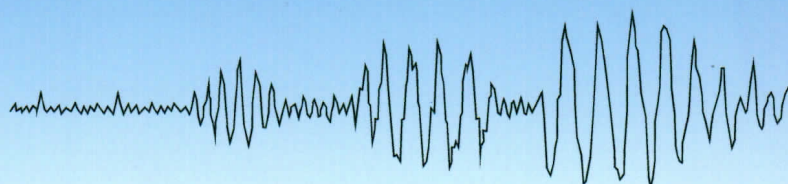
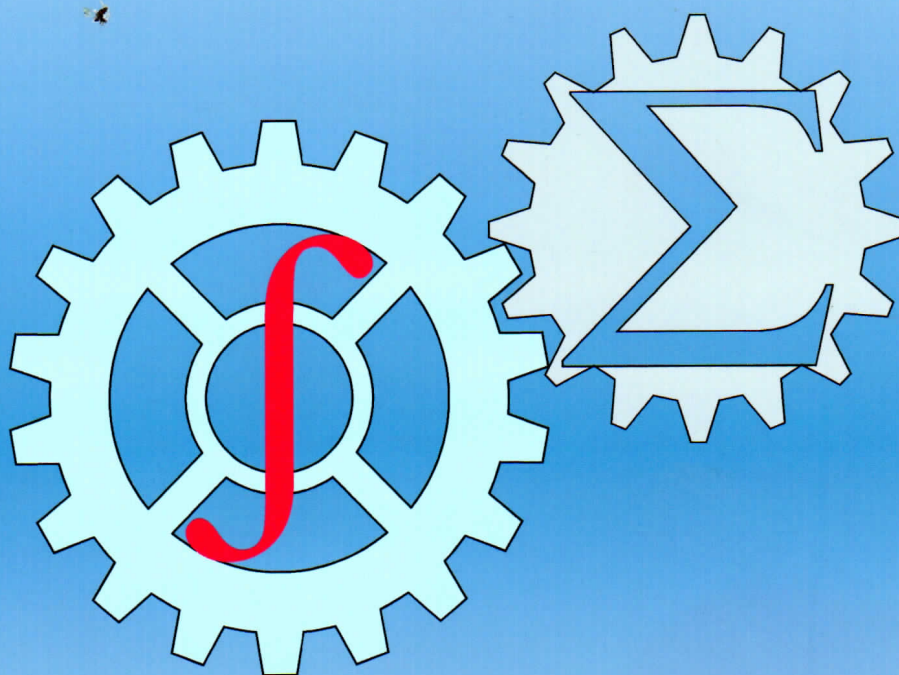


# МЕХАНИКА МУАММОЛАРИ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ PROBLEMS OF MECHANICS



**2023**  
Volume 32  
No: 1

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

MEXANIKA  
MUAMMOLARI

O‘ZBEKISTON  
JURNALI

$\frac{1}{2023}$

УЗБЕКСКИЙ  
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ  
МЕХАНИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.*

Ташкент – 2023

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АНОМАЛЬНОГО ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА ВО ФРАКТАЛЬНОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ ДРОБНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

Хужаёров Б.Х., Холлиев Ф.Б.

Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

E-mail: b.khuzhayorov@mail.ru; surxon88@bk.ru

**Аннотация:** Показано, что процесс аномального переноса вещества в пористой среде моделируется дифференциальными уравнениями с дробной производной. Поставлена и численно решена задача переноса вещества в двухзонной пористой среде, состоящей из макро- и микропор. Определены профили изменения концентраций взвешенных частиц в макропоре и микропоре. Оценено влияние порядка производной по координате и времени, т.е. фрактальной размерности среды, на характеристики переноса вещества в обеих зонах.

