

YER OSTI GIDRAVLIKASI

TOSHIKENT



**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIV VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

YER OSTI GIDRAVLIKASI

*O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan 5542000 – «Neft va gaz konlarini ishga tushirish va
ulardan foydalanish» bakalavr va ta'lim yo'nalishi talabalari
uchun darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2015

UO'K: 553.98:551.577.54 (075)

KBK 30.123

Y-59

Y-59 Yer osti gidravlikasi. –T.: «Fan va texnologiya», 2015, 256 bet.

ISBN 978–9943–990–85–2

Darslikda bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan g'ovak va yoriqsimon muhitlarda suyuqlik va gazlarning bir fazali va ko'p fazali filtratsiyalarning gidradinamik nazariyalari keltirilgan. Barqaror va nobarqaror filtratsiya hamda mukammal va nomukammal quduqlar interferensiyalarining hisob usullari ko'rsatilgan.

Darslik 5311900 – «Neft va gaz konlarini ishga tushirish va ulardan foydalanish» bakalavr ta'lim yo'nalishining talabalari uchun mo'ljallangan.

* * *

В учебнике приведены гидродинамическая теория однофазной и многофазной фильтрации жидкостей и газов в однородных и неоднородных пористых и трещеноватых средах. Рассмотрены стационарная и нестационарная фильтрация и методы расчета интерференции совершенных и несовершенных скважин.

* * *

In this text book it is described the hydrodynamic theory of a single phase and multiphase filtration of the some type and different type liquids and gases. we studied it in stationery condition and not stationery condition of filtration and methods of country interference of perfect and imperfect oil wells and we gave an example of filtration of liquids that is with the free surface main differentiation level of underneath hydraulic this textbook is referred the students of oil and gas faculty in the direction of bachelor.

UO'K: 553.98:551.577.54 (075)

KBK 30.123

Mualliflar:

N.N.MAXMUDOV, M.A.TURSUNOV, S.S.ESHEV, X.B.ASADOVA

Taqrizchilar:

A.X.Agzamov – «Gissar-neftgaz» qo'shma korxonasi bosh mutaxassisi, texnika fanlari doktori, professor;

A.Murtazayev – Toshkent davlat texnika universiteti «Neft va gaz quduqlarini burg'ulash» kafedrası mudiri, texnika fanlari nomzodi, dotsent.

ISBN 978–9943–990–85–2

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2015.

SO'Z BOSHI

Ushbu darslikda yer osti fluidlar filtratsiya oqimlarining qonunlari, gidravlik hodisalar va har xil hisoblash usullari to'g'ri-sida ma'lumotlar keltirilgan.

Mamlakatimizda neft va gaz sohasining keng miqyosidagi taraqqiyoti yangi texnik jihatdan mukammallashgan neft va gaz konlarini loyihalashga va ularni samarali ishlatishga olib keldi. Bu neft va gaz konlarini yuqori darajada unumli ishlashi uchun ularni tarkibiga kiradigan kompleks muhandis hisoblarning asosiy qismi bo'lib sanaladigan gidravlik hisoblar olib boriladi. Shuning uchun o'quv qo'llanmada yuqorida aytib o'tilgan neft va gaz konlari masalalari bilan bog'liq bo'lgan gidravlik hisoblarga e'tibor berilgan. O'quv qo'llanma yer osti gidravlikasi elementlari bilan dastlabki tushunchaga ega bo'lish uchun mo'ljallangan va unda neft va gaz fakulteti talabalari uchun o'tiladigan o'quv dasturni qamrab oladigan ma'lumotlar tanlangan. Hozirgi paytda yer osti gidravlikasi bo'yicha rus tilida ko'pgina o'quv adabiyotlar mavjud.

Darslikda hozirgi zamon gidravlik hisoblarini to'liq kiritish imkoniyati yo'q, chunki darslikning hajmi buni taqozo etmaydi. Shuning uchun ba'zi hollarda talabalar gidravlik ma'lumotlar va normativ adabiyotlarga murojaat etishlariga to'g'ri keladi.

Hozirgi vaqtda «yer osti gidravlikasi» fanidan o'zbek tilida darslik yoki o'quv qo'llanma yozilmagan. Shu sababli, o'quv dasturni imkon qadar qamrab oladigan o'quv darslik tayyorlanishi kerakligi paydo bo'ldi. Darslik birinchilardan bo'lib o'zbek tilining lotin alifbosida tayyorlandi.

KIRISH

Yer osti gidravlikasi fani va uning qisqacha rivojlanish tarixi

Yer osti gidravlikasi mexanik harakatning turli ko'rinishlarini o'rgangani sababli, uni mexanikani bo'limi deb hisoblab, yer osti gidrogazomexanikasi deb atash mumkin.

Real qatlamdagi suyuqlik va gaz harakatiga oid ma'lumotlar asosida yer osti gidravlikasining u yoki bu murakkab masalalari o'rganilmoqda hamda ularning yechimlari matematik usullar yordamida topilmoqda.

Tabiiy yer osti qatlam suvlari mavjud. Yotqiziqlardan neft va gaz olinishi bilan qatlamda suyuqlik va gazning harakati boshlanadi. Bu harakat o'ziga xos xususiyatlar bilan quvur yoki ochiq o'zandagi harakatlardan farqlanadi. G'ovak yoki yoriqsimon muhitda ularni harakat xususiyatlarini bilish neft va gaz konlarini samarali ishlatish uchun zarur. Qatlamning neft va gaz berish jarayonini qatlamning o'zida sodir bo'ladigan fizik - kimyoviy hodisalar bilan kuzatiladi. Agar suyuqlik harakati tor tirqishlar (kanallar va mayda yoriqlar) bo'yicha bo'lsa, suyuqlik zarrachasi harakatlanadigan mayda kanallar devorlarida, suyuqlik molekulasi va qattiq jism o'rtasidagi o'zaro ta'sir natijasida, tog' jinsi ichida sirtqi hodisalar ro'y beradi. Gaz bosimi o'zgarishida qatlamlarda tabiiy gaz suyuqliklarda eriydi yoki eritmadan ajralib chiqadi.

Suyuqlik va gazning qatlamlardagi harakati xususiyatlari yuqori qatlamli harorat va bosimlari bilan tushuntiriladi. Bundan kelib chiqadiki, neft yoki gaz konini ratsional ishlatishda, nafaqat yer osti gidravlikasini bilish, balki geologiya, geofizika, qatlam fizikasi va boshqa fanlarni ham bilish kerak bo'ladi.

Yer osti gidravlikasi fani faqat neftli va gazli yotqiziqlarni ratsional ishlatishda qo'llanib qolmay, balki xalq xo'jaligining turli sohalarida ham qo'llaniladi.

Hozirgi vaqtda yangi neft va gaz konlarini loyihalashtirish va ishlatishda hamda quduqlardan foydalanishda yer osti gidravlikasi qonunlarini qo'llamasdan tasavvur etib bo'lmaydi. Berilgan qatlamda

quduqlarni qanday joylashtirish kerak; qatlamga nechta quduq va ular qanday ketma- ketlikda kiritilishlari kerak; ularda qanday ish rejimini saqlab turish kerak; bosimni saqlab turish uchun qatlamga qancha miqdorda suv haydash kerak; qatlamga suyuqlik yoki gaz harakatini yo'naltirish va rostlash kerak, bular va bunga o'xshash ko'pgina savollar yer osti gidravlikasi qonuniyatlari asosida yechiladi.

Bu savollarning to'g'ri yechilishi butun neft qazib chiqarish rayonlarining neft va gaz ishlab chiqarish va iqtisodiy effektiga bog'liq. Buning uchun neft-gaz tashuvchi qatlamlardagi yer osti oqimlarning qonuniyatlarini bilish kerak. Qatlam gidrodinamik masalalari bilan Respublikamizdagi va boshqa davlatlardagi ilmiy-tekshirish institutlari shug'ullanadilar.

Yer osti gidravlikasi tarixiga nazar solsak, bu fanning rivojlanishiga XIX asr o'rtalarida fransuz muhandisi G.Darsi tomonidan asos solingan. 1856-yilda tajribalar yordamida filtratsiya hodisalarini o'rganib, o'zining Darsi qonunini yaratdi.

