GAZ KONLARI GIDRODINAMIK PARAMETRLARNING O‘ZGARISHINI HISOBGA OLUVCHI FILTRATSIYA MASALASINI YECHISH ALGORITMI

Gulstan Artikbayeva
Xorazm Ma’mun akademiyasi, PhD
Email: gulstan2202@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada gaz konlarining bir jinsli bo‘lmagan g‘ovak muhitlarida gazlarning filtratsiya jarayonini matematik modellashtirishga, gaz konlarini o‘zlashtirishning gidrodinamik parametrlarini hisoblash uchun sonli modellashtirishga asoslangan algoritm ishlab chiqilishi va qatlamdagi filtratsion jarayonni tadqiq qilish ko‘rib chiqilgan. Ishlab chiqilgan algoritm dastur yaratishda asos bo‘lib hizmat qiladi Ushbu yondashuv hisob-kitoblarning ishonchliligini oshiradi, sonli natijalarni turli grafik formatlarda aniq vizuallashtirish imkonini beradi hamda filtratsiya jarayonini chuqurroq tushunishga zamin yaratadi.

Kalit so‘zlar: algoritm, g’ovak muhit, gaz, bosim, filtratsiya

Abstract. This article discusses the development of a numerical simulation-based algorithm for calculating key gas field development parameters. This algorithm is based on mathematical modeling of gas filtration in heterogeneous porous media of gas fields and the study of in-situ filtration. The developed algorithm forms the basis for the development of the program. This approach improves the reliability of calculations, enables accurate visualization of numerical results in various graphical formats, and provides a foundation for a deeper understanding of the filtration process.

Keywords: algorithm, porous media, gas, pressure, filtration

Аннотация. В данной статье рассматривается разработка алгоритма на основе численного моделирования для расчета основных параметров разработки газовых месторождений, основанного на математическом моделировании процесса фильтрации газов в неоднородных пористых средах газовых месторождений и исследовании процесса фильтрации в пласте. Разработанный алгоритм положен в основу создания программы. Такой подход повышает надежность расчетов, позволяет осуществлять точную визуализацию численных результатов в различных графических форматах и создает основу для более глубокого понимания процесса фильтрации.

Ключевые слова: алгоритм, пористая среда, газ, давление, фильтрация

1. Kirish

Gaz qazib olish jarayonida qatlamlarning gidrodinamik parametrlarini aniqlash uchun g‘ovak muhitdagi chegaraviy masalalarning avtomatlashtirilgan holda yechimini topish, ya’ni konlarning gidrodinamik xususiyatlarini aniqlashga

ISSN 3030-3907

yo‘naltirilgan filtratsiya jarayonlarini tahlil qilish, ishonchliroq natijalarga erishish va filtratsiya dinamikasini tezroq bashorat qilish imkonini beradi. Shu sababli, g‘ovak muhitda gaz filtratsiya jarayonlarini o‘rganish uchun avtomatlashtirilgan tizimlarni ishlab chiqish va samarali joriy etish alohida ahamiyat kasb etadi.

Ko‘p o‘lchovli gaz filtratsiyasi muammolarini hal qilish uchun barqaror hisoblash sxemalari, algoritmlar va dasturiy paketlarni yaratish, faqatgina sonli natijalarning ishonchliligini oshirib qolmay, balki umumiy hisoblash jarayonini ham tezlashtiradi. Shunday algoritmlar asosida yaratilgan dasturiy ta'minot gaz konlarini o‘zlashtirishdagi asosiy ko‘rsatkichlarni tahlil qilish va bashorat qilishni yaxshilaydi hamda izchil va ishonchli natijalarga erishishni ta'minlaydi. G‘ovak muhitda gaz filtratsiyasi jarayonlarining murakkabligi ishlab chiqilayotgan hisoblash algoritmlari va dasturiy modullarning universalligi hamda moslashuvchanligini talab qiladi [1-5].