**Ключевые слова:** аномальный перенос; дробная производная; диффузия вещества; пористая среда; фильтрация.

**Введение.** Сложные траектории частиц жидкости и вещества в агрегатах, трещинах и пористых блоках вызывают аномальный перенос, и обычное уравнение конвективного переноса не может адекватно описать аномальный перенос. Поэтому такие среды можно назвать фрактальными средами. В последнее время значительно усилился интерес исследователей к аномальному переносу веществ. В первую очередь, это продиктовано актуальностью проблемы с точки зрения приложений в различных отраслях промышленности и техники. С другой стороны, есть много нерешенных теоретических вопросов, в частности, не до конца выяснен вопрос влияния аномального характера переноса на гидродинамические показатели [1, 2]. Математические модели широко используются при проектировании и анализе процессов переноса вещества в пористых средах [3, 4]. Если пористая среда неоднородна (на микро- и макроуровне), процесс переноса вещества может быть аномальным, т. е. перенос вещества не подчиняется закону Фика [5–7]. В большинстве случаев неоднородная среда имеет фрактальную размерность, и закон Фика также записывается в виде дробной производной, зависящей от фрактальной размерности среды. Это подтверждает, что процесс переноса вещества протекает аномально. Уравнения массопереноса на основе закона Фика с дробными производными имеют вид дифференциальных уравнений с дробными производными [8–12]. Такие уравнения еще недостаточно изучены. Уравнения изучены лишь в некоторых простых случаях. Решение уравнений дробных производных методом конечных разностей также имеет свои трудности [13, 14].

Породы многих нефтяных месторождений, как правило, являются неоднородными как в микроскопическом, так и макроскопическом масштабе. Типичным примером неоднородных пористых сред являются агрегированные и трещиновато-пористые среды [15–17].

Уравнения переноса вещества во фракталах впервые были предложены в [18]. В трещиновато-пористых средах уравнения переноса были проанализированы в [20–21]. Показано, что порядок дробной производной в уравнениях зависит от фрактальной размерности среды.

В данной статье изучается процесс аномального переноса веществ в неоднородной, двухзонной среде, где происходит массообмен между зонами. В зоне с неподвижной жидкостью процесс переноса описывается кинетическим уравнением, где в отличие от других известных работ учитывается аномальность процесса. В зоне с подвижной жидкостью используется конвективно-диффузионное уравнение с учетом аномальности диффузионного процесса. Поставлена и численно решена задача переноса веществ в одномерной полубесконечной среде. Оценено влияние аномальности диффузионного

переноса и кинетики массопереноса в зоне с неподвижной жидкостью на характеристики переноса.

**Постановка задачи.** Среда состоит из двух зон: мобильной, т.е. пористая среда, где жидкость мобильна, и неподвижной, где жидкость неподвижна, но происходит диффузионный перенос вещества.

Уравнения переноса вещества имеют следующий вид:

$$\theta_m \frac{\partial c_m}{\partial t} + \gamma \theta_{im} \frac{\partial^\alpha c_{im}}{\partial t^\alpha} = \theta_m D_m \frac{\partial^\beta c_m}{\partial x^\beta} - v_m \theta_m \frac{\partial c_m}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\gamma \theta_{im} \frac{\partial^\alpha c_{im}}{\partial t^\alpha} = \omega (c_m - c_{im}), \quad (2)$$

где  $\theta_m, \theta_{im}$  – пористости;  $c_m, c_{im}$  – объемные концентрации вещества;  $v_m$  – осредненная скорость движения раствора;  $\gamma$  – коэффициент переноса массы,  $[\gamma] = T^{\alpha-1}$ ,  $[\omega] = T^{-1}$  – индекс  $m$ , относящийся мобильной, а  $im$  – к неподвижной зоне с жидкостью.

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$c_m(0, x) = 0, \quad c_{im}(0, x) = 0, \quad (3)$$

$$c_m(t, 0) = c_0, \quad c_m(t, \infty) = 0. \quad (4)$$

Порядки дробных производных  $\alpha$  и  $\beta$  изменяются в следующих диапазонах:  $0 < \alpha \leq 1$ ,  $1 < \beta \leq 2$  [22].

**Разностная задача.** Для численного решения задач (1)–(4) применяем метод конечных разностей [23].

В области  $\Omega = \{0 \leq x \leq \infty, 0 \leq t \leq T\}$  введем равномерную сетку  $\omega_{ht} = \{(x_i, t_j), x_i = ih, i = 0, 1, \dots, N, h = L/N, t_j = j\tau, j = 0, 1, \dots, M, \tau = T/M\}$ , где  $h$  – шаг сетки по координату  $x$ ;  $\tau$  – шаг сетки по времени  $t$ ;  $L$  – характерная длина пористой среды.

Для аппроксимации дробных производных по времени используем следующие соотношения [24–25].