Yer osti gidravlikasiga rivojlanishiga Ch.Slixter tomonidan hissa qo'shildi. U ideal va fiktiv (yasama) grunt tushunchalarini kiritib, fiktiv gruntning g'ovakligi hajmiy va yuzali bo'shliqlar zarrachalarining diametriga bog'liq emas, balki ularning zich joylashishiga bog'liq ekanligini ko'rsatadi.

XIX asr oxirida N.U. Jukovskiy «Yer osti suvlari harakati haqida nazariy tadqiqot» ilmiy ishini e'lon qildi. U birinchilardan bo'lib, filtratsiya differensial tenglamasini keltirib chiqardi. U bosim koordinatlar funksiyasi sifatida Laplas tenglamasini qanoatlantirishini, issiqlik o'tkazuvchanlik va filtratsiyani matematik analogiyada ko'rsatdi.

Yer osti gidravlikasi sohasida nazariy tadqiqotlar I.Dyupyui tomonidan olib borildi. Uning ishlarida Darsining tajribaviy qonuni gidravlik asoslab berildi.

1856-yildan F.Forxgeymer ko'pgina yer osti gidravlikasi masalalarining yechimi uchun potensial nazariya usulidan keng foydalandi.

1922-yilda N.N.Pavlovskiy tomonidan, yer osti gidravlikasining ko'pgina masalalarini birinchilardan bo'lib, matematikaviy fizikaning chegaraviy masalalarini shakllantirdi va ularni umumiy yechish usullarini ko'rsatdi. N.N. Pavlovskiy yer osti masalalarini yechish uchun elektrogidrodinamik analogiya usulini amalda ishlab chiqdi.

1920-yillardan boshlab yer osti suvlari oqimi masalalari bilan bir qatorda yangi yo'nalish «gaz-neft» yer osti gidravlikasi ham rivojlana boshladi. Bu yangi yo'nalishga birinchilardan bo'lib akademik L.S.Leybenzon asos soldi.

L.S.Leybenzon nazariy va tajriba tadqiqotlari asosida birinchi bo'lib, g'ovak muhitda gaz va gaz harakatining differensial tenglamasini keltirib chiqardi.

U qatlamlardagi neft va gaz zaxiralarini hisoblash usullarini, neft va gazni suv bilan siqib chiqarish masalalarini matematik tahlil qildi.

Keyingi neft-gaz yer osti gidromexanikasining rivojlanishiga akad. L.S.Leybenzon shogirdlari hissa qo'shdilar. Neft-gaz suv tashuvchi qatlamda filtratsiya nazariyasini rivojlanishida akad. S.A.Xristianovich, professorlar B.B.Lapuk, I.A.Charny, V.N.Shelkachev, K.S. Basniyev, G.B. Pixachevlar o'zlarining katta hissalarini qo'shdilar.

1. FILTRATSIYA NAZARIYASI TO'G' RISIDA ASOSIY TUSHUNCHALAR

1.1. Tabiiy qatlamlardagi flyuidlar harakatining xususiyatlari

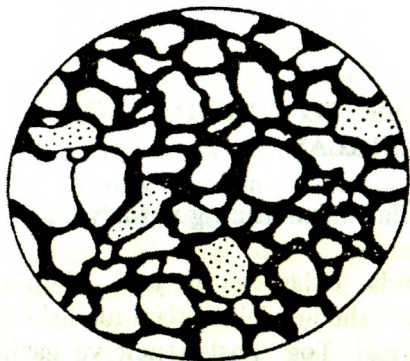
Neft va tabiiy gazlar yer ostida joylashgan bo'ladi. Ularning to'planishi tog' jinslari aralashishlari, shuningdek, qatlam tuzilishi va boshqa xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Tog' jinslari neft va gazlar joylashadigan joy bo'lib, bir vaqtning o'zida ularni ishlovga uzatish vazifasini ham bajaradi. Shuning uchun ularni kollektor jinslar deyiladi. Tabiiy suyuqliklar (neft, gaz, yer osti suvlari) asosan tog' jinslari yotqiziqlarining g'ovakliklari va yoriqlarida bo'ladi. Ularning harakati tabiiy protsesslar oqibatida (uglevodorodlar migratsiyasi) yoki inson harakati (tabiiy yer osti boyliklarini qazib olish va gidrotexnik inshootlardan foydalanish) natijasida sodir bo'ladi.

Suyuqliklarning, gazlarning va ular aralashmalarining bir - biriga o'zaro bog'liq bo'lgan g'ovaklardagi yoki yoriqlardagi harakatiga filtratsiya deyiladi. Yer osti gidravlikasi fani filtratsiya qonuniyatlarini o'rganadi.

Filtratsiya nazariyasi, yaxlit muhit mexanikasining bo'limi bo'lib, gidrotexnika, gidromelioratsiya, gidrogeologiya, tog' ishi, neft va gaz qazib olish, kimyo texnologiya sohalariga bo'lgan talab natijasida rivojlanmoqda. Neftgazsuvli qatlamlarni ishlatishda nazariy asos bo'lib, yer osti neft-gaz mexanikasi hisoblanadi. Tog' jinslari cho'kindilari qalinliklaridan o'tadigan flyuidlar harakati boshqa gidrodinamika (suyuqliklarning ochiq o'zandagi harakati) va filtratsiya tadqiqot usullaridan (masalan, kimyoviy texnologiya va gidrotexnika) o'ziga xos xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Cho'kindi tog' jinslarining g'ovaklik muhiti kengligi – murakkab boshqarilmaydigan zarrachalararo tutash g'ovak sistema bo'lib, bularda alohida g'ovak kanallar ajratish qiyin bo'ladi. (1.1 - rasm). Qumlardagi g'ovaklik o'lchamlari bir yoki o'nlab mikrometrlarni tashkil etadi.

Karbonatli jinslar (ohaklar, dolomitlar) yanada murakkabroq g'ovak muhitga ega bo'lib bir jinsli bo'lmagan birlamchi g'ovaklar,



1.1-rasm. Neft bilan to'yingan qumtosh shlifi.

yoriqlar, kanallar va kovaklar sistemasi bilan xarakterlanadi. Jinsning bir xil bo'lmaganligi, ular tuzilishi qatlamliligining tektonik buzilishlari neft va gaz yotqiziqlari tuzilishini murakkablashtiradi. Kon razvedkasi, qatlamlarni tadqiqot qilish, neft va gazni qazib chiqarish bir-biridan yuz metr lab masofada joylashtirilgan diametrlari 100–200 mm bo'lgan quduqlar yordamida olib boriladi.

1.2. G'ovak muhit va uning filtratsiya xarakteristikalari

G'ovak muhit deb, bir - biri bilan jips yotgan sementlangan yoki sementlanmagan juda ko'p qattiq zarrachalar orasiga (g'ovaklar, yoriqlar) suyuqlik yoki gaz joylashishi mumkin bo'lgan muhitga aytiladi.

Jinslardagi g'ovaklikni ma'lum darajada xarakterlash mumkin. Agarda g'ovak jism va suyuqlik orasidagi o'zaro munosabatdan kelib chiqadigan bo'lsak, g'ovakliklarni uchta asosiy guruhlarga bo'lish mumkin. Juda kichik bo'shliqlarda suyuqlik va jism orasidagi molekular kuchlar ta'siri nihoyatda katta bo'ladi. Bunday bo'shliqlar molekular g'ovakliklar deb yuritiladi. Juda katta yirik bo'shliqlardagi suyuqlik harakatiga jism, ya'ni bo'shliq devorining ta'siri hal qiluvchi rol o'ynamaydi. Bunday bo'shliqlar kovaklar deyiladi. Kattaligi jihatidan molekular g'ovakliklar va kovaklar oralig'ida joylashgan bo'shliqlarga g'ovaklar deyiladi.

G'ovaklar o'zaro tutashgan (ochiq) yoki tutashmagan (yopiq) bo'lishi mumkin. Suyuqlik faqat ochiq g'ovaklarda harakatlanishi mumkin. O'zaro ochiq g'ovaklar aktiv g'ovaklikni, barcha g'ovaklar umumiy g'ovaklikni tashkil etadi.

Ba'zan g'ovaklar kattaligi jihatidan xarakterlanadi. Xususan ohaktosh va dolomitlarda tog' jinsining erishi natijasida hosil bo'lgan,

uncha katta bo'lmagan bo'shliqlar jeodlar va ular tashkil etgan hajm jeod hajm deyiladi.