2. Masalaning qo‘yilishi

G‘ovaklikning bosimga bog‘liq o‘zgarishi jarayonini ifodalovchi gaz filtiratsiya chegaraviy masalasi matematik modelini o‘lchovsiz ko‘rinishda quyidagicha yozamiz:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial x}\left(kh\dfrac{\partial P^2}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(kh\dfrac{\partial P^2}{\partial y}\right)=mh\dfrac{\partial P}{\partial \tau}+Q, \quad (x,y)\in G \\ m=m_0\left[1+\beta_c\left(P-P_H\right)\right], \qquad (x,y)\in G,\ \ \tau>0. \end{cases}$$

Masalaning boshlang‘ich va chegaraviy shartlari quyidagicha:

$$P\left(x,y,t_0\right)=P_H\left(x,y\right), \quad \tau=0, \quad (x,y)\in G,$$

$$\begin{cases} -k\dfrac{\partial P}{\partial x}=\alpha\left(P_A-P\right), \quad x=0; \quad \tau>0; \\ k\dfrac{\partial P}{\partial x}=\alpha\left(P_A-P\right), \quad x=1; \quad \tau>0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} -k\dfrac{\partial P}{\partial y}=\alpha\left(P_A-P\right), \quad y=0; \quad \tau>0; \\ k\dfrac{\partial P}{\partial y}=\alpha\left(P_A-P\right), \quad y=1; \quad \tau>0. \end{cases}$$

Chegaraviy masalani hal etish jarayonida uzluksiz fizikaviy soha diskretlashtirilib, hisoblash to‘ri shakllantirildi hamda yechim kvazichiziqli yondashuv, chekli-ayirmali usul va iteratsion usullar kompleks qo‘llanilishi orqali

ISSN 3030-3907

amalga oshirildi. Shunga asosan ishlab chiqilgan sonli model negizida hisoblash algoritmi va unga mos dasturiy ta’minot kompleksi ishlab chiqiladi [6-8].

3. Hisoblash algoritmi

Ishlab chiqilgan sonli model asosida, g‘ovak muhitdagi gaz filtratsiya jaraytonining ikki o‘lchovli chegaraviy masalasi o‘zgaruvchan yo‘nalishlar sxemasi (alternating direction scheme) yordamida ikkita, *x* va *y* yo‘nalish bo‘yicha, chekli ayirmali masalaga keladi va "progonka" usuli (tridiagonal matrix algorithm) orqali hal qilindi [9, 10]. Har bir yo‘nalishda, ya’ni yarim vaqt qatlamida, bosim funksiyasi iteratsion tarzda hisoblab chiqiladi.

Hisoblash har bir vaqt qatlamida ikki bosqichda amalga oshiriladi:

1-bosqich. Algoritmning birinchi bosqichi gaz konini o‘zlashtirishning asosiy parametrlarini aniqlashga yo‘naltirilgan bo‘lib, *x* o‘zgaruvchisi yo‘nalishi bo‘yicha *l+0.5* vaqt qatlamidagi bosim funksiyasi qiymatlarini hisoblash yo‘li bilan amalga oshiriladi. Bu bosqichda *x* o‘zgaruvchisi yo‘nalishi bo‘yicha haydash (progonka) usuli qo‘llaniladi va quyidagi amallar ketma-ketlikda bajariladi:

- g‘ovaklik koeffitsiyentini qiymati yangi vaqt qatlami uchun hisoblanadi;
- (2.13) chekli ayirmali tenglamasining

$$a_{i,j}, b_{i,j}, c_{i,j}, d_{i,j} \quad \left(i = \overline{1,2..,N-1};\ \ j = \overline{0,M}\right)$$

koeffitsiyentlari aniqlanadi (hisoblanadi);

