärler).

Çat açan jynyslarda suwuklyklaryň we gazlaryň süzülmeginiň (filtrasiýasynyň) aýratynlygyna düşünmek üçin jynsyň iki modeline seredilýär – arassa çat açan we öýjükli çat açan (sur. 25). Arassa çat açan jynysda, jynsyň bloklary jaýryklaryň arasynda ýerleşýär, we onuň geçirjiligi $k = 0$ hasaplanylýar. Suwuklyklaryň we gazlaryň hereketi diňe jaýryklar boýunça geçýär. Şeýle jynslara slanslar, dolomitler, mergeller we birnäçe hekler degişlidir. Çat açan öýjükli sreda bolanda biri – birinden ösen jaýryk sistemaly öýjükli bloklaryň toplumyndan durýar. Suwuklyk ýa-da gaz bloklary we jaýryklary doldurýar. Jaýryklaryň kese ölçegleri, bloklardaky öýjükleriň ölçeglerinden has uly bolýar, şonuň üçin jaýryklar sistemasynyň geçirijiligi K_1 bloklardaky öýjükler sistemasynyň geçirijiliginden – K_2 köp uly bolýar. Şol bir wagytda jaýryklar bloklaryň öýjüklerinden az göwrüm tutýar. Şonuň üçin jaýryklyk koeffisiýenti m_1, bloklaryň öýjüklik koeffisiýentinden mese mälim az bolýar.

Diňe jaýrykly jynyslaryň häsiýetlerini seredeliň. Jaýryk, bu iki ölçegi üçünji ölçeginden birnäçe esse uly bolan darajyk yşdyr. Jaýryklyk koeffisiýenti adatda prosentiň bir bölümünden durýar (şol bir wagytda jynsyň öýjüklik koeffisiýenti 10-20% bolýar). Jaýryklyk koeffisiýenti m_1, edil geçirjilik koeffisiýenti K_1 ýaly, jaýryklaryň açylyşy we ýygylygy bilen kesgitlenýär. Jaýryklaryň ýygylygy G jaýryklaryň sanynyň normal geçirlen L uzynlygynyň gatnaşygyna deň. Ýönekeýlik üçin jaýrykly sredanyň modeli diýip açylmasy “δ” bolan özara parallel jaýryklary alalyň. Jaýryklaryň ýygylygy $G = n/h$, jaýryklyk koeffisiýenti bolsa

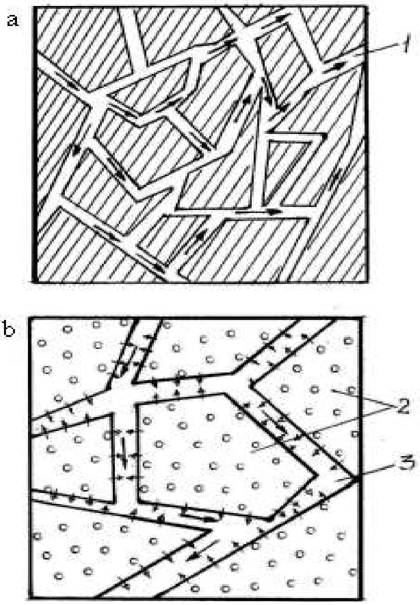
$$m_1 = \mathrm{I}\delta/(ach) = G\delta \qquad (1)$$

Eger gatlakda iki özara perpendikulýar sistemaly ýygylygy we açylyşy deň jaýryk bar bolsa, onda $m_1 = 2G\delta$, egerde üç sistemaly bolanda $m_1 = 3G\delta$.

Umumy ýagdaýlarda

$$m_1 = \theta G\delta \qquad (2)$$

θ - jynysda jaýryklaryň geometrik sistemasyna bagly bolan ölçegsiz koeffisiyenti.



Surat 25.

Gazlaryň we suwuklyklaryň jaýrykdaky hereketine, arasy “δ” bolan darajyk yşda geçýän hereket ýaly göz öňüne getirmeli. Seýle hereket bolanda yşlardaky suwuklygyň ortaça tizligi üçin Bussineskanyň formulasy ulanylýar:

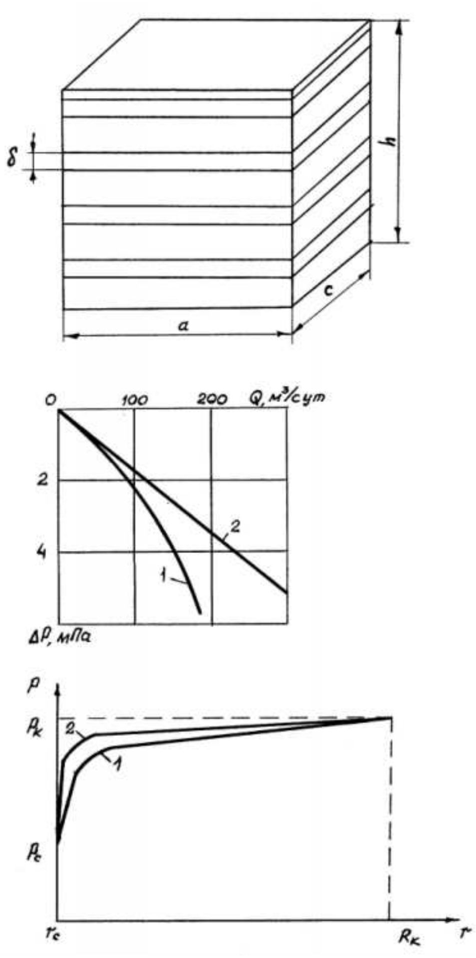
$$\vartheta = -\frac{\delta^2}{12\mu}\frac{dP}{dX} \qquad (3)$$

nirede μ - dinamiki şepbeşikligiň koeffisiýenti; *dP/dX* – basyş gradiýenti.