Разностная аппроксимация уравнения (1) имеет вид

$$\begin{aligned} & \theta_m \frac{(c_m)_i^{j+1} - (c_m)_i^j}{\tau} + \frac{\gamma \theta_{im}}{\Gamma(2-\alpha)\tau^\alpha} \left[ \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) \right] + \\ & + \frac{\gamma \theta_{im}}{\Gamma(2-\alpha)\tau^\alpha} ((c_{im})_i^{j+1} - (c_{im})_i^j) = \frac{\theta_m D_m}{\Gamma(3-\beta) * h^\beta} \cdot \left( \sum_{l=0}^{i-1} ((c_m)_{i-(l+1)}^j - 2(c_m)_{i-l}^j + (c_m)_{i-(l-1)}^j) \right) \times \\ & \times ((l+1)^{2-\beta} - l^{2-\beta}) - v_m \theta_m \frac{(c_m)_{i+1}^j - (c_m)_{i-1}^j}{2h}. \end{aligned} \quad (5)$$

Разностная аппроксимация уравнения кинетики (2) имеет вид

$$\gamma \theta_{im} \left( \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)\tau^\alpha} \left[ \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) \right] + ((c_{im})_i^{j+1} - (c_{im})_i^j) \right) = \omega ((c_m)_i^j - (c_{im})_i^{j+1}). \quad (6)$$

Начальные и граничные условия аппроксимируются следующим образом

$$(c_m)_i^0 = 0, \quad (c_{im})_i^0 = 0, \quad (7)$$

$$(c_m)_0^j = 0, \quad (c_m)_N^j = 0. \quad (8)$$

Разностное уравнение (5) после некоторых преобразований принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} & \theta_m \frac{(c_m)_i^{j+1} - (c_m)_i^j}{\tau} + \frac{\gamma \theta_{im}}{\Gamma(2-\alpha)\tau^\alpha} \left[ \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) \right] + \\ & + \frac{\gamma \theta_{im}}{\Gamma(2-\alpha)\tau^\alpha} ((c_{im})_i^{j+1} - (c_{im})_i^j) = \frac{\theta_m D_m}{\Gamma(3-\beta) * h^\beta} \cdot \left( \sum_{l=0}^{i-1} ((c_m)_{i-(l+1)}^j - 2(c_m)_{i-l}^j + (c_m)_{i-(l-1)}^j) \right) \times \\ & \times ((l+1)^{2-\beta} - l^{2-\beta}) - v_m \theta_m \frac{(c_m)_{i+1}^j - (c_m)_{i-1}^j}{2h}, \end{aligned}$$

$$(c_m)_i^{j+1} = \frac{\tau D_m}{\Gamma(3-\beta) * h^\beta} \left( \sum_{l=0}^{j-1} ((c_m)_{i-(l+1)}^j - 2(c_m)_{i-l}^j + (c_m)_{i-(l-1)}^j) \right) \cdot ((l+1)^{2-\beta} - (l)^{2-\beta}) - \tau v_m \frac{(c_m)_{i+1}^j - (c_m)_{i-1}^j}{2h} - \frac{\gamma \tau \theta_{im}}{\theta_m \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha} \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) + ((c_{im})_i^{j+1} - (c_{im})_i^j) + (c_m)_i^j.$$

После некоторых простых видоизменений разностное уравнение кинетики (6) приобретает вид:

$$\begin{aligned} \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) + ((c_{im})_i^{j+1} - (c_{im})_i^j) &= \frac{\Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}} \omega ((c_m)_i^j - (c_{im})_i^{j+1}), \\ (c_{im})_i^{j+1} + \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}} (c_{im})_i^{j+1} &= \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}} (c_m)_i^j + (c_{im})_i^j - \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}), \\ (c_{im})_i^{j+1} (1 + \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}}) &= \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}} (c_m)_i^j + (c_{im})_i^j - \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}), \\ (c_{im})_i^{j+1} &= ((c_{im})_i^j - \sum_{l=0}^{j-1} ((c_{im})_i^{l+1} - (c_{im})_i^l) ((j-l+1)^{1-\alpha} - (j-l)^{1-\alpha}) + \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}} (c_m)_i^j) / (1 + \frac{\omega \Gamma(2-\alpha) \tau^\alpha}{\gamma \theta_{im}}). \end{aligned}$$

**Результаты численных расчетов.** На основе численного решения задачи (1) – (4) проведены расчеты с использованием следующих значений исходных данных:  $\tau=1$ ,  $h=0.1$ ,  $\theta_m=0.4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ,  $\theta_{im}=0.1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Некоторые результаты численных расчетов показаны на рис. 1 и 2.