- $\alpha_{0,j}, \beta_{0,j}$ haydash usuli koeffitsiyentlarining boshlang‘ich qiymatlari bo‘lib diskret filtratsiya sohasi chap qismining chegara shartlaridan aniqlanadi, ya’ni (2.13) tenglamalar tizimining birinchi tenglamasidan;

$$\alpha_{0,j} = \frac{b_{1,j} - 4c_{1,j}}{a_{1,j} - (3 - 2\Delta x)c_{1,j}}, \qquad \beta_{0,j} = \frac{d_{1,j}}{a_{1,j} - (3 - 2\Delta x)c_{1,j}}.$$

- $\alpha_{i,j}$ va $\beta_{i,j}$ $\left(i = 1,2,..,N-1\right)$

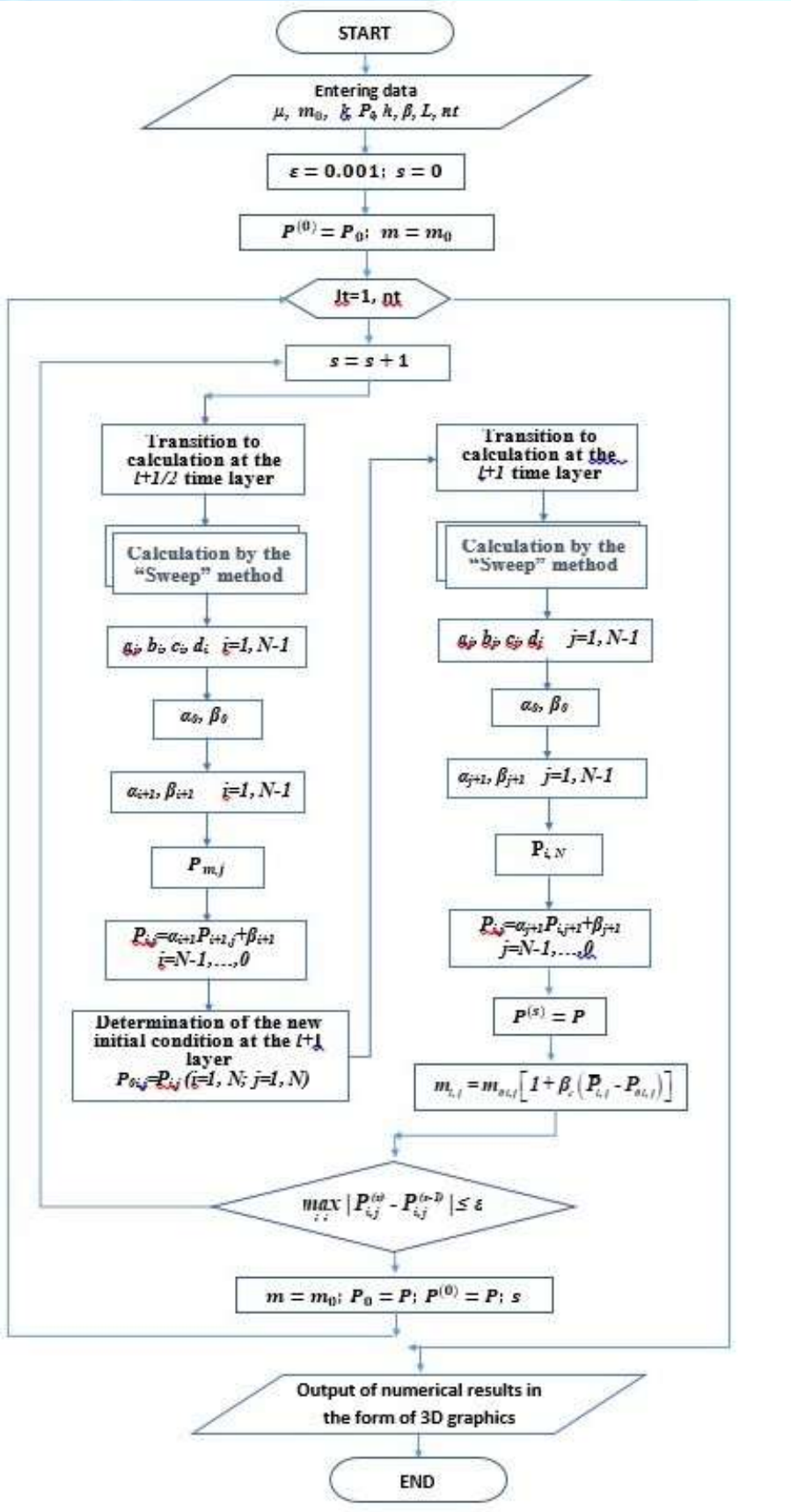
haydash usuli koeffitsiyentlarining qiymatlari hisoblanadi;