Süzülmek tizligine geçeňde

$$\omega = m_1 \upsilon$$

$$\omega = -\frac{m_1 \delta^2}{12\mu} \frac{dP}{dX}$$
(4)



Surat 26.

Şu formulany Darsiniň kanuny bilen deňeşdirip, şol ýokarda berlen formulany ulanyp, çat açan jynsyň geçirjilik koeffisiýentini tapýarys:

$$K_1 = m_1\delta^2/12 = \theta G\delta^2/12 \qquad (5)$$

Çat açan jynsyň geçirijiligini, öýjikli sreda bilen deňeşdireňde, has köp derejede gatlaklaryň basyşyna bagly bolup durýar. Soňky formuladan $K_1(P)$ baglylygy almak bolýar. Ýagny dag basyşy hemişelik basyş diyip hasaplap bolýar, sebäbi ol jaýryklardaky suwuklygyň basyşy we jynslaryň skeletindäki dartgynlyk bilen deň agramlaşýar. Gatlakdaky basyşyň peselmegi bilen jynsyň skeletyna bolan agram artýar we jaýryklaryň “δ“ açylşy azalýar (basyşyň ýokarlanmagy bilen jaýryklaryň açylşy artýar). Eger deformasiýa çat açan gatlakda maýyşgak we ululygy boýunça kiçi bolsa, onda jaýrygyň “δ“ açylyşy basyş bilen çyzykly bagly bolýar:

$$\delta = \delta_o[1 - \beta(P_o - P)] \qquad (6)$$

bu ýerde β çatlaryň geometrik ýerleşişine we maýyşgaklygyna garaşly, jaýrykly sredanyň parametri.

Geçirijilik koeffisiýentini K_1 basyşa baglylykda ýokarda berilen formulalardan alyp ýazarys:

$$K_1 = K^o{}_1[1 - \beta(P_o - P)]^3 \qquad (7)$$

$K^o{}_1$ - P_o basyşda çat açan jynsyň geçirijilik koeffisiýenti.

Öň görkezilişi ýaly geçirijiligiň basyşa ekspotensial baglylygy bir näçe eksperimentler arkaly gowy tassyklanan

$$K_1 = K^o{}_1e^{-\alpha\,(Po-P)} \qquad (8)$$

Eger basyş az üýtgeýän bolsa onda $K_1(P)$ baglylygy çyzykly hasap edilýär.

$$K_1 = K^o{}_1[1 - \alpha\,(P_o - P)] \qquad (9)$$

bu ýerde $\alpha = 3\beta$

Çat açan öýjükli gatlakda kadalaşan filtrasiýa seredilende jaýryklaryň geçirijilik koeffisiýenti K_1 basyşa bagly we ýokarda berilen deňlikler bilen kesgitlenýär, ýöne öýjükli bloklaň K_2 geçirijilik koeffisiýenti basyşa bagly däl diýip hemişelik kabul edilýär. Çat açan öýjükli sredada kadalaşan filtrasiýa akymlaryň gatnaşyklary, jaýrykdaky akymlaň we blokdaky öýjükleň içindäki akymlaryň jemine deň diyip alynýar.

Çat açan jaýryklardaky debitler köplenç beýik bolýar we inersion güýçler üýze çakýar, şol sebäpli filtrasiýa Darsiniň kanunyna boýun egmeýär. Çat açan öýjükli sredadaky filtrasiýaň üýtgeşiklikleri kadalaşmadyk proseslerde duş gelinýär.

Jaýryklaryň we öýjükleriň sistemasy dürli masştably iki sreda diýip göz öňüne getirmeli. Öýjükleriň ortaça ölçegi 1-100 mkm çenli bolýar, jaýraklaň uzynlygy bolsa birnäçe santimetrden onlarça metre deň bolýar. Bloklaryň öýjüklik koeffisiýenti m_2 1-2 tertip çataçmak koeffisiýentinden m_1 beýik bolany üçin suwuklygyň uly göwrümi öýjüklerde ýerleşýär. Hemişe bolşy ýaly öýjükli bloklaryň geçirijiligi az bolany sebäpli ($K_2 << K_1$), suwuklyk şolardan jaýryga geçip, skwazina tarap jaýryklardan hereket edýär, sebäbi jaýrygyň geçirijiligi öýjükli bloklaryňkydan beýik. Bu prosesse jikme-jik seredip geçeliň. Goy guýynyň düýbündäki basyşyň birden üýtgemesi bolup geçsin. Egerde bloklary flýuid geçirmeýär diýip hasap etsek, onda gatlakda maýyşgak düzgünine ylaýyk gelýän teoriýany ulanyp bolýar, ýöne jaýrykly sistemaň harakteristikasy esasynda kesgitlenen pýezogeçirijilik koeffisiýenti