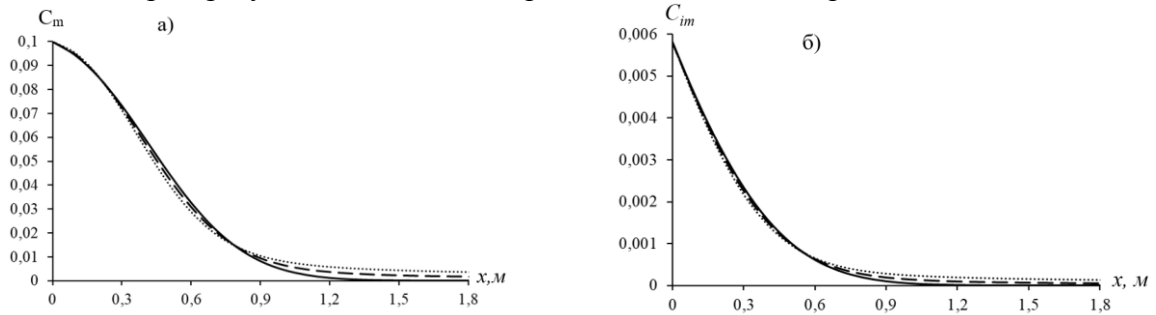


Рис. 1. Профили изменения концентрации  $c_m$  (а),  $c_{im}$  (б) при  $v_m=10^{-4} \text{ м/с}$ ,  $D_m=10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $t=3600 \text{ с}$ ,  $\omega=10^{-6} 1/\text{с}$ ,  $\gamma=0.6$ ,  $\alpha=1$ :  $\beta=1.6$  – точечная линия,  $\beta=1.8$  – пунктирная,  $\beta=2$  – сплошная линия

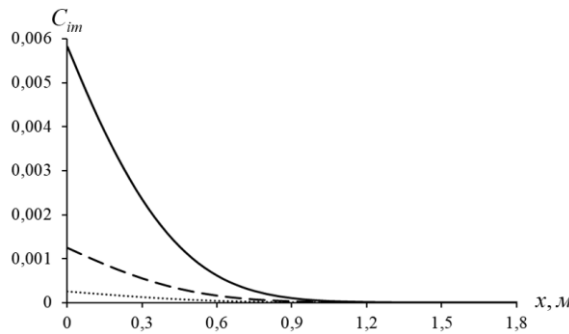


Рис. 2. Профили изменения концентрации  $c_{im}$  при  $v_m=10^{-4} \text{ м/с}$ ,  $D_m=10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $t=3600 \text{ с}$ ,  $\omega=10^{-6} 1/\text{с}$ ,  $\gamma=0.6$ ,  $\beta=2$ :  $\alpha=0.6$  – точечная линия,  $\alpha=0.8$  – пунктирная,  $\alpha=1$  – сплошная линия

Как видно из рис. 1, уменьшение порядка производной  $\beta$  от двойки приведет к более размытому распределению поля концентрации  $c_m$ . Это соответствует случаю «быстрой диффузии». Такое распределение концентрации в макропоре отражается и на распределений в микропоре (рис. 1, б). На рис. 2 приведены результаты при уменьшении  $\alpha$  от 1. Это приводит к замедлению распространения вещества в зоне  $c_{im}$  (рис. 2).