G'ovak jismlar tuzilishi jihatidan tartiblangan va tartibsiz g'ovaklikka ega bo'ladi. Masalan, bir xil diametrli sharlarning muntazam ravishda joylashishi tartiblangan g'ovaklikka ega bo'lgan g'ovak jismdan tashkil topadi. Bir bo'lak non esa tartibsiz g'ovakliklarga ega bo'lgan jismga misol bo'ladi.

Jismning g'ovakligini g'ovaklik koeffitsiyenti ifodalaydi. G'ovaklik koeffitsiyenti m deb, undagi V_0 bo'shliqlar egallagan hajmning V jism umumiy hajmi nisbatiga aytiladi:

$$m = \frac{V_0}{V} \quad (1.1)$$

Ba'zan g'ovaklik bilan bir qatorda g'ovak yuzasi tushunchasi kiritiladi. G'ovak yuzasi koeffitsiyenti n deb g'ovak muhitning qandaydir kesimi ω g'ovak yuzalarining shu kesimning ω_0 to'liq yuzasi nisbatiga aytiladi:

$$n = \frac{\omega_0}{\omega} \quad (1.2)$$

Qatlamning qaraladigan nuqtasida $n=m$.

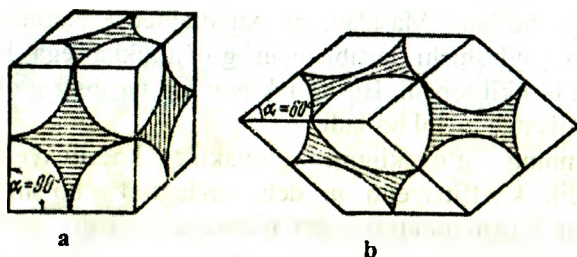
Geometrik o'xshash muhitlarda g'ovaklik koeffitsiyenti bir xil bo'ladi. U g'ovak muhit tuzilishini va g'ovak o'lchamlarini xarakterlamaydi.

Shu sababli, g'ovak muhitni ta'riflab ko'rsatishda, qandaydir g'ovak muhitni xarakterlaydigan o'lcham kiritish kerak bo'ladi. Masalan, bu o'lcham g'ovak kanalining qandaydir d o'rtacha o'lchami yoki g'ovak skeletning alohida zarrachasi bo'lishi mumkin.

Real gruntlardagi g'ovak kanallar noto'g'ri formaga va har xil o'lchamlarga ega bo'lganliklari sababli, ulardagi suyuqlik va gaz harakatini o'rganib bo'lmaydi. Shuning uchun g'ovak muhitni o'rganishdagi nazariy tadqiqotlarda ideal grunt va fiktiv (yasama) grunt modellaridan foydalaniladi (1.2-rasm).

Ideal grunt modelida hamma g'ovaklar bir-biriga parallel bo'lgan tor silindrlar to'plamidan tashkil topgan deb tushuniladi. Fiktiv grunt modelida esa, g'ovaklar bir xil diametrga ega bo'lgan shar ko'rinishidagi ko'p sonli zarrachalardan tashkil topgan deb tushuniladi. Amerikalik gidrogeolog Ch. Sliks soddalashgan filtratsiya naza-

riyasini yaratdi. Bunda g'ovak kanallardagi suyuqlikning harakati silindr naychalardagi suyuqlik oqib o'tishi bilan solishtiriladi.



1.2-rasm. Fiktiv grunt elementi.

Fiktiv grunt formulalarini tabiiy gruntga qo'llash uchun, real gruntga unga ekvivalent bo'lgan fiktiv gruntga almashtirish lozim bo'ladi. Bu holda fiktiv grunt gidravlik qarshiliklari, tabiiy grunt gidravlik qarshiliklari kabi bo'lishi kerak. Bunday fiktiv gruntning zarrachalari diametri d , effektiv diametr deyiladi. Effektiv diametrni aniqlash uchun juda ko'p usullar mavjud. Masalan, o'rtacha zarrachalarning og'irlik usuli bilan effektiv diametrni topish mumkin:

$$d_e = \sqrt{\frac{\sum n_i \cdot d_i^3}{\sum n_i}},$$

bu yerda, d_i - i - fraksiyaning o'rtacha diametri; n_i - fraksiyadagi qumchalar soni.

1.3. Filtratsiya tezligi. Darsi qonuni

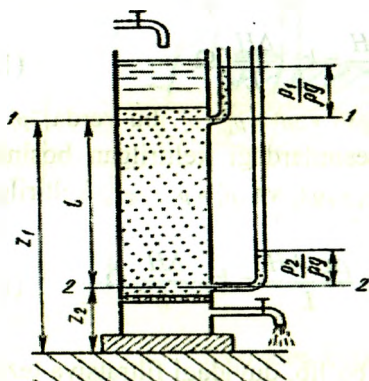
G. Darsi 1856-yilda suyuqliklarning g'ovak muhitidagi filtratsiya qonunini tajribalar asosida o'rgandi. O'zgarmas kesimli vertikal idishning ichi qum bilan to'lg'azilgan bo'lib, undan bosim farqlarining o'zgarmas qiymatlarida suv o'tkaziladi. Qum qatlami qalinliklari, ularning fraksion tuzilishi (zarracha kattaliklari) va bosim farqlari har xil tajribalarda turlicha bo'ladi (1.3 - rasm). G. Darsi tajriba sharoitlarida oqib o'tadigan suv sarfining bosim yo'qolishiga bog'liqligini ko'rsatdi, ya'ni

$$Q = k_f \cdot S \cdot (\Delta H / L) = k_f \cdot S \cdot I, \quad (1.3)$$

bu yerda, k_f – filtratsiya koeffitsiyenti, ya'ni suyuqlik xossasini (ρ, μ – suyuqlik dinamik qovushoqligi) va jinsning filtratsiya xossasini (o'tkazuvchanligini) hisobga oladi; S – filtratsiya yuzasi; ΔH – napor yo'qolishi; I – gidravlik nishablik.

Bernulli tenglamasiga ko'ra filtratsiya tezligi juda kichik bo'lgani sababli kinetiklik a'zolarini hisobga olmay, yo'qolgan bosimni quyidagicha yozamiz:

$$\Delta H = \left(Z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} \right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} \right)$$



1.3-rasm. Darsi qurilmasi.

Bunda $Z_1 - Z_2 = L$ bo'lgani uchun

$$\Delta H = \left(L + \frac{p_1}{\rho \cdot g} \right). \quad (1.4)$$

(1.3) tenglama Darsi qonunini ifodalaydi. Darsi qonuni suyuqlik filtratsiyasi sarfining filtratsiya yuzasiga, gidravlik nishablikka va filtratsiya koeffitsiyentiga to'g'ri proporsional ekanligini ko'rsatadi. (1.3) ifodani S – filtratsiya yuzasiga bo'lib, suyuqlik filtratsiya tez-

ligi uchun Darsi qonuniga ega bo'lamiz:

$$v = k_f \cdot I, \quad (1.5)$$

bu yerda, I – o'lchamsiz kattalik; k_f – o'lchamga ega bo'lgan filtratsiya koeffitsiyenti, m/s.

Filtratsiya koeffitsiyenti jinsning va suyuqlikning xossasiga bog'liq bo'lib, gidrotexnik inshootlarda, ya'ni faqat suv bilan bog'liq hisoblarda ishlatiladi. Neft va gaz ishida, ya'ni har xil suyuqliklar (suv, neft, kondensat, gaz) filtratsiyasi hisobida jins filtratsiya xossalarini alohida inobatga oladigan k o'tkazuvchanlik koeffitsiyentini kiritish zarur ekanligi kelib chiqadi. O'tkazuvchanlik g'ovak jismlarning jismga qo'yilgan bosim gradiyenti ta'siri ostida o'zidan suyuqlik o'tkazish imkoniyatini xarakterlovchi xususiyatidir.

k o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti va k_f filtratsiya ko'effitsiyenti quyidagicha bog'langan:

$$k = \frac{k_f \cdot \mu}{\rho \cdot g} \quad (1.6)$$

Yuqoridagi ifodadan k ning o'lchov birligi m^2 ekanligi kelib chiqadi. Real neft va gaz tashuvchi qatlamlar uchun $k \approx 10^{-12} \dots 10^{-14} \text{ m}^2$. Amaliyotda kvadrat mikrometr, ya'ni 10^{-12} m^2 qo'llaniladi.

