UDK 532.546:519.63

# O‘ZARO BOG‘LANGAN G‘OVAK QATLAMLARDA NOSTATSIONAR FILTRATSIYA MASALASI UCHUN CHEKLI AYIRMALI SXEMANING TURG‘UNLIGI VA YAQINLASHISHINI TADQIQ ETISH

**Yuldashev Baxtiyorjon Rayim o‘g‘li**
Andijon davlat universiteti, Registrator ofisi –
Xizmat ko‘rsatish bo‘limi boshlig‘i

**Annotatsiya.** Tezisda kam o‘tkazuvchan to‘siq orqali bog‘langan ikki qatlamli deformatsiyalanuvchi g‘ovak muhitda neft filtratsiyasi masalasi uchun oshkor va oshkormas chekli ayirmali sxemalarning turg‘unligi hamda yaqinlashishi hisoblash tajribalari asosida tadqiq etilgan. Oshkor sxemaning turg‘unlik chegarasi nazariy baho bilan 3 % aniqlikda mos kelishi, oshkormas sxema fazo bo‘yicha ikkinchi, vaqt bo‘yicha birinchi tartibda yaqinlashishi ko‘rsatilgan.

**Kalit so‘zlar:** chekli ayirmalar sxemasi, turg‘unlik, yaqinlashish tartibi, Pikar iteratsiyasi, ko‘p qatlamli qatlam, pyezoo‘tkazuvchanlik.

Ko‘p qatlamli neft konlarida kam o‘tkazuvchan to‘siq orqali o‘zaro dinamik bog‘langan qatlamlardagi nostatsionar filtratsiyani sonli modellashtirishda natijalarning ishonchliligi birinchi navbatda qo‘llanilgan ayirmali sxemaning turg‘unligi va yaqinlashishiga bog‘liq [1, 2]. G‘ovaklikning bosimga bog‘liqligi m(p) va o‘tkazuvchanlikning Kozeni–Karman bog‘lanishi k(m) hisobga olinganda masala nochiziqli bo‘lib, sxema koeffitsientlari izlanayotgan yechimga bog‘liq bo‘ladi [3, 5]. Shu sababli ishning **maqsadi** — bunday masala uchun oshkor sxemaning turg‘unlik chegarasini aniqlash va oshkormas sxemaning fazo, vaqt hamda iteratsiyalar bo‘yicha yaqinlashishini miqdoriy baholash.

**Masalaning qo‘yilishi va sxemalar.**

[1] da taklif etilgan model har bir qatlam uchun quyidagi tenglamalardan iborat:

$$\beta^* m_i(p_i)\cdot \partial p_i/\partial t = \partial/\partial x[k_i(p_i)/\mu \cdot \partial p_i/\partial x] \pm (\alpha/h_i)(p_2 - p_1),\ \ i = 1, 2, \qquad (1)$$

bu yerda $m(p) = m_0 \exp[\beta_c(p - p_0)]$, $\alpha = k_П/(\mu h_П)$. Parametrlar [1] dagidek olindi: $L = 5000$ m, $k_1/k_2 = 5/3$ mD, $k_П = 0{,}002$ mD, $\beta^* = 1{,}1\cdot 10^{-8}$ Pa$^{-1}$, $p_0 = 25$ MPa, $Q = 40$ m$^3$/sut, $T = 720$ sut.

Integro-interpolyatsion usul bilan [4] tugunlararo o‘tkazuvchanlik garmonik o‘rtacha bilan olingan konservativ sxema qurildi. Oshkor variantda m, k va almashinuv hadi oldingi vaqt qatlamida olinadi; oshkormas variantda ular Pikar iteratsiyasi bilan aniqlashtiriladi va ikkala qatlam tenglamalari 2N noma’lumli bitta tizim sifatida yechiladi. Oshkor sxema uchun maksimum prinsipidan quyidagi turg‘unlik sharti kelib chiqadi:

$$\tau \le h^2/(2\chi_{max}), \quad \chi_{max} = k_0/(\mu m_0 \beta^*). \qquad (2)$$

Almashinuv hadining hissasi $\alpha/(h_1 m_0 \beta^*) \approx 10^{-8}$ s$^{-1}$ tartibida bo‘lib, diffuziya hadidan ($2\chi_{max}/h^2 \approx 3{,}6\cdot 10^{-6}$ s$^{-1}$) ikki tartib kichik. Demak, turg‘unlikni amalda 1-qatlamning pyezoo‘tkazuvchanligi belgilaydi.



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

**Natijalar.**

1-jadvalda (2) shart bo'yicha hisoblangan va hisoblash tajribasida aniqlangan turg'unlik chegaralari solishtirilgan. Tajribada $\tau$ asta-sekin oshirilib, bosim profilida tebranish yoki yechim yemirilishi paydo bo'ladigan qadam qayd etildi.