**Заключение.** В статье поставлена и численно решена задача об аномальном переносе вещества в пористых средах с фрактальной структурой, состоящей из двух зон с подвижной и неподвижной жидкостью. Математическая модель состоит из уравнения конвекции-диффузии в зоне с подвижной жидкостью и кинетики в зоне с неподвижной жидкостью. Аномальность переноса в обоих уравнениях учитывается дробными производными от соответствующих концентраций по времени. Дробные производные понимаются по определению Капуто. Проведенный численный анализ показывает, что аномальность процесса значительно влияет на характеристику переноса вещества в обеих зонах среды, т.е. как в микро-, так и в макропоре. Аномальность переноса характеризуется порядком производной в диффузионных членах уравнений переноса в макропоре и микропоре.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Chen J.Sh., Chen J.T., Chen W.L., Liang Ch.P., Lin Ch.W.* Analytical solutions to two-dimensional advection–dispersion equation in cylindrical coordinates in finite domain subject to first- and third-type inlet boundary conditions // *Journal of Hydrology* 405. 2011. P. 522–531.
- [2] *Chen J.Sh., Chen J.T., Chen W.L., Liang Ch.P., Lin Ch.W.* Exact analytical solutions for two-dimensional advection–dispersion equation in cylindrical coordinates subject to third-type inlet boundary condition // *Advances in Water Res.* Vol. 34. 2011. P. 365–374.
- [3] Хужаёров Б.Х. Фильтрация неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2012. – 280 с.
- [4] Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М. Математические модели фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2014. – 280 с.
- [5] Корчагина А.Н., Мерзиевский Л.А. Численное моделирование диффузионных процессов в фрактальных средах // *Учёные записки ЗабГУ*, 2013. №3(50). С. 53–59.
- [6] *Hassanizadeh S.M.* On the transient non-Fickian dispersion theory // *transport in Porous Media*. 1996. №23. P. 107–124.
- [7] *Klages R., Radons G., Sokolov I.M.* (Ed.) *Anomalous Transport: Foundation and Applications* // WILEY-VCH. 2008.
- [8] *Baeumer B., Meerschaert M.M.* Stochastic solutions for fractional Cauchy problems // *Frac.Calc.Appl.Anal.* 2001. №4. P. 481–500.
- [9] *Baeumer B., Meerschaert M.M., Benson D.A., Wheatcraft S.W.* Subordinated advection–dispersion equation for contaminant transport // *Water Resour.Res.* 2001. №37. P. 1543–1550.
- [10] *Barkai E., Metzler R., Klafter J.* From continuous time random walks to the fractional Fokker–Planck equation // *Phys.Rev.E* 2000. №61. P. 132–138.
- [11] *Benson D., Wheatcraft S., Meerschaert M.* Application of a fractional advection–dispersion equation // *Water Resour. Res.* 2000. №36. P. 1403–1412.
- [12] Хужаёров Б.Х., Усмонов А.И. Перенос вещества в пористых цилиндрических средах с фрактальной структурой // *Узбекский журнал Проблемы механики*. 2019. №3. С. 39–44.
- [13] *Meerschaert M.M., Tadjeran C.* Finite difference approximations for fractional advection-dispersion flow equations // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 2004. №172. P. 65–77.
- [14] *Liu F., Zhuang P., Anh V., Turner I., Burrage K.* Stability and convergence of the difference methods for the space-time fractional advection-diffusion equation // *Applied Mathematics and Computation*. 2007. №191. P. 12–20.
- [15] *Van Genuchten M. Th. and Wagenet R. J.* Two-Site/Two-Region Models for Pesticide Transport and Degradation: Theoretical Development and Analytical Solutions // *Soil science society of American journal*. Vol. 53. September-October. 1989.
- [16] *Van Genuchten M.Th., Werenga P.J.* Mass Transfer Studies in Sorbing Porous Media: II. Experimental Evaluation with Tritium (H<sub>2</sub>O) // *Soil Sci. Soc. American J.* Vol. 41. 1977. P. 272–278.
- [17] *Pravesh Kumar Sharma, Sanjay Kumar Shukla.* Modeling for solute transport in mobile–immobile soil column experiment // *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. March, 2016.
- [18] *Nigmatullin R.R.* The realization of the generalized transfer equation in a medium with fractal geometry // *Phys. Stat. Sol.* (b). 133. 1986. P. 425–430.
- [19] *Fomin S., Chugunov V., Hashida T.* Application of Fractional Differential Equations for Modeling the Anomalous Diffusion of Contaminant from Fracture into Porous Rock Matrix with Bordering Alteration Zone // *Transport in Porous Media*. 81. 2010. P. 187–205.
- [20] *Fomin S., Chugunov V., Hashida T.* Mathematical modeling of anomalous diffusion in porous media // *Fractional Differential Calculus*. Vol 1. N. 1. 2011. P. 1–28.
- [21] *Fomin S., Chugunov V., Hashida T.* The effect of non-Fickian diffusion into surrounding rocks on contaminant transport in fractured porous aquifer // *Proceedings of Royal Society A* 461, 2005. P. 2923–2939.
- [22] Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989. – 616 с.
- [23] *Xia Yuan, Jichun Wu, Luying Zhou.* Numerical solution of time-space fractional advection-dispersion equations // Vol. 9. 2009. №2. P.117–126.
- [24] *Khuzhayorov B., Usmonov A., Nik Long N.M.A., Fayziev B.* Anomalous solute transport in a cylindrical two-zone medium with fractal structure // *Applied Sciences (Switzerland)*, 2020. 10(15), 5349. DOI:10.3390/app10155349.
- [25] *Li G.S., Sun C.L., Jia X.Z., Du D.H.* Numerical solution to the multi-term time fractional diffusion equation in a finite domain // *Number. Math. Theor.-Meth. Appl.* 2016. №9. P. 337–357.