(1.3) tenglamani neft-gaz hisobi uchun qulay ko'rinishga keltiramiz. Buning uchun (1.6) ifodadan « k_f » ni (1.3) tenglamaga qo'ysak, ya'ni

$$Q = \Omega \cdot \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu} \cdot \frac{\Delta H}{L} = k_f \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot \Omega \quad (1.7)$$

ekanligi kelib chiqadi. Ammo $\rho g \Delta H = \Delta p^* = p_1^* - p_2^*$, bu yerda, p_1^* va p_2^* – mos ravishda 1-1 va 2-2 kesimlardagi keltirilgan bosimlar (taqqoslash tekisligiga nisbatan $p_1^* \approx p_1 + \rho g Z_1$ va $p_2^* \approx p_2 + \rho g Z_2$ keltirilgan bosimlar). Almashtirishlardan so'ng

$$Q = \Omega \cdot \frac{k \cdot \rho g}{\mu} \cdot \frac{\Delta H}{L} = \Omega \cdot \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\rho g \cdot \Delta H}{L} = k_f \cdot \frac{\Delta H}{L} \cdot \Omega \quad (1.8)$$

ifodaga ega bo'lamiz.

Bu ifodani S filtratsiya yuzasiga bo'lib, quyidagi filtratsiya tezligi ifodasiga ega bo'lamiz:

$$v = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta p^*}{L} \quad (1.9)$$

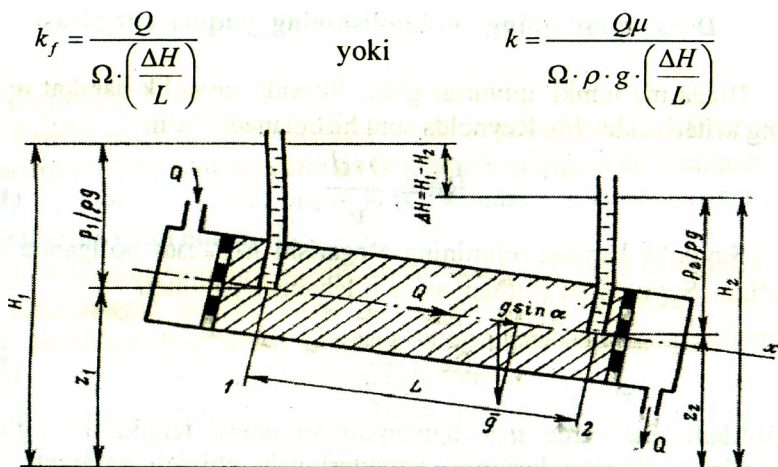
Keltirilgan bosimlarni kiritish (1.8) va (1.9) formulalarni istalgan yo'nalishdagi (vertikal, qiya yoki gorizontal qatlam modeli uchun) filtratsiya oqimi uchun qo'llash mumkin.

Darsi qonuni filtratsiyaning chiziqli qonuni deb ataladi va bu qonun saqlanishida Q sarf Δp bosimlar farqiga to'g'ri proposional bo'ladi. Bu ko'rsatilgan shart neft va suv filtratsiyasining ko'p hollarida saqlanadi. Shuning uchun hisoblarda filtratsiyaning chiziqli qonuni keng ko'lamda qo'llaniladi.

k_f filtratsiya ko'effitsiyenti yoki k o'tkazuvchanlik ko'effitsiyenti tekshiriladigan grunt namunasi to'ldiriladigan maxsus permeometr asbobi yordamida tajriba o'tkazilib aniqlanadi (1.4-rasm).

Filtratsiya oqimining Q umumiy sarfi o'zgarmas saqlab turiladi. 1-1 va 2-2 kesimlardagi g'ovak muhitga joylashtirilgan ikki

p'ezometrlar yordamida H_1 va H_2 bosimlar o'lchanadi. Taqqoslash tekisligidan kesimlar markazlarigacha bo'lgan balandliklar Z_1 va Z_2 , mos ravishda bosimlar esa P_1 va P_2 bo'ladi; kesimlar orasidagi silindr o'qi bo'yicha masofa L bo'ladi. (1.7) yoki (1.8) formulalardan



1.4-rasm. Permeametr sxemasi.

ega bo'lamiz. Bu yerda bosim gradiyenti

$$\frac{\Delta H}{L} = \frac{Z_1 - Z_2}{L} + \frac{p_1 - p_2}{\rho g L} = \frac{p_1^* - p_2^*}{\rho g L}$$

ko'rinishda bo'ladi.

1.4. Darsi qonunining qo'llanish chegaralari. Filtratsiyaning chiziqli bo'lmagan qonunlari

Darsi qonuning qo'llanilish chegaralariga doir juda ko'p ilmiy tadqiqot ishlar qilingan. Ilmiy-tekshirish protsesslari natijasida Darsi qonunining buzilish sabablari ikki guruhga ajratiladi:

1) filtratsiyaning yuqori tezliklarida (Darsi qonuni qo'llanilishining yuqori chegarasi) inersiya kuchlarining paydo bo'lishi bilan Darsi qonunining buzilishi;

2) filtratsiyaning kichik tezliklarida sodir bo'ladigan suyuqliklarning nonyuton reologik xossalari hamda ularning g'ovak muhit qattiq skeleti bilan o'zaro ta'siri natijasida Darsi qonunining buzilishi (Darsi qonuni qo'llanishining pastki chegarasi).

Darsi qonunining qo'llanilishining yuqori chegarasi

Bizga ma'lumki, quvurlar gidravlikasida suyuqlik harakat rejimining kriteriysi bo'lib, Reynolds soni hisoblanadi, ya'ni

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (1.10)$$

Suyuqlik harakat rejimining o'zgarishi $Re_{cr} = 2300$ bo'lganda sodir bo'ladi. Suyuqliklar filtratsiyasida o'lchamsiz parametrlar

$$Re = \frac{u \cdot a \cdot \rho}{\mu} \quad (1.11)$$

kiritiladi. Bu yerda u – qandaydir xarakterli tezlik; a – g'ovak kanallarni o'rtacha kesimini xarakterlovchi chiziqli parametrlar; ρ – suyuqlik zichligi; μ – dinamik qovushoqlik koeffitsiyenti.

Darsi qonuni saqlanmaydigan filtratsiya tezligiga filtratsiyaning v_{cr} kritik tezligi deyiladi.

Suyuqlik filtratsiyasi uchun Reynolds soni N.N. Pavlovskiy tomonidan kiritilgan

$$Re = \frac{v \cdot d_{ef}}{(0.75m + 0.23) \cdot \nu} \quad (1.12)$$

ya'ni xarakterli tezlik deb, v filtratsiya tezligi qabul qilingan bo'lib, chiziqli parametrlar ushbu

$$a = \frac{d_{ef}}{0.75m + 0.23} \quad (1.13)$$

ko'rinishda ifodalangan.

N.N. Pavlovskiy bo'yicha Reynolds kritik qiymati

$$7.5 < Re_{cr} < 9 \quad (1.14)$$

intervalda joylashadi.

1933-yilda G.X. Fenchel, J.A. Lyuis va K.B. Bernslar sementlanmagan va sementlangan qumlardagi neft, gaz, suv hamda havo harakatining tajriba natijalarini ko'rsatishadi. Bularda λ gidravlik

qarshilik va Reynolds soni o'rtasidagi bog'lanish ushbu ko'rinishda bo'ladi:

$$\lambda = \frac{d_e \cdot \Delta P}{2 \rho v^2 \Delta L} \quad (1.15)$$

va

$$Re = \frac{v \cdot d_e}{\nu} \quad (1.16)$$

qabul qilingan.

Tajriba natijalari 1.5-rasmdagi λ gidravlik qarshilik koeffitsiyenti logarifmining Re soni logarifmiga bog'lanish grafigida ko'rsatilgan.

G.X. Fenchel, J.A. Lyuis va K.B. Bernslarning tajribalari natijasi quyidagicha tahlil etiladi:

a) Reynolds sonining sementlangan qumlar uchun 1 dan kichik va sementlanmagan qumlar uchun 4 dan kichik qiymatlarida $\lg Re$ va $\lg \lambda$ orasidagi bog'lanish abssissa o'qiga nisbatan 135° burchak ostidagi qiya to'g'ri chiziqlar bilan tasvirlanadi;

b) Reynolds sonining sementlangan qumlar uchun 1 dan katta va sementlanmagan qumlar uchun 4 dan katta qiymatlarida $\lg \lambda$ va $\lg Re$ bog'lanish egri chiziqlar bilan tasvirlanadi.