$$æ = K_1/[(\beta_s m_1 + \beta_c)\mu] \qquad (10)$$

örän uly bolmagy mümkin, sebäbi K_1 beýik bolup ýöne m_1 az bolýar. Diýmek basyşyň jaýryklarda üýtgeýiş prosessi uly tizlik bilen gecýär, we jaýryklarda az wagtyň içinde basyş täze derejesinde kadalaşýar. Bloklaryň geçirijiligi pes bolany sebäpli olardan suwuklyk örän haýal jaýryklara çykýar, we bloklarda basyş öz başlangyç bahasyny uzak wagtlap saklaýar. Şeýlelikde blokda we onuň daşyndaky sredada ýerleşýän suwuklyklaryň arasynda basyşyň tapawudy döreýär. Şol sebäpli blokdan jaýryklara suwuklygyň geçmegi ýuwaş – ýuwaşdan basyşlaryň (blokdaky we gatlakdaky) deňleşmegine getirýär. Blogyň geçirijiligi K_2 näçe az bolsa, onyň ölçegleri uly, öýjükligi m_2 bilen suwuklygyň β_s we bloklaryň β_c gysylmak koeffisiýentleri näçe uly bolsa, şonçada bu hadysanyň dowamlylygy uzak bolýar.

Şeýlelik bilen jaýryklarda we bloklardaky hereketiň häsiýetlendirlişi dürli – dürli bolýar. Jaýryklardaky basyşa P_1 seredeniňde, P_2 basyş uly bolýar, hem-de jaýryklardakydan blokdaky filtrasiýaň tizligi mesemälim kiçi bolýar. Şonuň üçin hem, çat açan öýjükli sreda masştaby dürli bolan öýjükli iki sredanyň birleşmesi ýaly seredilýär:

1) birinji sreda – ulaldylan sreda.

Bu sredada gazlar we suwuklyklar üçin bloklaryň geçirijilikleri nola deň we olaryň hereketi diňe jaýraklarda geçýär diýip hasaplanýar. Bu sredada basyş P_1 – deňdir, filtrasiýanyň tizligi bolsa ω_1 deňdir.

2) Ikinji sreda - öýjükli bloklaryň sistemasy.

Bu sredada gazlaryň we suwuklyklaryň hereketi öýjükli bloklarda geçip onuň tizligi ω_2, basyşy bolsa P_2 ýetýär. Şeýlelik bilen P_1 jaýlardaky ortaça basyş, P_2 bloklardaky ortaça basyş, ω_1 hem-de ω_2 – şol ýerdäki süzülmek (filtrasiýa) tizlikleri.

Jaýrykly –öýjükli sredada kadalaşmadyk filtrasiýanyň aýratynlygy – ol iki sredanyň arasynda bolup geçýän suwuklyklaryň intensiw çalşygy. Suwuklyklar, basyşy P_2 ýokary bolan bloklardan basyşy – P_1 pes bolan jaýryklara gönükdirilýär. Suwuklyklaryň çalşygy wagtyň dowamynda basyşyň haýal üýtgemegi bilen geçýär, şonun üçin bu hadysa kwazistasionar diýip hasaplasa bolýar, ýagny wagta bagly däl. Jynsyň göwrüm birliginde bloklardan jaýryklara wagt birliginde geçýän gowşäk gysylýan suwuklygyň massasy, onuň ρ_o dykyzlygyna we P_1 hem-de P_2 basyşyň tapawudyna proporsional, we şepbeşiklige μ ters proporsional, ýagny

$$q = \alpha_0 \frac{\rho_0}{\mu}(P_2 - P_1) \qquad (11)$$

nirede

α_o – blogyň geometrik häsiýetine bagly ölçegsiz koeffisiýent

$$\alpha_o = \overline{\alpha}\, K_2/l^2 \qquad (12)$$

K_2 – blogyň geçirijiligi;

l – blogyň ortaça ölçegi.

α - blogyň formasyny häsiýetlendirýän ölçegsiz ulylyklar.

Eger dykyzlyk uly möçberde basyşa bagly bolsa, onda ýokarda ýazylan gatnaşyk, şol (şeýle) ýagdaý üçin anyklanan bolmaly. Meselem ideal gazyň filtrasiýasy wagtynda blokdan jaýryga akymyň intensiwligi şeýle görnüşde görkezilýär:

$$q = \alpha_0 \frac{\rho_O (P_2{}^2 - P^2)}{2\mu P_0} \qquad (13)$$

nirede P_o – dykyzlyga bagly, fiksirlenen (bellenilen) basyş.