Дата поступления  
03.12.2022



**Хужаёров Б.Х., Холлиев Ф.Б. Фрактал муҳитда каср тартибли дифференциал тенглама ёрдамида аномал модда кўчиши жараёнини сонли моделилаштириш**

**Аннотация:** Ҳовак муҳитда модданинг аномал кўчиши жараёни каср тартибли дифференциал тенгламалар билан моделилаштирилган. Макро ва микроговаклардан ташкил топган икки зонали ҳовак муҳитда модда кўчиши масаласи қўйилган ва сонли ечилган. Макро ва микропорда муаллақ заррачалар концентрациясининг ўзгариши профиллари аниқланган. Координата ва вақт бўйича каср ҳосила тартибининг таъсирида фрактал ўлчамли муҳитнинг иккала зонадаги модда кўчиши хусусиятлари баҳоланади.

**Калим сўзлар:** аномальный кўчиши; каср ҳосила; моддалар диффузияси; ҳовак муҳит; фильтрация.

**Khujayorov B.Kh., Kholliiev F.B. Numerical modeling of the process of anomalous solute transport in a fractal medium using a fractional differential equation**

**Abstract:** The process of anomalous solute transport in a porous medium is modeled by differential equations with a fractional derivative. The problem of solute transport in a two-zone porous medium consisting of macro- and micropores is posed and numerically solved. The profiles of changes in the concentrations of suspended particles in the macropore and micropore were determined. The influence of the order of the derivative with respect to the coordinate and time is estimated, i.e. fractal dimension of the medium, on the characteristics of the solute transport in both zones.

**Keywords:** anomalous transfer; fractional derivative; diffusion of matter; porous medium; filtration.

УДК 532

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКА С ОБРАТНЫМ УСТУПОМ ПРИ ПОМОЩИ МОДЕЛИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

**Назаров Ф.Х.**

Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева АН РВз, Ташкент, Узбекистан

E-mail: [farruxnazar@mail.ru](mailto:farruxnazar@mail.ru)

**Аннотация:** Показано, что поток с обратным уступом можно наблюдать при обтекании профиля, спойлера, в двигателях внутреннего сгорания, конденсаторах, в системах теплопередачи, при обтекании зданий и т.д. Обосновано, что такие потоки характеризуются отрывом, рециркуляцией, повторным присоединением, усилением турбулентности и т.д. Учитывая важность потока с обратным уступом как в теоретическом, так и в инженерном аспектах, эта статья сосредоточена на обзорном исследовании с исторической точки зрения. В этом исследовании обобщаются и классифицируются основные модели и законы течения. Показано, что размер шага (коэффициент расширения воздуховода) определяет основной процесс рециркуляции и повторного присоединения. Обзор также дополнен обобщениями математических моделей, обсуждаются эффекты теплопередачи. Рассмотрены также тенденции и перспективы в исследованиях потока с обратным уступом.

**Ключевые слова:** уравнения Навье–Стокса; модель k-ε; модель Спаларта–Алларса; обратный уступом; метод контрольного объема; турбулентная вязкость; пакет программ Matlab.