1.5-rasm grafik to'g'ri chiziq qismining tenglamasini tuzamiz.

Bu uzunlik qismining burchak koeffitsiyenti $\lg 135^\circ = -1$ ekanligini hisobga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\lg \lambda = B - \lg Re, \quad (1.17)$$

bu yerda, o'zgarmas B – kesim uzunligi. (1.17) tenglamaga (1.15) va (1.16) lardagi λ va Re qiymatini qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$\lg \left(\frac{d_e \cdot \Delta p}{2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \Delta L} \cdot \frac{v \cdot d_e \rho}{\mu} \right) = B. \quad (1.18)$$

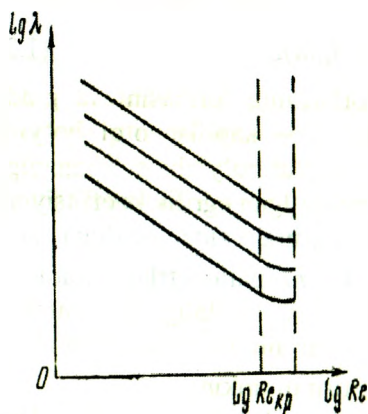
$$B = \lg C \text{ deb qarab,}$$

quyidagini topamiz:

$$\nu = \frac{d_e^2}{2C\mu} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta L}. \quad (1.19)$$

(1.19) formula Darsi qonunini ifodalaydi.

1.5-rasmdagi grafikning to'g'ri



1.5-rasm. λ gidravlik qarshilik koeffitsiyenti logarifmining Re soni logarifmiga bog'liqligi.

chiziqli qismi Darsi qonuniga bo'ysunadi. Ko'rinib turibdiki, egri chiziqli qismi Darsi qonuniga bo'ysunmaydi. Sementlanmagan qumlarda Reynolds kritik soni $Re_{cr} = 1$, sementlanmagan qumlarda esa $Re_{cr} = 4$.

(1.16) formulaning qulay emasligi shundan iboratki, Reynolds sonini aniqlashda d_e effektiv diametr aniq bo'lishi kerak. d_e qiymatni hisoblashning turli usullari har xil qiymatlarni beradi. Bulardan tashqari, ohaktoshlardagi va dolomitlardagi neftni harakatida d_e qiymatni aniqlash mumkin emas.

Birinchilardan bo'lib, V.N. Shelkachev neft va gaz ishlari hamda razvedkasi amaliyoti uchun Re Reynolds sonini aniqlash

$$Re = \frac{10\nu \cdot \sqrt{k} \cdot \rho}{m^{2.3} \mu} \quad (1.20)$$

formulasini taklif etdi. Bunda Reynolds kritik soni

$$1 < Re_{cr} \leq 12$$

intervalda yotadi.

Bulardan tashqari, Re sonini aniqlash uchun A. A. Krasnopolskiy, M.D. Millionshikov, Ye.M. Milskiy, A.I. Abduvagapov va boshqalar o'zlarining formulalarini taklif etadilar. Darsi qonuni qo'llanishining yuqori chegarasini aniqlashda bir qator mualliflarning Re parametrini aniqlovchi formulalarini quyidagi umumiy ko'rinishda jamlash mumkin:

$$Re = \frac{\nu \sqrt{k}}{\nu} f(\varepsilon, S_l, m), \quad (1.21)$$

bu yerda, ε – g'ovak kanal devorlarining formasini va g'adirbudirligini hisobga oluvchi parametr; S_l – kapillar o'qi bo'yicha filtratsiya oqimi egri chiziq uzunligining, o'qi bo'yicha o'lchanadigan teshiklar orasidagi masofa nisbatiga teng bo'lgan egrilik koeffitsiyenti.

Re_{cr} sonining qiymati juda katta oraliq intervalda yotishiga sabab, Re sonini aniqlash formulalarida k va m parametrlar kiradi. Bu parametrlar jismlarning mikrostrukturasi to'laligicha xarakterlamaydi. Tajribalarning ko'rsatishicha, har bir tog' jinsi uchun Re_{cr} qiymatining juda tor diapozonini ko'rsatish mumkin.

Reynolds sonining $Re > Re_{cr}$ qiymatlarida chiziqli Darsi qonunining buzilishi kuzatiladi. Reynolds sonining katta qiymatlari umumlashgan Darsi qonuni tajribalariga asoslanib, Dyupyui tomonidan bajarilgan. Bunda u ikki hadli filtratsiya qonunini

ko'rsatadi. Keyinchalik bu qonun F. Forxgeymer tomonidan taklif etilgan.

Filtratsiyaning Darsi qonunidan sekin chiziqli bo'lmagan filtratsiya qonuniga o'tishini va keyinchalik chiziqli bo'lmagan filtratsiya qonunini ikki hadli quyidagi formula yaxshi ifodalaydi:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\mu}{k} \cdot v + \beta \cdot \frac{\rho}{\sqrt{k}} \cdot v^2, \quad (1.22)$$

bu yerda, β – tajriba asosida aniqlanadigan g'ovak muhitning qo'shimcha o'zgarmas kattaligi. (1.22) tenglama o'ng qismining birinchi hadi suyuqlik qovushoqligi natijasida bosim yo'qolishini va ikkinchi hadi g'ovak kanallar egri chiziqligi bilan bog'liq bo'lgan suyuqlik harakatiga qarshilik ko'rsatadigan inersion tashkil etuvchilarni hisobga oladi.

(1.22) formuladan ko'ramizki, kichik filtratsiya tezliklarida v^2 kvadrat tezlikni hisobga olmasak, bunda bosim gradiyenti faqat birinchi hadga bog'liq bo'ladi, ya'ni harakat inersiyasiz (Darsi qonuni bo'yicha) bo'ladi. Katta filtratsiya tezliklarida inersiya kuchlari hisobga olinadigan darajada bo'ladi va ba'zan qovushoqlik kuchlaridan ham katta bo'ladi. Formulaning birinchi hadini hisobga olmasak, A.A. Krasnopol'skiyning to'g'ri chiziqli filtratsiyasi kvadratik qonuniga ega bo'lamiz. Bu holda filtratsiya katta o'lchamli zarralar muhitida sodir bo'lishi kuzatiladi.

(1.22) ikki hadli filtratsiya qonuni fizikaviy mukammalroq o'rganilgan bo'lib, neft-gaz ishi amaliyotida uchraydigan hamma Reynolds sonlari uchun o'rinli bo'ladi.

Darsi qonuni buzilishi hollaridagi filtratsiya oqimining tajribalarida bir hadli ko'rinishdagi darajali formulalar (chiziqli bo'lmagan qonun) ishlatiladi:

$$v = C \sqrt[n]{\left(\frac{\Delta p}{L}\right)^{1/n}}, \quad (1.23)$$

bu yerda, C va n – tajriba yo'li bilan aniqlanadigan o'zgarmas sonlar, bunda $1 < n \leq 2$. $n=2$ bo'lganda (1.23) formula Krasnopol'skiy formulasiga aylanadi. Agar bosim gradiyenti kattaligini dp/dL desak,

$$v = C \left(\frac{dp}{dL}\right)^{1/n} \quad (1.24)$$

bo'ladi.



Kichik filtratsiya tezliklarida Darsi qonunining buzilishi

Kichik tezliklarda Darsi qonunining buzilishiga oid tajribalar 1950-yillardan boshlab o'tkazila boshlandi. Bu holat ko'pincha suvning loylardagi harakatida, suyuqliklarning qumlardagi filtratsiyalarida kuzatiladi.

Hamma tajribalar o'tkazilishida, kichik tezliklarda filtratsiyaning chiziqli bo'lmagan qonuni yaqqol kuzatiladi. Bu hodisa, kichik filtratsiya tezliklarida jinsning qattiq skeleti va filtratsiyalanadigan flyuidlarning o'zaro ta'sir kuchlari filtratsiya qarshiliklariga nisbatan, ancha ustunlikka ega bo'lishi bilan tushuntiriladi. Oqimning juda kichik tezliklarida qovushoqlik ishqalanishi hisobga olinmaydigan kichik bo'lgani uchun, fazalararo o'zaro ta'sir kuch oxirgi kattalik bo'lib qoladi hamda u tezlikka bog'liq bo'lmaydi va faqat kontaktdagi fazalar xususiyatlari bilan aniqlanadi. Bunday o'zaro ta'sir natijasida sirtqi - aktiv komponentlardan tarkib topgan neft g'ovak jismga kirishi natijasida qisman yoki to'liq g'ovaklarni yopib mustahkam kalloid aralashmalar (plyonkalar) hosil qiladi.