XIX. ÇAT AÇAN ÖÝJÜKLI WE ÇAT AÇAN SREDADA GAZLARYŇ WE SUWUKLARYŇ HEREKETINIŇ DIFFERENSIAL DEŇLEMESI

Deformirlenýän öýjükli sredada gazlaryň we suwuklyklaryň hereketiniň differensial deňlemesini çykarmak üçin ýagny her nokatda iki basyş bar (P_1 – çat açan sistemada, P_2 – öýjükli bloklarda) we filtrasiýanyň iki tizligi - ω_1 we ω_2 bar diýip hasap edýäris. Sredanyň arasyndaky akym bolsa yokarda görkezilen formulalar bilen kesgitlenýär. Differensial deňlemesi düzülende üzülmesiz akym üçin iki deňleme ýazylýar – biri jaýryklardaky filtrasiýa üçin (sreda – 1), beýlekisi öýjükli blokdaky filtrasiýa üçin (sreda – 2). Jaýryklardaky suwuklygyň balans deňlemesi, üzülmesiz akym üçin yazylan deňlemeden diňe sag böleginde goşmaça q çleniň barlygy bilen tapawutlanýar. Q – jynsyň göwrüm birliginde, bloklardan jaýryklara wagt birligine geçýän suwuklygyň (gazyň) massasy:

$$-\left[\frac{\partial(\rho\omega_{1x})}{\partial x}+\frac{\partial(\rho w_{1y})}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w_{1z})}{\partial z}\right]=\frac{\partial(\rho m_1)}{\partial t}-q \qquad (1)$$

bu ýerde ρ - suwuklygyň ýa-da gazyň P_1 basyşda dykyzlygy.

Öýjükli bloklarda bolsa filtrasiýa üçin deňleme şu görnüşi kabul edýär:

$$-\left[\frac{\partial(\rho\omega_{2x})}{\partial x}+\frac{\partial(\rho w_{2y})}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w_{2z})}{\partial z}\right]=\frac{\partial(\rho m_2)}{\partial t}+q \qquad (2)$$

Diňe çat açan gatlak üçin $q = 0$ we ýokarda berlen iki deňlemäniň diňe birinjisi galýar, sebäbi bloklarda suwuklyk bolmaýar.

Filtrasiýa Darsiniň kanunyna boýun egýär diýip hasaplasak, onda gatlaklaryň (jayryklaryň) we öýjükli bloklaryň sistemasyndaky hereketiň differensial deňlemesini ýazyp bilýäris:

$$\omega_{1x} = -\frac{K_1}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial x}; \omega_{1y} = -\frac{K_1}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial y}; \omega_{1z} = -\frac{K_1}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial z};$$

$$\omega_{2x} = -\frac{K_2}{\mu}\frac{\partial P_2}{\partial x}; \omega_{2y} = -\frac{K_2}{\mu}\frac{\partial P^2}{\partial y};$$

(3)

(3), hem-de maýyşgak suwuklyk üçin (2) formula hem-de (1)-(2) deňlemelere goýsak, birmeňzeş flýuidiň çat açan öýjükli sredada kadalaşmadyk filtrasiýasy üçin deňleme sistemasyny alýarys:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\rho(p_1)K_1(p_1)}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\rho(p_1)K_1(p_1)}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\rho(p_1)K_1(p_1)}{\mu}\frac{\partial P_1}{\partial z}\right] =$$
$$= \frac{\partial}{\partial t}\left[\rho(p_1)m_1(p_1) - \alpha_0\frac{\rho_0}{\mu}[f(P_2) - f(P_1)]\right] \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\rho(p_2)K_2(p_2)}{\mu}\frac{\partial P_2}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\rho(p_2)K_2(p_2)}{\mu}\frac{\partial P_2}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\rho(p_2)K_2(p_2)}{\mu}\frac{\partial P_2}{\partial z}\right] =$$
$$= \frac{\partial}{\partial t}\left[\rho(p_2)m_2(p_2) + \alpha_0\frac{\rho_0}{\mu}[f(P_2) - f(P_1)]\right]$$

$f(P) = P$ maýyşgak suwuklyk üçin; $f(P) = P^2/2P_o$ ideal gaz üçin.

XX. ÇAT AÇAN WE ÇAT AÇAN ÖÝJÜKLI GATLAKDA SUWUKLYGYŇ WE GAZYŇ BIR ÖLÇEGLI KADALAŞAN FILTRASIÝASY

Deformirlenýän çat açan gatlakdaky gazyň we suwuklygyň kadalaşan filtrasiyasyna seredeliň. Bu ýerde gatlagyň geçirijilik koeffisiýentiniň basyşa baglylygyny göz öňünde tutalyň. Bu ýagdaýda (4) deňligiň sag tarapy nula deň bolýar we jaýrykdaky basyşyň differensial deňlemesi şu görnüşe eýe bolýar:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}\frac{\partial P}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}\frac{\partial P}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}\frac{\partial P}{\partial z}\right]=0 \quad (1)$$

Leýbenzonyň funksiýasyny girizeliň:

$$L=\int\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}dP+C \qquad (2)$$

bu funksiýa Laplasyň deňlemesini kanagatlandyrýar.

$$\frac{\partial^2 L}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 L}{\partial Y^2}+\frac{\partial^2 L}{\partial Z^2}=0 \qquad (3)$$