$$\alpha_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{b_{i,j} + a_{i,j}\alpha_{i-1,j-1}}, \qquad \beta_{i,j} = \frac{a_{i,j}\beta_{i-1,j-1} + d_{i,j}}{b_{i,j} + a_{i,j}\alpha_{i-1,j-1}}.$$

- $\overline{P}_{N,j}$ bosim funksiyasining oxirgi qiymati diskret filtratsiya sohasining o‘ng tomon chegara shartlaridan foydalanish orqali va (2.13) tenglamalar tizimining uchinchi tenglamasidan aniqlanadi.

$$\overline{P}_{N,j} = \frac{\left(d_{N,j} + a_{N,j}\beta_{N-1,j}\right)}{\left(b_{N,j} - \alpha_{N-1,j}a_{N,1}\right)}.$$

ISSN 3030-3907



1-rasm. Gaz konlarini rivojlantirishdagi asosiy ko‘rsatkichlarni hisoblash algoritmining blok-sxemasi va "progonka" usuli moduli.

ISSN 3030-3907

- $\overline{P}_{i,j}$ bosim funksiyasining qiymatlari teskari yo‘nalishda oddiy haydash usuli bilan hisoblanadi.

$$\overline{P}_{i,j} = \alpha_{i,j}\overline{P}_{i+1,j} + \beta_{i,j}.$$

2-bosqich. Ikkinchi bosqich yuqoridagi kabi y o‘zgaruvchisi yo‘nalishi bo‘yicha vaqt qatlamining $l+1$ oraliqlarida amalga oshiriladi. Bosim funksiyasi uchun iteratsion jarayon belgilangan yaqinlashuv (konvergentsiya) sharti bajarilguncha davom ettiriladi. Agar bu shart bajarilmasa, bosqich qayta takrorlanadi.

$$\left|P_{ij}^{(s)} - P_{ij}^{(s-1)}\right| \le \varepsilon .$$

Har bir vaqt qatlamida birinchi va ikkinchi bosqich algoritmlari takrorlanadi. Bunday holda, olingan har bir yechim keyingi vaqt bosqichi uchun boshlang‘ich shart bo‘lib xizmat qiladi. Sonli yechim algoritmining blok chizmasi 1 - rasmda ko‘rsatilgan.

Bosimga bog‘liq g‘ovaklikni hisobga olgan holda gaz filtratsiyasi masalasini yechish uchun taklif etilgan ushbu algoritm, g‘ovak muhitda sodir bo‘ladigan noustuvor (no-statsionar) gaz filtratsiya jarayonlarini tahlil qilishda asosiy ko‘rsatkichlar bo‘yicha hisoblash tajribalarini sezilarli darajada tezlashtiradi. Ushbu tizimdan foydalanish gaz konlarini o‘zlashtirish samaradorligini oshiradi hamda ularni ishlab chiqarishga tayyorlash va loyihalash jarayonlarini ancha tezlashtiradi.