**Введение.** Отрыв потока – одна из классических тем гидродинамики, которая стала ключевой задачей во внешних течениях и тесно связана с аэродинамическим проектированием транспортных средств, механики и других движущихся тел [1–2]. Проблема отрывных потоков имеет также значение при химическом перемешивании, охлаждении аэродинамического профиля и в строительстве [3]. Классическим примером для отрывных потоков может служить течение в канале с обратным уступом. Данная задача в области моделирования турбулентного потока известна как Backward-Facing Step (поток с обратным уступом) и, вот уже больше полувека привлекает внимание многих исследователей. В последние годы в данном направлении проведены несколько систематических исследований с использованием как эксперимента, так и численного анализа [4–6]. В последние годы также можно найти междисциплинарные исследовательские работы, которые больше связаны с приложениями и распространяются на различные аспекты нашей повседневной жизни. Эволюция свободного сдвигового слоя является доминирующим фактором для процесса разделения потока. Согласно Брауну и Рошко [7], сдвиговой слой определяет структуру процессов разделения и соединения потоков. Затем Бернал и Рошко [8] сообщили о трехмерной структуре и ее расширениях после разделения, которые управляют последующей эволюцией структуры потока. Среди них отрывной поток во внешнем и внутреннем потоках демонстрирует различное поведение из-за ограничения стен. Например, авторы провели серию исследований со сжимаемыми эффектами естественной конвекции с отрывом граничного потока при высоких  $Re$  ( $\sim 10^6$ ) [9], а также с макромасштабными эффектами под ограничивающими

## СОДЕРЖАНИЕ

Д.Х. Хусанов, З.С. Латипова. Глобальное отслеживание траектории манипулятора без измерения скоростей.....	3
О.М.Дусматов, А.Х. Маматкабилов. Устойчивость движения автомобиля с учетом упругости и деформируемости шин	8
В. Соколов. О перспективных параметрах сейсмической опасности для использования при проектировании и в целях снижения риска.....	15
З. Сирожидинов, Д. Иноят. Оценка несущей способности пирамидальных свай.....	27
С.И. Исмоилова, К.С. Султанов, Т.Я. Хазратова, Ш.А. Гаффаров. Деформационный метод расчета прочности текстильных нитей и пряж.....	34
Б. Мардонов, О. Салимов. Статистический метод оценки эффективности очистки мелкого сора и пыли при транспортировке хлопка-сырца.....	47
И. Мирзаев, Ж.Ф. Шомуродов. Расчет на сейсмостойкость подземного трубопровода на основе экспериментальных кривых взаимодействия с грунтом.....	54
Э.И. Старовойтов, А. Абдусаттаров, Н.Б. Рузиева. Циклическое нагружение упругопластических трёхслойных стержней с учетом их повреждаемости.....	66
У.З. Шермухамедов, А.Б. Каримова, Ш.Ш. Тайиров. Пространственный расчет неразрезных железобетонных мостовых конструкций на действие сейсмических воздействий.....	75
Н.К. Турсунов, Ш.П. Алимухамедов, Л.А. Кучкоров, О.Т. Тоиров. Эксплуатационные характеристики боковых рам тележек подвижного состава .....	84
Д.М. Мухаммадиев, Ф.Х. Ибрагимов, О.Х. Абзюров, Л.Ю. Жамолова. Расчет радиальных колебаний междупильных прокладок линтерной машины.....	88
А.А. Ризаев, А.Т. Йулдашев, Д.А. Кулдошев, Н.Б. Джуроева, Х.А. Купайсинова. Оценка производительности серийной и вертикально-шпиндельной хлопкоуборочной машины с эпи- и гипоциклическими приводами.....	94
Х.С. Сагдиев, А.С. Ювмитов, В.А. Галиаскаров, З.Р. Тешабоев, З.Ж. Собиров, Х.О. Шерниёзов, Б.Н. Мирзакабилов. Оценка сейсмостойкости зданий, построенных до применения требований норм сейсмостойкого строительства.....	100
А. Парпиев, М. Эргашов, Б. Кузиев. Теоретическое обоснование устранения дефектов, возникающих в оборудовании для очистки хлопка.....	118
Б.Х. Хужаёров, Ф.Б. Холлиев. Численное моделирование процесса аномального переноса вещества во фрактальной среде с помощью дробного дифференциального уравнения.....	122
Ф.Х. Назаров. Численное исследование потока с обратным уступом при помощи модели турбулентности.....	126
М. Ахмедов. Турецкое землетрясение 6 февраля 2023 года .....	130

