UDK 532.546:519.63

G'OVAKLIK KOEFFITSIENTINING BOSIMGA CHIZIQLI BO'LMAGAN BOG'LIQLIGINI HISOBGA OLUVCHI FILTRATSIYA JARAYONINI HISOBLASH ALGORITMI VA DASTURIY TA'MINOTINI ISHLAB CHIQISH

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

Annotatsiya. Tezisda ikki qatlamli deformatsiyalanuvchi g'ovak muhitda neft filtratsiyasini g'ovaklikning bosimga eksponensial bog'liqligi va Kozeni–Karman bog'lanishi bilan modellashtirish uchun hisoblash algoritmi hamda Python tilidagi dasturiy ta'minot tavsiflangan. Noma'lumlarni qatlamlar bo'yicha navbatlab tartiblash tizim matritsasini beshdiagonalli lentali ko'rinishga keltirdi va NumPy vektorlashtirish bilan birgalikda hisoblashni 4–14 marta tezlashtirdi.

Kalit so'zlar: hisoblash algoritmi, dasturiy ta'minot, lentali matritsa, vektorlashtirish, Pikar iteratsiyasi, deformatsiyalanuvchi kollektor.

Deformatsiyalanuvchi ko'p qatlamli kollektorlarda filtratsiyani modellashtirishda nochiziqli koeffitsientlar har bir vaqt qadamida bir necha marta qayta hisoblanadi, shu sababli algoritmning hisoblash samaradorligi va dasturiy ta'minotning tuzilishi amaliy ahamiyatga ega [1, 2]. Ishning **maqsadi** — [1] da taklif etilgan model uchun samarali hisoblash algoritmini ishlab chiqish va uni modulli dasturiy ta'minot sifatida amalga oshirish.

Matematik asos.

Model kam o'tkazuvchan to'siq orqali bog'langan ikki qatlam uchun nostatsionar filtratsiya tenglamalaridan iborat [1]. Masalaning nochiziqliligi quyidagi bog'lanishlar orqali kiradi:

$$m(p) = m_0 \exp[\beta_c (p - p_0)], \quad (1)$$

$$k(m) = k_0 (m/m_0)^3 \cdot [(1 - m_0)/(1 - m)]^2. \quad (2)$$

Tenglamalar integro-interpolyatsion usul bilan oshkormas sxemaga keltiriladi [3], tugunlararo o'tkazuvchanlik garmonik o'rtacha bilan olinadi.

Hisoblash algoritmi.

Har bir vaqt qadamida quyidagi amallar bajariladi:

1. Boshlang'ich yaqinlashish sifatida oldingi qatlamdagi bosim olinadi: $p^{(0)} = p^n$.
2. Joriy $p^{(s)}$ bo'yicha (1), (2) formulalar va tugunlararo o'tkazuvchanliklar butun to'r uchun massiv amallari bilan bir yo'la hisoblanadi.
3. Ikkala qatlam va almashinuv hadini o'z ichiga olgan 2N noma'lumli chiziqli tizim yig'iladi va yechiladi.
4. $\max|p^{(s+1)} - p^{(s)}|/p_0 < \varepsilon$ sharti tekshiriladi; bajarilmasa 2-qadamga qaytiladi.
5. Quduqdagi bosim, bosim va g'ovaklik profillari, oqib o'tish ulushi va massa balansi saqlanadi.

Algoritmning asosiy g'oyasi 3-qadamga tegishli. Agar noma'lumlar avval 1-qatlam, so'ng 2-qatlam bo'yicha tartiblansa, almashinuv hadi bosh diagonaldan N masofadagi elementlarni beradi va umumiy siyrak yechuvchi talab qilinadi. Noma'lumlar ($p_{1,1}$, $p_{2,1}$, $p_{1,2}$, $p_{2,2}$, …) tartibida navbatlab joylashtirilsa,

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

matritsa pastki va yuqori kengligi 2 ga teng beshdiagonalli lentali matritsaga aylanadi va LAPACK lentali yechuvchisi (scipy.linalg.solve_banded) bilan O(N) amalda yechiladi [5].

Dasturiy ta'minot.

Dastur Python 3 tilida NumPy [4] va SciPy [5] kutubxonalari asosida beshta moduldan tuzildi: params — qatlam, flyuid va to'r parametrlarini kiritish; model — (1), (2) bog'lanishlar va almashinuv koeffitsienti; solver — matritsani yig'ish, Pikar iteratsiyasi va lentali yechish; post — grafiklar, jadvallar va natijalarni CSV/Excel formatiga eksport qilish; verify — massa balansi va to'r bo'yicha yaqinlashish testlari. Modullar bir-biridan ajratilgani sababli bog'lanishlarni (masalan, g'ovaklikning chiziqli modelini) faqat model modulini o'zgartirib almashtirish mumkin.

1-jadval

Dastur versiyalarining hisoblash vaqti ($T = 720$ sut, $\tau = 1$ sut, $m_0 = 0{,}20$)

N	Noma'lumlar soni	Sikl + umumiy siyrak yechuvchi, s	Vektorlashtirish + lentali yechuvchi, s	Tezlanish
51	102	2,06	0,50	4,1
101	202	3,37	0,63	5,4
201	402	7,50	0,91	8,2
401	802	14,17	1,26	11,2
801	1602	26,93	1,92	14,0

Izoh: hisoblar bitta protsessor yadrosida bajarildi; vaqt dasturning to'liq ishlash vaqti.

1-jadvaldan ko'rinadiki, birinchi versiyada hisoblash vaqti to'r tugunlari soniga deyarli proporsional oshadi, takomillashtirilgan versiyada esa N 16 marta oshganda vaqt atigi 3,8 marta ortadi. Ikkala versiya $m_0 = 0{,}20$ uchun bir xil natija berdi: $p_1(0, 720) = 17{,}751$ MPa, $p_2(0, 720) = 23{,}487$ MPa (farq 10^{-12} MPa dan kichik), bu [1] dagi qiymatlarga to'la mos keladi. Pikar iteratsiyasi har bir qadamda o'rtacha 4 ta iteratsiyada yaqinlashdi, o'zgarmas g'ovaklik holatida massa balansi xatosi 10^{-10} % dan oshmadi.

Xulosa.

1. G'ovaklikning bosimga chiziqli bo'lmagan bog'liqligini hisobga oluvchi ikki qatlamli filtratsiya masalasi uchun Pikar iteratsiyasiga asoslangan hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

2. Noma'lumlarni navbatlab tartiblash tizimni beshdiagonalli lentali ko'rinishga keltiradi va NumPy vektorlashtirish bilan birgalikda hisoblashni 4–14 marta tezlashtiradi, tezlanish to'r maydalashgan sari ortadi.

3. Modulli dasturiy ta'minot ko'p qatlamli konlarda quduq rejimini tanlash, kollektor parametrlarining ta'sirini tez baholash va o'quv jarayonida filtratsiya masalalarini namoyish qilish uchun qo'llanilishi mumkin.

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

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. Aziz K., Settari A. Petroleum Reservoir Simulation. – London: Applied Science Publishers, 1979. – 476 p.
3. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1989. – 616 с.
4. Harris C.R., Millman K.J., van der Walt S.J. va boshq. Array programming with NumPy // Nature. – 2020. – Vol. 585. – P. 357–362.
5. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T.E. va boshq. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python // Nature Methods. – 2020. – Vol. 17. – P. 261–272.

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