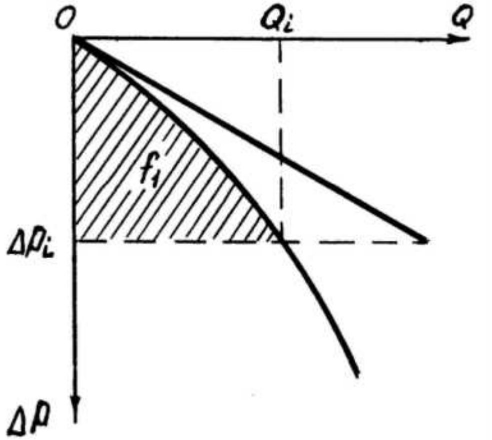
Geçirijiligi hemişelik bolan sredada, gysylmaýan suwuklygyň kadalaşan filtrasiýasy döwüründe, başda görkezilişi ýaly, Laplasyň deňlemesine ylaýyk gelýär. Şony göz öňünde tutsak onda deformirlenmeýän öýjükli sredada suwuklygyň kadalaşan filtrasiýasy bilen deformirlenýän çat açan sredada suwuklygyň we gazyň filtrasiýasynyň arasynda analogiýa geçirmek mümkin. Şeýlelikde başdaky bölümlerde gysylmaýan suwuklyklar üçin çykarylan formulalar, deformirlenýän gatlakdaky akymlar üçin, basyşy – P, Leýbenzonyň funksiýasyna – L çalyşyp, şol bir çäklendirilen şertlerde, ulanmak mümkin.

Bu ölçegli filtrasiýa üçin massalaýyn debit differensial deňlemeden kesgitlenýär:

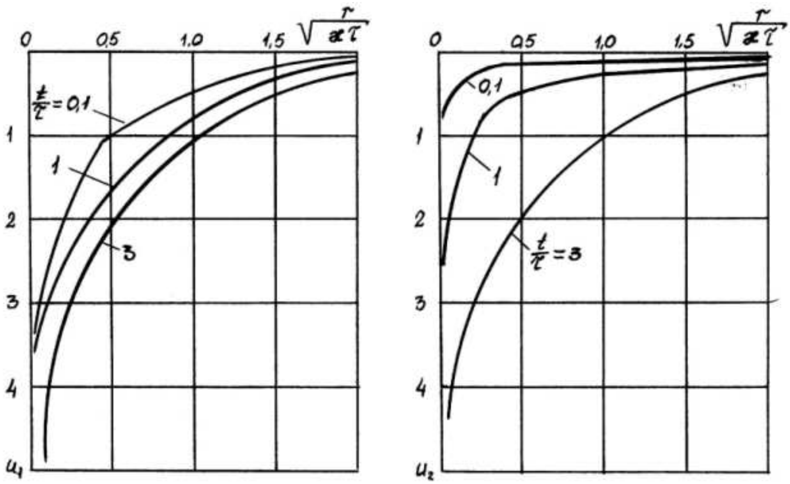
$$Q_m = -\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}\frac{dP}{dS}F(S) = -\frac{dЛ}{dS}F(S) \qquad (4)$$

Gysylmaýan suwuklygyň filtrasiýasyna seredeliň, haçanda (μ = const; ρ = const). Geçirijiligiň basyşa ekspotensial baglylygyny göz önünde tutsak, onda Leýbenzonyň funksiýasyny aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$L = \int \frac{\rho}{\mu} K_1{}^0 e^{-\alpha(P_0 - P)} dP + C = \frac{\rho K_1^o}{\mu}\frac{e^{-\alpha(P_0 - P)}}{\alpha} + C \qquad (5)$$



Surat 27.



Surat 28

Suwuklygyň tegelek görnüşli gatlakda tekiz – radial filtrasiýasy geçende, skwažinanyň debiti Dýupýuiniň formulasy esasynda kesgitlenýär. Bu formulada basyş P_k we P_c Leýbenzonyň funksiýasynyň bahasy bilen çalyşyrmaly

$$L_K = \frac{\rho K_1^0}{\mu} \frac{e^{-\alpha(P_o - P_K)}}{\alpha} + C$$

$$L_c = \frac{\rho K_1^0}{\mu} \frac{e^{-\alpha(P_o - P_c)}}{\alpha} + C \qquad (6)$$

Eger $P_o = P_k$ onda

$$Q_m = \frac{2\pi h \rho K_1^0 \left[1 - e^{-\alpha(P_K - P_c)}\right]}{\mu\alpha \ln\frac{R_K}{r_c}} \qquad (7)$$

göwrümleýin debit bolsa şu formula bilen kesgitlenýär

$$Q_m = \frac{2\pi h K_1^0 \left[1 - e^{-\alpha(P_K - P_c)}\right]}{\mu\alpha \ln \frac{R_K}{r_c}} \qquad (8)$$

Şu formula ylaýyklykda $Q = f(\Delta P)$ gurulan indikator diagramma egri çyzykly suratlandyrylýar (sur. 27).

Gatlakda basyşyň ýaýraýşy bolsa aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$P = P_K + \frac{1}{\alpha} \ln \left[1 - \frac{1 - e^{-\alpha(P_K - P_c)}}{\ln \frac{R_K}{r_c}} \ln \frac{R_K}{r} \right] \qquad (9)$$

Deformirlenýän we deformirlenmeýän gatlaklarda basyşyň egri ýaýraýşyny häsiýetlendirýän çyzyklary deňeşdiremizde (sur.28), olaryň tapawudy üýze çykýar. Deformirlenýän çat açan gatlakda, deformirlenmeýän gatlaga seredeňde, gatlakdaky basyşyň peselmesi bilen jaýryklaň göwrümi kiçelýär, şol sebäpli garşylyk köpelýär we basyş birden pese düşmek bilen bolýar.