## МУНДАРИЖА

Д.Х. Хусанов, З.С. Латипова. Тезликни ўлчамасдан манипуляторнинг глобал траекториясини кузатиш.....	3
О.М. Дусматов, А.Х. Маматкабилов. Шиналарининг эластиклиги ва деформациясини ҳисобга олганда автомобиль ҳаракатини устуворлиги.....	8
В. Соколов. Лойиҳалаш ва ҳатари камайтириш максидида фойдаланиш учун сейсмик хавф параметрлари.....	15
З. Сирожидинов, Д. Иноят. Пирамидасимон козиқли пойдеворларни юк кўтара олиш қобилятини баҳолаш.....	27
С.И. Исмоилова, К.С. Султанов, Т.Я. Ҳазратова, Ш.А. Гаффаров. Тўқимачилик ва пахта ипларининг мустаҳкамлигини ҳисоблашнинг деформацион усули.....	34
Б. Мардонов, О. Салимов. Пахтани ташишда майда ифлослик ва чангдан тозалаш жараёнини баҳолашнинг статистик тадқиқи.....	47
И. Мирзаев, Ж.Ф. Шомуродов. Грунт билан ўзаратаъсирнинг тажрибавий натижалари асосида ер ости қувурини сейсмик мустаҳкамликка ҳисоблаш .....	54
Э.И. Старовойтов, А. Абдусаттаров, Н.Б. Рузиева. Уч қатламли эластик-пластик стерженларни емирилишини ҳисобга олган ҳолда циклик юкланиши .....	66
У.З. Шермухамедов, А.Б. Каримова, Ш.Ш. Тайиров. Узлуксиз темирбетон кўприк конструкцияларини сейсмик таъсирларга фазовий ҳисоби.....	75
Н.К. Турсунов, Ш.П. Алимухамедов, Л.А. Кучкоров, О.Т. Тоиров. Ҳаракатланувчи таркиб аравасининг ён томон рамасининг эксплуатацион характеристикалари.....	84
Д.М. Мухаммадиев, Ф.Х. Ибрагимов, О.Х. Абзюров, Л.Ю. Жамолова. Аррали жин арралараро қистирмаларнинг радиал тебранишларини аниқлаш.....	88
А.А. Ризаев, А.Т. Йулдашев, Д.А. Кулдошев, Н.Б. Джуроева, Х.А. Купайсинова. Эпи ва гипо циклик узатмалари билан жиҳозланган маҳаллий ва вертикал шпинделли пахта териш машинасининг иш унумдорлигини баҳолаш.....	94
Х.С. Сагдиев, А.С. Ювмитов, В.А. Галиаскаров, З.Р. Тешабоев, З.Ж. Собиров, Х.О. Шерниёзов, Б.Н. Мирзакабилов. Зилзилабардошлик қурилиши меъёрий талаблари қўлланилишидан олдин қурилган биноларнинг сейсмик мустаҳкамлигини баҳолаш.....	100
А. Парпиев, М. Эргашов, Б. Кузиев. Пахта тозалаш ускуналарида юзага келадиган камчиликларни бартараф этишнинг назарий таҳлили.....	118
Б.Х. Хужаёров, Ф.Б. Холлиев. Фрактал муҳитда қаср тартибли дифференциал тенглама ёрдамида аномал модда кўчиш жараёнини сонли моделлаштириш.....	122
Ф.Х. Назаров. Турбулент моделлари ёрдамида тескари пағонали оқимнинг сонли тадқиқи.....	126
М. Ахмедов. 2023 йил 6 февралдаги Туркия зилзиласи.....	130



Номер одобрен на заседании редакционной коллегии журнала 30.03.2023

Сдано в набор 01.03.2023. Подписано в печать 30.03.2023.

Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Гарнитура Times New Roman. Ризография.

Усл.- печ. л. 15.34. Уч.-изд. л. 10.31. Тираж 130. Заказ № 693.

Цена договорная.

Отпечатано в Минитипографии АН РУз:  
100047, г. Ташкент, ул. акад. Я. Гулямова, 70.