1-jadval

**Oshkor sxemaning turg'unlik chegarasi (h = 25 m)**

| $m_0$ | $\chi_{max}$, $m^2/s$ | $\tau_{max}$ (2) bo'yicha, sut | Hisoblash tajribasi |
|---|---|---|---|
| 0,10 | $1{,}12\cdot10^{-3}$ | 3,23 | $\tau \le 3{,}2$ sut da turg'un; $\tau = 3{,}3$ sut da yechim yemiriladi |
| 0,30 | $3{,}74\cdot10^{-4}$ | 9,68 | $\tau \le 9{,}7$ sut da turg'un; $\tau = 9{,}9$ sut da tebranish, $\tau = 10{,}1$ sut da yemirilish |

Natijalar (2) baho amaliy chegarani 3 % dan yaxshi aniqlikda berishini ko'rsatadi. Kichik g'ovaklikda cheklov qattiqlashadi: N = 401 (h = 12,5 m) to'rda $m_0 = 0{,}10$ uchun $\tau \le 0{,}81$ sut, ya'ni 720 sutkani hisoblash uchun kamida 890 qadam kerak. Oshkormas sxema esa $\tau = 10$ sut da ham turg'un bo'lib, quduqdagi bosim xatosi 0,014 MPa (0,08 %), $\tau = 30$ sut da 0,042 MPa (0,24 %) ni tashkil etdi; bunda har bir qadamdagi iteratsiyalar soni 4 dan 5 ga oshdi.

2-jadval

**Oshkormas sxemaning fazo bo'yicha yaqinlashishi ($m_0 = 0{,}20$, $\tau = 1$ sut)**

| N | h, m | $p_1(0, 720)$, MPa | $\lvert p_N - p_{2N}\rvert$, MPa | Tartib |
|---|---|---|---|---|
| 51 | 100 | 18,0355 | 0,2252 | – |
| 101 | 50 | 17,8103 | 0,0596 | 1,92 |
| 201 | 25 | 17,7507 | 0,0151 | 1,98 |
| 401 | 12,5 | 17,7355 | 0,0038 | 1,99 |
| 801 | 6,25 | 17,7317 | 0,0010 | 2,00 |

2-jadvaldan yaqinlashish tartibi to'r maydalashgan sari 2 ga intilishi ko'rinadi; Richardson ekstrapolyatsiyasi bo'yicha N = 201 dagi xato 0,020 MPa ni tashkil etadi. Vaqt bo'yicha $\tau = 4; 2; 1; 0{,}5$



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

sut da natijalar ketma-ket 2,88; 1,44; 0,72 kPa ga farq qildi — bu oshkormas Eyler sxemasiga mos birinchi tartibli yaqinlashishdir. Pikar iteratsiyasi uchun aniqlik $\varepsilon = 10^{-9}$ dan $10^{-6}$ gacha yumshatilganda o‘rtacha iteratsiyalar soni 4,0 dan 2,6 ga kamaydi, natija esa 0,3 Pa dan kam o‘zgardi.

**Xulosa.**

1. O‘zaro bog‘langan ikki qatlamli deformatsiyalanuvchi muhit uchun oshkor sxemaning turg‘unligini 1-qatlam pyezoo‘tkazuvchanligi belgilaydi, (2) shart amaliy chegarani 3 % aniqlikda baholaydi.

2. Pikar iteratsiyali oshkormas sxema shartsiz turg‘un bo‘lib, fazo bo‘yicha ikkinchi, vaqt bo‘yicha birinchi tartibda yaqinlashadi.

3. Muhandislik hisoblari uchun $N \geq 201$, $\tau \leq 10$ sut va $\varepsilon = 10^{-6}$ tavsiya etiladi: bunda quduqdagi bosim xatosi 0,1 % dan oshmaydi, hisoblash hajmi esa oshkor sxemaga nisbatan bir necha marta kichik.

## ADABIYOTLAR

1. Yuldashev B.R. O‘zaro dinamik bog‘langan g‘ovak muhitda neft bosimining g‘ovaklik koeffitsientiga bog‘liq o‘zgarishini sonli modellashtirish // Ilm-fan xabarnomasi. – 2026. – Vol. 16, № 1. – B. 1415–1420. – DOI: 10.5281/zenodo.23296737.
2. Nematov A., Makhmudova M., Nazirov A. va boshq. Numerical modeling of the filtration process in dynamically interconnected multilayer gas fields // Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies. – 2025. – Vol. 3, № 2. – P. 75–83.
3. Pedrosa O.A. Pressure transient response in stress-sensitive formations // SPE California Regional Meeting. – Oakland, 1986. – SPE-15115-MS.
4. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с.
5. Kim J., Tchelepi H.A., Juanes R. Stability, accuracy, and efficiency of sequential methods for coupled flow and geomechanics // SPE Journal. – 2011. – Vol. 16, № 2. – P. 249–262.



© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.