

ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРОВИХ ПОХІДНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЇ ГАЗУ

Назарій Лопух¹, Ярослав П'янило²

^{1,2}Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, м. Львів,
¹lopuh.nazar@gmail.com, ²danylo794@gmail.com

Актуальною задачею є адаптація методу дробових похідних для моделювання фільтраційних процесів у тріщинувато-пористих середовищах і створення нелінійних математичних моделей дробових похідних, що дозволяють вирішити цю проблему. Формування таких моделей дасть можливість точніше прогнозувати обсяги видобутку газу з резервуарів із природною тріщинуватістю, а також моделювати вплив різних технологічних підходів на резервуар, які значно змінюють його структуру.

У реальних умовах наявність тріщин у пористому середовищі часто моделюється через просторово змінний коефіцієнт пористості. Однак під час моделювання фільтрації газу в таких середовищах можливе застосування ефекту дробових похідних. Визначення параметрів цих похідних за простором є непростим завданням. Створення таких моделей дозволить більш точно прогнозувати обсяги газовидобутку в формаціях із природною тріщинуватістю.

Процес масообміну в пористому середовищі аналізується шляхом дослідження фільтрації газу та рідини, яка може бути описана рівнянням, що містить дробову похідну за простором [1, 2].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{kh}{\mu z} \frac{\partial^{\beta_x}}{\partial x^{\beta_x}} (p^2) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{kh}{\mu z} \frac{\partial^{\beta_y}}{\partial y^{\beta_y}} (p^2) \right) = 2mh \left(\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{z} \right) + 2qp_{at} \right). \quad (1)$$

У рівнянні (1) $\beta_x, \beta_y \in (0, 2]$ це значення порядків дробових похідних за координатами x та y , що описують природу нестационарного процесу фільтрації.

Тріщинуватість середовища може бути визначено через коефіцієнт проникності, або за допомогою просторових похідних дробового порядку

$\frac{\partial^{\beta_x} p}{\partial x^{\beta_x}}, \frac{\partial^{\beta_y} p}{\partial x^{\beta_y}}$. Існують різні варіанти до встановлення взаємозв'язку між

такими підходами. У цій роботі акцент зроблено на аналізі числових експериментів, які підтверджують обґрунтованість застосування підходу використання дробової похідної.

Досліджується проблема узгодження взаємозалежностей між тисками газу і проникності. Вибір параметрів β_y and β_x залежить як від фактичної проникності середовища, так і від розподілу тиску газу у досліджуваній області.

У контексті супердифузії розподіл значень коефіцієнта проникності відіграє вирішальну роль. Трагування його як постійного у традиційному підході призводить до дисбалансу обсягу газу. Щоб уникнути таких конфліктів, схема Грюнвальда[2] коригує коефіцієнти проникності в геометричних зонах, де існують значні відмінності тисків газу. Здійснюється така схема на кожній процедурній ітерації у МСЕ [2].

У проведених експериментах розглядаються різні випадки форм тріщиноватого середовища, та різні положення тріщинуваних зон відносно ділянки видобутку газу. Експерименти підібрані таким чином, щоб візуально відчуті ефект впливу тріщинуватості області на перебіг нестационарного процесу. Різні типи геометричних моделей пористих середовищ зроблених для числових експериментів по різному проявляють ефекти субдифузії та супердифузії.

Усі моделі фільтрації, розроблені у цьому дослідженні, відносяться до категорії рівнянь аномальної дифузії [3]. Аналіз обчислювальних експериментів виявляє залежність результатів від вибору параметрів, пов'язаних із порядком похідної за простором. Система сховища газу підтримує газовий баланс протягом всього періоду експлуатації. Експериментальні результати підтверджують поведінку тиску газу в пористих середовищах в умовах нетрадиційної фільтрації.

1. Lopuh N. B, Pyanylo Ya. D. Numerical analysis of models with fractional derivatives for gas filtration in porous media // Journal of Coupled Systems and Multiscale Dynamics – 2014. – 2, No. 1. – P. 15-19.
2. Lopuh, N., Pyanylo, Y. Numerical model analysis of atypical gas filtration in a porous medium // 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2022, 2022, pp. 1–4
3. Ciesielsk M., Leszczynski J. Numerical simulations of anomalous diffusion // CMM 2003 Conference Gliwice/Wisla Poland, June 3-6, 2003, (5pp).

SELECTION OF SPATIAL DERIVATIVE PARAMETERS FOR GAS FILTRATION MODELING

The article describes methods for modeling gas filtration in porous media, taking into account fractured zones. Corresponding numerical experiments have been conducted. The results of the experiment confirmed the behavior of the gas pressure in the presence of atypical filtering. It is found that the order the fractional derivative can serve as the parameter adaptation of the mathematical model.