Çat açan gatlaklaryň α we K_1^0 – geçirijilik koeffisiýentleriniň kesgitlenişi praktikada uly ähmiýete eye. Bu koeffisiýentleri indikator diagrammalaryň üstünden tapyp bolýar (sur. 27). Indikator diagrammada iki meýdan kesgitlenýär:

1. $f_1 = \int_0^{\Delta P_i} Q d(\Delta P_i)$ - bu ergi çyzykda $Q(\Delta P)$ we ordinat okuň arasyny tutýan meýdan (ol ştrihlenen).

2. $f_2 = Q_i \Delta P_i$ – indikator çyzykda belli bir nokat üçin gönübürçlygyň tutýan meýdany. Bu iki meýdanyň gatnaşygy $Z_{teor} = f_1/f_2$ formulany ulanmak arkaly teoretik hasaplanýar. Bu ýerde Z ölçegsiz bir ulylyk bolup $\alpha\Delta P$ garaşly bolýar:

$$Z = f_1 / f_2 = \frac{1}{1 - e^{\alpha\Delta P_i}} - \frac{1}{\alpha\Delta P_i} \tag{10}$$

$\alpha\Delta P$-yň birnäçe bahalary üçin Z-yň bahasy ýokarda berlen formula boýunça hasaplanýar we tablisa ýerleşdirilýär. Başga bir tarapdan $Z = f_1/f_2$ indikator diagrammadaky birnäçe nokatlar üçin meýdanlaryň gatnaşygy kesgitlenýär we tapylan Z – bahasyna laýyklykda $\alpha\Delta P_i$ tapylýar. ΔP_i-yň belli bolany üçin α hem tapmak mümkin. Birnäçe ΔP_i üçin α bahasy tapylyp onuň ortaça bahasyny alýarlar. α belli bolansoň, debitiň formulasyndan gidrogeçirijilik koeffisiýentini $K_1^0 h/\mu$ soňra bolsa jaýrykly gatlaklaryň geçirijilik koeffisiýentini – K_1^0 tapýarys.

Depressiýanyň artmagy bilen indikator çyzyklarynyň egrelmegi, diňe geçirijiligiň basyşa bolan baglylygyndaky däl – de başga hem sebäplere görä (filtrasiýa Darsiniň kanunyndan çykýar, gatlakda başlangyç gradiýentiň barlygy, gatlagyň işleýän galyňlygynyň üýtgemegi we ş.m.) bolmagy mümkin.

Çat açan öýjükli gatlakda, skwažinanyň debiti jaýryklardan akyp gelýän we öýjükli bloklardan barýan suwuklygyň debitinden durýar. Mysal üçin, geçirijiligiň basyşa eksponensial baglylygy amala aşýan ýagdaýynda, guýynyň summar debitiň formulasy aşakdaky görnüşde bolýar:

$$Q=\frac{2\pi k_2 h(P_K-P_c)}{\mu\ln\frac{R_k}{r_c}}+\frac{2\pi k_1^0 h\left[(1-e^{-\alpha(P_K-Pc)})\right]}{\mu\alpha\ln\frac{R_K}{r_c}} \quad (11)$$

bu ýerde K_2 const kabul edilýär. Ýöne köplenç öýjükli bloklaryň geçirijiligi jaýryklaryňkydan az bolýar, şonuň üçin esasy bölegini jaýryklardan gelýän suwukyk tutýar. Şu sebäpli formulada birinji goşulyjyny hasap etmesizligi, debit hasaplananda uly bir ýalňyşlyk bermeýär.

Ideal gazyň deformirlenýän çat açan gatlakda durnukly izotermiki filtrasiýasyna seredip geçsek, ýagny şonda geçirijilik koeffisiýentiniň basyşa görä baglylygy göni çyzyklydyr. Bu baglanşyk gaz üçin ýerlikli diýip kabul edilýär, sebäbi gazyň filtrasiýasy geçende basyşyň üýtgemegi az bolýar. Bu ýagdaýda Leýbenzonyň funksiýasy üçin formulany aşakdaky görnüşde ýazyp bolar (bu ýerde $P_o = P_k$)

$$Л=\int\frac{\rho(p)K_1(p)}{\mu}dp+C=\int\frac{\rho_{am}P}{P_{am}}\frac{K_1^0\left[1-\alpha(P_K-P)\right]}{\mu}dp+C=\frac{\rho_{am}K_1^0}{P_{am}\mu} \quad (12)$$

$$\left[(1-\alpha P_K)\int Pdp+\alpha\int P^2dp\right]+C=\frac{\rho_{am}K_1^0}{P_{am\mu}\mu}\left[(1-\alpha P_K)\frac{P^2}{2}+\alpha\frac{P^3}{3}\right]+C$$