Harakat boshlanishi uchun, qandaydir bosim farqi qo'yilib, bu strukturani buzish kerak bo'ladi.

G'ovak muhit bilan kontaktlari bo'lmaganda anomal xususiyatlarni sodir etmaydigan ko'pgina suyuqliklar (neft, qatlam suvi) kichik filtratsiya tezliklarida g'ovak jins bilan o'zaro ta'siri natijasida nonyuton sistemasini hosil qilishi mumkin.

Filtratsiyaning boshlanishiga olib keladigan boshlang'ich bosim gradiyentining bo'lishi, gaz-suv bilan to'yingan g'ovak muhitdagi flyuidlar harakatida ham kuzatiladi. Ko'pincha g'ovak muhitda joylashgan loyli materiallar ko'p bo'lgan, aralashmasining suv bilan to'yingan qoldig'i yuqori bo'lgan hollarda ν ning keng intervallarda o'zgarishi o'rnatilgan.

Shu bilan bir qatorda yuqori molekular komponentlarga (smolalar, asfaltlar, parafinlar va h.k.) ega bo'lgan qatlam neftining nonyuton xususiyatlari tezliklar o'zgarishining keng diapozonida namoyon bo'lishi mumkin.

Shunga ko'ra, juda kichik oqim tezligidagi chiziqli bo'lmagan filtratsiya qonunining tabiati, boshqa zonadagi filtratsiya (Re katta sonlarida) katta tezliklardan boshqacha bo'ladi. Bu filtrlanadigan

flyuidlarida nonyuton xususiyatlarining paydo bo'lishi, shuningdek, boshqa fizik - kimyoviy effektlar sodir bo'lishi bilan bog'liq bo'ladi.

Nonyuton suyuqliklarning chiziqli bo'lmagan filtratsiya qonuni quyidagicha:

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{\mu}{k} v + \nu, \quad v > 0 \quad (1.25)$$

$$\frac{\Delta p}{L} \leq \nu, \quad v = 0$$

bu yerda, ν – chegaraviy (boshlang'ich) bosim gradiyenti bo'lib, buning ortishi natijasida suyuqlik harakati boshlanadi; gradiyentning kam qiymatlarida harakat bo'lmaydi.

1.5. Filtratsiya parametrlarini aniqlashning o'lchamlar nazariyasi usuli

Xalqaro SI birliklar sistemasida fizik kattaliklarning hamma formulalari birliklari L^x, M^y, T^z darajali ko'rinishida bo'ladi, bu yerda, L, M, T – mos ravishda uzunlik, massa va vaqtning o'lchamlari; λ, χ, τ – daraja ko'rsatkichlari.

(1.23) formuladagi C parametrni aniqlashni misol tariqasida ko'rib chiqamiz. Quyidagi umumiy filtratsiya qonunini qaraymiz:

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = \frac{\mu}{k} v + \frac{\rho}{k_p} \cdot v^2, \quad (1.26)$$

bu yerda, k_p – naychanning torayish va kengayish sonini hisobga oladigan koeffitsiyent; k_p (1.26) formulaning kvadratik hadidagi o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi. Koeffitsiyent C uch parametrga bog'liq, ya'ni k, μ, ρ . O'lchamlar nazariyasiga asoslanib (1.23) funksional bog'liqlikni quyidagicha ko'rsatish mumkin:

$$v = a \cdot k^x \mu^y \rho^z \left(\frac{\Delta p}{\Delta L} \right)^{1/n}, \quad (1.27)$$

bu yerda, a – o'lchamsiz ko'paytma; x, y, z – aniqlanishi lozim bo'lgan daraja ko'rsatkichlar.

(1.27) formulaning har bir kattaligi o'lchamlarini aniqlaymiz:

$$[v] = L \cdot T^{-1}; \quad [k] = L^2; \quad [M] = L^{-1} T^{-1};$$

$$[\rho] = ML^{-3}; \left[\frac{\Delta p}{\Delta L} \right] MM^2 T^{-2}$$

(1.27) formulaning ikki tomoni o'lcamlari tengligi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$LT^{-1} = L^{2x} M^y L^{-y} T^{-y} M^z L^{-3z} M^{\frac{1}{n}} L^{\frac{2}{n}} T^{\frac{2}{n}} \quad (1.28)$$

Oldin qandaydir harfning daraja ko'rsatkichlarini tenglashtirish, masalan L ni, noaniq x, y, z tenglamani hosil qilamiz; so'ngra keyingi harf daraja ko'rsatkichini tenglashtiramiz va nihoyat, uchinchi harfning daraja ko'rsatkichini tenglashtiramiz. Bulardan uch noma'lumli, uch chiziqli tenglamalar sistemasiga ega bo'lamiz:

$$\left. \begin{aligned} 1 &= 2x - y - 3z - \frac{2}{n} \\ -1 &= -y - \frac{2}{n} \\ 0 &= y + z + 1 \end{aligned} \right\} \quad (1.29)$$

(1.29) tenglamani yechib,

$$x = \frac{3-n}{2n}; \quad y = \frac{n-2}{n}; \quad z = \frac{1-n}{n} \quad (1.30)$$

ekanliklarini topamiz.

(1.27) tenglamadagi a o'lcamsiz ko'paytmani g'ovak muhitning ikki qismga bo'linish chegarasi shartidan aniqlaymiz. Qaraladigan suyuqlikning birinchisida, Darsi qonuni saqlanadi, ikkinchisida esa (1.27) formula bilan ifodalanadigan chiziqli bo'lmagan qonun bo'ladi. Bu chegaradagi filtratsiya tezligi v_{cr} kritik tezlik bo'lib, Re_{cr} soniga mos bo'ladi. v_{cr} tezlikni $Re = Re_{cr}$ deb, (1.21) formuladan aniqlash mumkin.

(1.21) formuladagi v_{cr} qiymatni (1.9) tenglamaga qo'yib $\frac{\Delta p}{\Delta L}$ qiymatini aniqlaymiz; bu qiymatni (1.27) tenglamaga qo'yamiz va (1.21) formula yordamida v_{cr} tezlikni chiqaramiz. Shunday yo'l bilan a ni topamiz:

$$a = \left[\frac{Re_{cr}}{f(\varepsilon, \tilde{N}_1, m)} \right]^{\frac{n-1}{n}} \quad (1.31)$$

(1.31) tenglamadagi a ni va (1.30) ifodadagi x, y, z larni (1.27) formulaga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\nu = \left[\frac{\text{Re}_{gr}}{f(\varepsilon, \tilde{N}_1, m)} \right]^{\frac{n-1}{n}} k^{\frac{3-n}{2n}} \cdot \mu^{\frac{n-2}{2}} \cdot \rho^{\frac{1-n}{n}} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta L} \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (1.32)$$

Shunday qilib, o'lchamlar nazariyasidan foydalanib C ko'paytmaning k, μ, ρ parametrlarga bog'lanishini topdik. $n=1$ bo'lganda, bu holat Darsi qonunini ko'rsatadi.

k va k_ρ koeffitsiyentlarning o'zaro bog'liqligini topamiz. Buning uchun (1.32) formulaga $n=2$ ni qo'yamiz. Hosil bo'lgan filtratsiya qonuni quyidagi bog'lanishga teng:

$$\frac{\Delta p_\rho}{\Delta L} = \frac{\rho}{k_\rho} \cdot \nu^2 \quad (1.33)$$

$n=2$ da (1.32) va (1.33) formulalarni tenglashtirib, k_ρ ni topamiz:

$$k_\rho = \frac{\text{Re}_{gr}}{f(\varepsilon, \tilde{N}_1, m)} \sqrt{k}, \quad (1.34)$$

bu yerda, $\sqrt{k}$ o'lchamsiz bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Flyuidlar va ularning harakatini tushuntirib bering.
2. Filtratsiya deganda nimani tushunasiz?
3. G'ovak muhit deb nimaga aytiladi?
4. G'ovaklik koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
5. O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti nima?
6. Filtratsiya tezligi qanday aniqlanadi?
7. Chiziqli Darsi qonunini tushuntirib bering.
8. Chiziqli bo'lmagan Darsi qonunini tushuntirib bering.
9. Reynolds soni va uning kritik qiymati qanday aniqlanadi.
10. O'lchamlar nazariyasi usulini tushuntiring.