Ushbu blok-sxema gaz konini o‘zlashtirish jarayonida asosiy parametrlarni hisoblash algoritmining bosqichma-bosqich jarayonini ko‘rsatadi. Algoritm foydalanuvchi tomonidan kiritilgan dastlabki ma’lumotlardan boshlanib, iteratsion jarayonlar orqali bosim va g‘ovaklik koeffitsientlarini yangilaydi, har bir vaqt qatlamida "progonka" usuli yordamida ikki o‘lchovli hisoblashlarni bajaradi va natijalarni 3D grafik shaklida chiqaradi.

Xulosa

Ishlab chiqilgan algoritm va dasturiy ta’minot nafaqat faol ishlayotgan, balki yangi ishga tushirilayotgan gaz quduqlarini ham kompleks tarzda o‘rganish imkonini beradi. Ushbu tizim real vaqtda hisoblash tajribalarini amalga oshirish hamda kon haqidagi ishonchli ma’lumotlarni olish imkoniyatini taqdim etadi. Algoritm asosida ishlab chiqilgan dastur foydalanuvchilarga g‘ovak muhitdagi gaz filtratsiyasi masalalarini hal etishda asosiy ko‘rsatkichlar bo‘yicha turli hisoblash tajribalarini o‘tkazish, natijalar asosida tahlillar va prognozlar qilish, shuningdek ilmiy tadqiqotlarni olib borish imkonini beradi.

Minnatdorchilik

Ushbu tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi Davlat Byudjeti tomonidan moliyalashtirilgan.

ISSN 3030-3907

ADABIYOTLAR

1. E. Nazirova, A. Nematov, Sh. Ismailov, G. Artikbayeva, *Method and Algorithm for the Numerical Solution of the Filtration Problem of Changing Porosity Depending on Gas Pressure in a Porous Medium* // AIP Conference Proceedings. Samarkand, 2024, vol. 3244, pp. 020010-1 - 020010-9.
2. A. Nematov, Sh. Ismailov, G. Artikbaeva, *Numerical Simulation of the Boundary Problem of Filtration in Two-Layer Porous Media with Changing Porosity Coefficient Depending on Pressure* // IEEE 3rd International Conference on Problems of Informatics, Electronics and Radio Engineering (PIERE), Novosibirsk, Russian Federation, 2024, pp. 920-925.
3. Э. Ш. Назирова, А. Неъматов, Ш. Исмаилов, Г. К. Артикбаева "Математическое моделирование фильтрации газа с учетом изменения пористости породы в зависимости от давления». Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2024. – №2(56). – С. 58-71.
4. Н. Равшанов, А. Неъматов, Г. К. Артикбаева, Ш. Исмаилов «Математическое моделирование процесса изменения коэффициента пористости в зависимости от давления в динамически связанных газовых слоях». Проблемы механики, №3, 2024, -с. 44-57.
5. S. N. Zakirov, B. B. Lapuk // *Design and development of gas fields*. Nauka, Moscow, 1974, 376 p.
6. B. B. Lopukh, *Algorithmic Methods in Oil-Gas Flow Simulation* // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004, vol. 42(3–4), pp.121–130.
7. V. L. Sergeev, T. H. Nguyen, Q. D. Vu // *Models and algorithms for identification of oil and gas reservoirs by the adaptive method of deterministic pressure moments*, Dokladi TUSUR, 2018, vol. 21, N4, pp. 109-115, DOI: 10.21293/1818-0442-2018-21-4-109-115
8. R. Bellman, and R. Kalaba, *Quasilinearization and Nonlinear Boundary-Value Problems* // American Elsevier Publishing Company, New York, 1965.
9. N. Ravshanov, E. Sh. Nazirova, A. Ne'matov, *Mathematical model and numerical algorithm for solving problems of gas filtration in two formation porous media with a low-permeability jumper* // Journal of Problems of Computational and Applied Mathematics, 2020, vol. 3 (27). pp. 20–39.
10. A. Nematov, E. Sh. Nazirova, *Development of a computational algorithm and software for studying the main indicators of oil fields on a computer* // Problems of Computational and Applied Mathematics, Tashkent, 2015, No. 2. pp. 12-18.

ISSN 3030-3907