Töwerekleýin gatlakda tekiz-radial filtrasiýa seredenimizde, gazyň massalaýyn debitini alyp bolar, egerde Dýupýuiniň formulasyna ýokarda görkezilen Leýbenzonyň funksiýasyny girizip hem-de $P = P_k$ we $P = P_c$ diýip alsak, onda:

(13)

$$Q_m = \frac{2\pi k_1^0 h\rho_{at}\left\{\left[\left[(1-\alpha P_K)\frac{P_K^2}{2}+\alpha\frac{P_K^3}{3}\right]\left[(1-\alpha P_K)\frac{P_c^2}{2}+\alpha\frac{P_c^3}{3}\right]\right]\right\}}{P_{am}\mu\ln(\frac{R_K}{r_c})}$$

Atmosfera basyşa göwrümleýin getirme debit bolsa:

$$Q_m = \frac{\pi k_1 h(P_K^2 - P_c^2)}{P_{am}\mu\ln(\frac{R_K}{r_c})}\left[1-\frac{\alpha}{3}P_K+\frac{2}{3}\alpha\frac{P_c^2}{P_K+P_c}\right] \quad (14)$$

Bu ýerde ýaýyň öňündäki formula maýşgak däl sredada gazyň debitini aňladýar, we töwerekleýin gazyň akymyny α parametriň täsirine baha berýär.

Eger maýşgak däl sredada gazyň debitini Q^* arkaly aňlatsak (ýagny α = 0), onda gysylýan sredadaky gazyň debitiniň hemişelik geçirijili sredadaky debitden gyşarmasyny hasaplap bolýar:

$$\frac{Q_{am}}{Q^*} = 1-\frac{\alpha}{3}P_K+\frac{2}{3}\alpha\frac{P_c^2}{P_K-P_c} \quad (15)$$

Egerde, mysal üçin $\alpha = 2 \cdot 10^{-7}$ Pa^{-1}, P_c = 7 MPa, P_k = 10 MPa, onda Q_{am}/Q^* = 0,72 ýagny debit 28 % azalýar.

XXI. ÇAT AÇAN WE ÇAT AÇAN – ÖÝJÜKLI SREDALARDA SUWUKLYGYŇ WE GAZYŇ DURNYKSYZ HEREKETI

Çat açan sredada durnuksyz filtrasion akymyň häsiýetnamalaryny hasaplamak üçin (4) differensial deňlemeler sistemalaryny başlangyç we ahyrky şertlerde integrirlemek gerek bolýar.

Goý bize berlen bolsun: gowşak gysylýan we maýşgak suwuklyk, ýagny $\rho = \rho_o [1 + \beta_s(P - P_o)]$; iki sredada – jaýryklar we öýjükli bloklar-maýşgak, ýagny $m_i = m_{oi} + \beta_{si}(P - P_o)$, ($i$ = 1,2), iki sredanyň hem geçirijiligi hemişelik: K_1 = const, K_2 = const jaýryklaryň we bloklaryň arasynda suwuklygyň çalşygy geçýär, bloklardan jaýryklara geçýän suwuklygyň massasy bolsa

$$g = \alpha_o \frac{\rho_o}{\mu}(P_2 - P_1)$$

gatnaşyga bagly. Şeýle ýagdaýda (4) deňlemeler sistemasy aşakdaky görnüşe eýe bolýar:

$$\begin{aligned} \frac{K_1}{\mu}\nabla^2 P_1 &= \beta_1^* \frac{\partial P_1}{\partial t} - \frac{\alpha_0}{\mu}(P_2 - P_1) \\ \frac{K_2}{\mu}\nabla^2 P_2 &= \beta_2^* \frac{\partial P_2}{\partial t} - \frac{\alpha_0}{\mu}(P_2 - P_1) \end{aligned} \qquad (1)$$

bu ýerde P_1 we P_2 jaýrykdaky we öýjükli blokdaky basyş;

$$\beta_1^* = \beta_{si} + m_{oi}\beta_s = 1{,}2;$$

β_1^*, β_2^* - jaýryklaryň we öýjükli bloklaryň maýşak (göwrümlilik) sygymynyň koeffisiýentleri (koeffisiýent uprugoýomkosti).

Aşakdaky bellikleri girizeliň:

$$\chi = \frac{K_1}{(\mu\beta_2^*)}, \varepsilon_1 = \frac{\beta_1^*}{\beta_2^*}, \varepsilon_2 = \frac{K_2}{K_1}, \tau = \frac{\mu\beta_2^*}{\alpha_0} \qquad (2)$$

Şeýlelikde (1) deňlemeler şu görnüşde ýazylar:

$$\varepsilon \cdot \chi \nabla^2 P_1 = \varepsilon_1 \frac{dP_1}{dt} - \frac{P_2 - P_1}{\tau}$$
$$\chi \nabla^2 P_2 = \frac{dP_2}{dt} - \frac{P_2 - P_1}{\tau} \qquad (3)$$

Bu yerde pýezogeçirijilik koeffisiýenti χ jaýryklar sistemasynyň geçirijiligi – K_1 we bloklaryň maýşgak sygymynyň - β_2* üsti bilen hasaplanandygyny belläp geçeliň; parametr wagt bilen ölçenýär we gijikme wagty diýip atlandyrylýar. Bu parametr çat açan öýjükli sredada suwuklygyň durnuksyz hereketi teoriýasynda uly ähmiýeti bar; ol pýezogeçirijiligi - χ bolan öýjükli gatlak bilen deňeşdireňde çat açan öýjükli sredada basyşyň (bolünme) ýaýraýyş prosessinin gijikmesini häsiýetlendirýär. Bu gijikme çat äçan sistemaň we bloklaryň öýjükli sistemasynyň arasyndaky suwuklygyň çalşygynyň barlygy bilen düşündirilýär.