Xulosa

«Yer osti gidravlikasi» fanining quyidagi masalalari qarab chiqilgan:

G'ovaklik. G'ovak jismning tuzilishi, xususiyatlari va tavsifi. G'ovaklikni aniqlash. Nisbiy yuza va uni aniqlash.

O'tkazuvchanlik. O'tkazuvchanlikka ta'sir etuvchi omillar. G'ovak materiallarning mexanik xossalari. Tog' jinslari tuzilishining mexanik o'zgarishi.

Filtratsiya tezligi. Darsi qonuni. Darsi qonunining qo'llanish chegaralari. Filtratsiya parametrlarini aniqlashning o'lchamlar nazariyasi usuli.

2. NEFT VA GAZ QATLAMLARDAGI FLYUIDLAR FILTRATSIYASINING DIFFERENSIAL TENGLAMASI

2.1. Filtratsiya oqimining uzluksizligi tenglamasi

Ko'pincha real sharoitlarda qatlam suyuqliklarining nobarqaror harakati hodisasini qarab chiqishga to'g'ri keladi. Bunda koordinata va vaqtga bog'liq holda, masalan, quyidagi parametrlar o'zgaradi:

ρ suyuqlik zichligi, p bosim, koordinata o'qlaridagi filtratsiya tezliklari vektorlarining u_x , u_y , u_z proektsiyalari, g'ovaklik koeffitsiyenti m . Bu x , y , z va t parametrlarining aniqlanish masalasi, qandaydir differensial tenglamalar sistemasini integrallashga olib keladi. Nobarqaror filtratsiya oqim masalalarini yechishda boshlang'ich va chegaraviy shartlarni bilish kerak.

Neft, gaz yoki ularning aralashmalari o'zgaruvchan parametrlarini va qatlam parametrlarini aniqlash uchun tenglamalar sistemasi bo'lib, deformatsiyalanadigan muhitdagi siqiluvchan suyuqlik yoki gazning umumiy differensial tenglamasi, ya'ni filtratsiya oqimining uzluksizligi tenglamasi hisoblanadi. Bu tenglama g'ovak yoki darzli muhitda ajratilgan elementar hajm o'zgarmas chegaralaridagi suyuqlik massasi balansini ifodalaydi.

Filtratsiya muhitida qo'zg'almas yon tomonlari d_x , d_y , d_z bo'lgan elementar parallelopipedni ajratamiz va yon yuzasi chegarasidan suyuqlik oqib o'tishini qaraymiz (2.1-rasm). Ajratilgan parallelepiped hajmini $V = dx dy dz$ deb belgilaymiz. Parallelepiped ichidagi g'ovak muhit hajmini quyidagicha yozish mumkin:

$$V_0 = m \cdot V,$$

bu yerda, m – o'zgaruvchan g'ovaklik koeffitsiyenti.

Ikki xil usul bilan ajratilgan parallelopiped ichidagi suyuqlik massasining dt vaqt oralig'ida o'zgarishini aniqlaymiz.

Ajratilgan elementar parallelepiped g'ovaklarini to'ldiruvchi suyuqlik massasi M bo'lsin, u holda

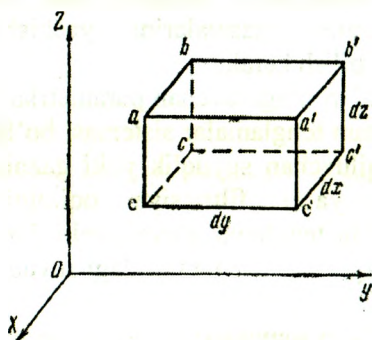
$$M = mV\rho \quad (2.1)$$

bo'ladi.

(2.1) ifodani differensiallab, dt vaqt oralig'ida M massasi o'zgarishini topamiz:

$$\frac{\partial M}{\partial t} dt = V \frac{\partial(m\rho)}{\partial t} v dt \quad (2.2)$$

Boshqa tarafdin, $aa'b'b$ parallelepiped yuzasi tomonidan suyuqlik kiradi, bunda massali filtratsiya tezlik ρv_x . dt vaqtda $dydz$ tomon yuzasidan $\rho v_x dydz dt$ massa oqib o'tadi. dx masofadagi $cc'e'e$ qarshi tomondan shu vaqtda $\rho v_x dydz dt + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) dx dydz dt$ massa oqib chiqadi.



2.1-rasm.

dt vaqtda parallelepipedda yig'ilgan massa kiradigan va chiqadigan suyuqlik massalarining farqiga teng bo'ladi:

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) \cdot V dt$$

Xuddi shu tarzda oy va oz o'qlaridagi massa farqlari mos ravishda aniqlanadi

$$-\frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) \cdot V \cdot dt,$$

$$-\frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) \cdot V \cdot dt.$$

Oxirgi uch ifodalarni yig'indisi, dt vaqt oralig'ida parallelepiped hajmi bo'yicha g'ovak muhitda yig'ilgan suyuqlikning to'liq massasini ifodalaydi, ya'ni

$$-\left[\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z} \right] V \cdot dt = -\text{div}(\vec{\rho v}) \cdot V \cdot dt, \quad (2.3)$$

bu yerda, $\text{div}(\vec{\rho v})$ – tenglama chap tomonidagi ifoda bo'lib,

massali filtratsiya tezligi vektori divergentsiyasini aks ettiradi; $\vec{\rho v}$ – massali filtratsiya tezligi vektori.

(2.2) va (2.3) ifodalarni tenglashtirib, filtratsiya oqimining uzluksizligi tenglamasiga ega bo'lamiz:

$$-\left[\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z}\right] = -\frac{\partial(m\rho)}{\partial t} \quad (2.4)$$

Siqilmaydigan suyuqliklarda $\rho = \text{const}$ bo'lgani uchun, (2.4) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{\partial m}{\partial t} \quad (2.4a)$$

(2.4) tenglamaning chap tomonidagi differensial uch had, ba'zan quyidagicha belgilanadi:

$$\text{div}(\vec{\rho v}) = \nabla(\vec{\rho v}).$$

Bunda uzluksizlik tenglamasi qisqacha yoziladi, ya'ni

$$\nabla(\vec{\rho v}) = -\frac{\partial(m\rho)}{\partial t} \quad (2.5)$$

∇ («nabla») belgi Gamilton operatori deb ataladi.

Quvur va ochiq o'zanlardagi suyuqlik harakati kabi, filtratsiya muhitidagi suyuqlik harakati ham barqaror (vaqtga bog'liq bo'lmagan) va nobarqaror (vaqtga bog'liq bo'lgan) bo'ladi. Barqaror filtratsiyada ρ suyuqlik zichligi, v filtratsiya tezligi va m g'ovaklik qaraladigan har bir g'ovak muhit nuqtasida o'zgarmas bo'ladi va vaqtga bog'liq emasligi kelib chiqadi.

Unda barqaror filtratsiya ushbu

$$\frac{\partial(m\rho)}{\partial t} = 0$$

ko'rinishda bo'ladi va (2.4) uzluksizlik tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\left[\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z}\right] = 0, \quad (2.6)$$

yoki

$$\nabla(\vec{\rho v}) = 0.$$

Agarda deformatsiyalanmaydigan qatlamda siqilmaydigan suyuqlik filtratsiyalanayotgan bo'lsa

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad (2.6a)$$

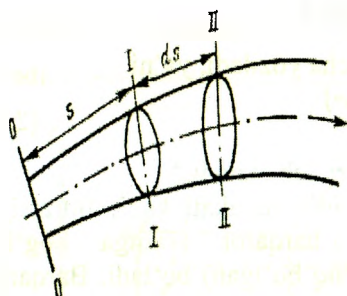
ifodaga ega bo'lamiz.

2.2. Harakatning differensial tenglamasi

Harakat qonuniyati sifatida Darsi qonunining chiziqli qonunini qabul qilib, g'ovak muhitdagi flyuidlar filtratsiyasini qaraymiz. Boshqa filtratsiya qonunlarini, masalan, Forxgeymer qonunini qo'llab, harakatning differensial tenglamasini chiqarish mumkin.