Gijikme wagtyny - τ başga görnüşde hem ýazyp bolýar:

$$\tau = \frac{\mu\beta_2^*}{\alpha_0} = \frac{\mu\beta_2^* l^2}{(\overline{\alpha} K_2)} = \frac{l^2}{(\overline{\alpha}\chi)} \qquad (4)$$

Soňky aňlatmadan görnüşi ýaly gijikme wagtyň - τ uly bahalary, bloklaryň pýezogeçirijiliginiň kiçi bahalaryna we bloklaryň ölçeginiň uly bahalaryna gabat gelýär.

(3) deňlemeler sistemasyny analizlesek, aşakdaky netijelere gelse bolar. Eger gijikme wagty $\tau = 0$ bolsa onda $P_1 = P_2$ bolýar, ýagny jaýryklarda we bloklarda basyş birmeňzeş bolup ol sreda özüni birjynsly ýaly alyp barýar. Eger $\tau = \infty$ bolsa onda sistema filtrasiýanyň iki deňlemesine bölünýär –

jaýryklardaky we bloklardaky, ýagny bloklar izolirlenen bolýarlar we sreda sap çat açan ýaly özüni alyp barýar. τ bahasy aralyk bolan ýagdaýynda ol çat açan öýjükli sreda gabat gelýär.

(3) deňlemeler sistemasyny ýönekeýleşdirip bolýar, egerde jaýryklyk koeffisiýenti m_1 we bloklaryň geçirijiligi K_2 kiçi bolan ýagdaýynda, ýagny $m_1 << m_2$, $K_2 << K_1$, onda $\varepsilon_1 << 1, \varepsilon_2 << 1$ we şol sebäpli $\varepsilon_1 \partial P_1 / \partial t$ hem $\chi \varepsilon_2 \cdot \nabla^2 P_2$ goşulyjylary hasap etmän bolar.

Onda

$$\chi \nabla^2 P_1 + \frac{P_2 - P_1}{\tau} = 0; \quad \frac{dP_2}{dt} + \frac{P_2 - P_1}{\tau} = 0 \qquad (5)$$

Edilen çaklama görä suwuklyk diňe bloklarda saklanyp ýerleşýändigini we diňe jaýryklar boýunça ýerini üýtgedýändigini aňladýar.

(3), (4) sistemalar üçin differensial deňlemeleri integrirlemek we golaý getirme usuly bilen alynan dürli çözüwleri bar. Bu çözüwler çylşyrymly we uly bolany üçin bu ýerde görkezilmeýär. Gutarnyksyz gatlakda ýerleşen, hemişelik debitli Q, radiusy – r_c, bolan skwažinadan maýşgak suwuklygyň alynyşy boýunça tekiz – radial meseläniň çözüwiniň netijesinde gurulan grafikler mysal getireliň.

Başlangyç wagtda jaýryklardaky P_1 (r, 0) we bloklardaky P_2 (r, 0) basyşlar birmeňzeş we P_o deň bolýar. Şonuň ýaly basyş gatlagyň daşlandyrylan nokatlarynda hemişelik saklanyp galýar.

EDEBIÝAT:

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
2. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Berdimuhamedowyň Umumymilli ″Galkynyş″ Hereketiniň we Türkmenistanyň Demokratik partiýasynyň nobatdan daşary V gurultaýlarynyň bilelikdäki mejlisinde sözlän sözi.
   Aşgabat, 2007.
3. Gurbanguly Berdimuhamedow. Eserler ýygyndysy. 1-nji tom.
   Aşgabat, 2007.
4. Türkmenistanyň Prezidentiniň ″Obalaryň, şäherçeleriň, etrapdaky şäherleriň we etrap merkezleriniň ilatynyň durmuş-ýaşaýyş şertlerini özgertmek boýunça 2020-nji ýyla çenli döwür üçin″ Milli maksatnamasy,
   Aşgabat, 2007.
5. ″Türkmenistany ykdysady, syýasy we medeni taýdan ösdürmegiň 2020-nji ýyla çenli döwür üçin Baş ugry″ Milli maksatnamasy, ″Türkmenistan″ gazeti, 2003-nji ýyl, Alp Arslan aýynyň 27-si.
6. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидравлика. М.: Недра, 1986.
7. Кристеа Н. Подземная гидравлика. М.:Гостоптехиздат, 1962.
8. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.: Гостоптехиздат, 1949.
9. Пыхачев Г.Б., Исаев Р.Г.Подземная гидравлика. М.: Недра, 1973.
10. Телков А.П. Подземная гидрогазодинамика. Уфа, 1974.
11. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963.
12. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. М.: Гостоптехиздат, 1949.

MAZMUNY