(2.8) yoki (2.9) ko'rinishdagi Darsi qonuni qatlam yoki o'zgarmas yuzali kesim namunasi uchun oxirgi ko'rinishda yozilgan. O'zgaruvchan kesim yuzali naycha uchun Darsi qonuni differensial ko'rinishda yoziladi.

Oqim naychasida ikki kesim ajratamiz (2.2 - rasm):



2.2-rasm. Oqim trubkasi.

birinchisi 0-0 boshlang'ich kesimdan S masofada. Flyuid harakati S koordinat o'sishi yo'nalishi tomon bo'l-sin. Kesimda S koordinata bilan $p^*(S, Z)$ keltirilgan bosimni belgilay-miz. $S+dS$ koordinatali kesimdagi bosim esa,

$$p^*(S+dS, t) = p^*(S, t) + \frac{\partial p^*}{\partial S} \cdot dS$$

bo'ladi.

(2.7) formuladan foydalanib,

$$v = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{p^*(S, t) - p^*(S+dS, t)}{dS} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{p^*(S, t) - \left[p^*(S, t) + \frac{\partial p^*}{\partial S} \cdot dS \right]}{dS}$$

yoki

$$v = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial S} \quad (2.7)$$

formulaga ega bo'lamiz. (2.7) formulaning o'ng tomonidagi maxsus belgi, harakat yo'nalishini ko'rsatadi, ya'ni $\partial p^* / \partial S < 0$ keltirilgan bosim gradiyenti manfiy. Qaraladigan nuqta atrofidagi hamma yo'nalishlarda k o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti o'zgarmasligini xarakterlovchi izotrop muhit uchun (2.7) formula o'rinli bo'ladi. Qatlamning nuqtasidan nuqtasiga o'tishda o'tkazuvchanlik o'zgarishi mumkin, ya'ni $k = k(x, y, z)$ (izotrop bir jinsli bo'lmagan model).

(2.7) tenglamani x, y, z koordinatalar o'qi bo'yicha proeksiyalarini yozamiz.

Agar koordinata o'qi bo'yicha birlik vektorlarni $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ bilan belgilasak, unda filtratsiya tezligi vektorini quyidagicha yozish mumkin:

$$\vec{v} = i v_x + j v_y + k v_z$$

(2.7) formulaning o'ng tomonidagi $\partial P^* / \partial s$ keltirilgan bosim, ya'ni $\partial p^* / \partial x, \partial p^* / \partial y, \partial p^* / \partial z$ tashkil etuvchilari bo'lgan vektorlar gradiyentini bildiradi:

$$\text{grad } P^* = \vec{i} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial p^*}{\partial z}$$

U vaqtda

$$\vec{v} = -\frac{k}{\mu} \text{grad } p^*, \quad (2.8)$$

yoki koordinat o'qi proyeksiyalarida

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial x} \\ v_y &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial y} \\ v_z &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Agar z o'q vertikal yuqoriga yo'nalgan bo'lsa, harakat differensial tenglamalari quyidagi ko'rinishni oladilar:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \\ v_y &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \\ v_z &= -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

yoki ushbu

$$\vec{v} = -\frac{k}{\mu} \left(\text{grad} p - \vec{\rho} g \right) \quad (2.11)$$

Ko'pincha g'ovak materiallardagi suyuqlik harakatini o'rganishda, oqim harakatlarida intensiv filtratsiya oqimlari bo'lgan ba'zi qulay yo'nalishli oqimlar kuzatiladi, ya'ni oqim yo'nalishlariga bog'liq holda filtratsiya xarakteristikalari o'zgaradi. Oqim yo'nalishiga bog'liq, o'zgaruvchanlik koeffitsiyentga ega g'ovak muhitni anizotrop muhit deyiladi. Bir jinsli Nyuton suyuqliklar filtratsiyasi faqat jinsning geometrik xarakteristikalari bilan ko'rsatiladi. Bu holda filtratsiyaning chiziqli qonuni, Darsi qonuniga nisbatan mukammal ko'rinishga ega bo'lib, filtratsiya tezligi va bosim gradiyenti vektorlari yo'nalishlari bo'yicha mos kelmasligi ko'rinadi.

2.3. Flyuid va g'ovak muhit parametrlarining bosimga bog'liqligi

Keltirib chiqarilgan (2.4) va (2.10) differensial tenglamalar ichida flyuid zichligi ρ , g'ovaklik koeffitsiyenti m , o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti k va flyud qovushoqligi μ bor. Keyingi hisoblarda bu koeffitsiyentlarning bosimga bog'liqligini bilish kerak bo'ladi. Izotermik protsessda bunday bog'lanish suyuqlik, gaz yoki ularning aralashmalari va qatlam holatini ifodalaydi.

Holat tenglamasini quyidagi ko'rinishda ko'rsatamiz:

$$\frac{\rho(p) k(p)}{\mu(p)} = \zeta(p), \quad (2.12)$$

bu yerda,

$$\zeta(p) = \frac{k\rho}{\mu} dp.$$

Agar suyuqlik (yoki gaz) bir fazali va o'tkazuvchanligi bo'yicha qatlam bir jinsli bo'lsa, k ko'paytma o'zgarmas bo'ladi. Ko'pgina masalalarni yechishda μ dinamik qovushoqlik koeffitsiyentini o'zgarmas deb qaraladi. Bu holda (2.12) suyuqlik zichligi va bosimini bog'lovchi ifoda bo'ladi:

$$\rho = \zeta(p) \quad (2.13)$$

(2.12) tenglamani ba'zi bir xususiy hollar uchun qo'llanishini qaraymiz.

1. G'ovak muhitda siqilmaydigan yoki bir jinsli flyuid harakatlanayotgan bo'lsin. Bunda zichlik o'zgarmas bo'ladi va (2.11) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\rho = \text{const} \quad (2.14)$$

2. Bir jinsli tomchili suyuqlik siqiluvchan va uning hajm o'zgarishi Guk qonuniga asosan sodir bo'ladi deb qaraymiz. Bunda suyuqlik siqilishini hisobga olish kerak bo'ladi. Tomchili suyuqlikni elastik deb qarab, uning siqilish qonunini quyidagicha yozish mumkin:

$$\beta_c = -\frac{1}{V_c} \cdot \frac{dV_c}{dp}, \quad (2.15)$$

bu yerda, V_c – suyuqlik hajmi; manfiy ishora bosim kamayishi bilan suyuqlik hajmi oshishini ko'rsatadi; dV_c – bosim dp o'zgarganda hajm o'zgarishi; β_c – ko'pincha qaraladigan suyuqlik (bosim va haroratga bog'lik emas) uchun o'zgarmas deb hisoblanadigan hajmiy siqilish koeffitsiyenti. Neft uchun hajmiy siqilish koeffitsiyenti $\beta_n = (7...30) \cdot 10^{-1} \text{ Pa}^{-1}$, qatlam suvlari uchun esa $\beta_s = (2,7...5) \cdot 10^{-1} \text{ Pa}^{-1}$.

$$V_c = \frac{M}{\rho}, \quad dV_c = -\frac{Md\rho}{\rho^2}$$

ifodalarni hisobga olib,

$$\beta_c = \frac{Md\rho / \rho^2}{(M/\rho) dp} = \frac{d\rho}{\rho dp} \quad (2.16)$$

ifodani hosil qilamiz.

Bunda $M - V_c$ hajmdagi suyuqlikning massasi. Yuqoridagi ifodani

$$\frac{dp}{\rho} = \beta_c dp \quad (2.17)$$

ko'rinishda yozamiz.

(2.16) va (2.17) ifodalar siqiluvchan tomchili suyuqliklarning holat tenglamasi bo'ladi. (2.17) tenglamani p_o va ρ_o qiymatdan p va ρ qiymatigacha integrallab

$$\rho = \rho_o e^{\beta_c(p-p_o)} = \rho_o e^{\frac{p-p_o}{K_c}} \quad (2.18)$$

ifodani hosil qilamiz. Bunda $\rho_{at} - \rho_{at}$ atmosfera bosimidagi zichlik, kg/s.m^3 ; $K_c = 1/\beta_c$ – suyuqlikning elastik moduli.