

2. Nugaev, I. F. Computerized technology of control and decision support oil well directed drilling / I. F. Nugaev, V. I. Vasilyev, R. I. Alimbekov, A. S. Shulakov // Proc. Of 4-th Int. Conf. On Computer Science and Information Technologies (CSIT 02), Greece, 2002. P. 104-110.

3. Нугаев, И. Ф. Алгоритмы оперативного управления и прогнозирования в процессе бурения наклонно-направленных и горизонтальных нефтяных скважин / И. Ф. Нугаев, Р. И. Алимбеков, В. И. Васильев // Вестник УГАТУ, 2004, Т 5, №1(9). С. 134-140.

4. Ситников Н. Б. Моделирование и оптимизация процесса бурения геологоразведочных скважин: Автореферат дисс. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2000.

5. Лукьянов Э. Е. и др. Геолого-технологические исследования в процессе бурения. М.: Нефть и газ, 1997.

6. Цуприков Л.А. Разработка системы адаптивного управления процессом роторного бурения нефтяных и газовых скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2009.

7. Трохова Т.А., Степанов С. Ю. Применение нечетких моделей представления знаний для автоматизации прогноза осложнений при бурении нефтяных скважин // Вестн. Гомельского гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. 2013. № 1(52). С. 13–19.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Равшанов Нормакмад

научный консультант директора по науке, Научно-исследовательского института
развития цифровых технологий и искусственного интеллекта

ravshanzade-09@mail.ru

Шадманова Камола Умед кизи

Докторант Бухарского государственного университета

k.u.shadmanova@buxdu.uz

Аннотация: В статье разработано математическая модель описывающий процессы нелинейной фильтрации подземных вод в многослойных неоднородных пористых средах, влияющих на поток грунтовых вод и перенос загрязняющих веществ.

Ключевые слова: математическая модель, фильтрации, подземные воды, неоднородная пористая среда.

MATHEMATICAL MODELING AND INVESTIGATION OF GROUNDWATER FILTRATION PROCESSES

Abstract: The article develops a mathematical model describing the processes of nonlinear filtration of groundwater in multilayer heterogeneous porous media that affect the flow of groundwater and the transport of pollutants.

Keywords: mathematical model, filtration, groundwater, heterogeneous porous media.

YER OSTI SUVLARINI FILTRLASH JARAYONLARINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH VA O'RGANISH

Annotatsiya: Maqolada yer osti suvlari oqimiga va ifloslantiruvchi moddalarni tashishga ta'sir qiluvchi ko'p qatlamli muhitda yer osti suvlarining chiziqli bo'lmagan filtrlash jarayonlarini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: matematik model, filtrlash, yer osti suvlari, g'ovak muhit.

Введение. В последнее время в области гидрогеологии и гидродинамики всё большее внимание уделяется вопросам моделирования подземных вод, особенно в контексте нелинейной фильтрации в многослойных неоднородных пористых средах. Нелинейные процессы фильтрации подземных вод имеют значительные последствия для различных областей, включая экологические исследования, управление водными ресурсами и проектирование инженерных сооружений.

Нелинейные процессы фильтрации грунтовых вод охватывают сложные взаимодействия, которые существенно влияют на движение и качество грунтовых вод. Одним из важнейших аспектов понимания этих процессов является признание различных механизмов фильтрации и их нелинейной природы. Ключевым аспектом фильтрации грунтовых вод является роль зоны аэрации в воздействии на миграцию загрязняющих веществ в водоносные горизонты. Состав этой ненасыщенной зоны имеет основополагающее значение для определения эффективности фильтрации, поскольку он влияет на биодegradацию, механическую фильтрацию, сорбцию и дисперсию загрязняющих веществ [1].

Нелинейные модели использовались для калибровки и моделирования уровней грунтовых вод и переноса загрязняющих веществ, более эффективно отражая тонкости этих процессов, чем линейные модели, которые часто чрезмерно упрощают поведение систем грунтовых вод в различных гидрологических условиях [2].

Более того, механика систем естественных водоносных горизонтов иллюстрирует их потенциал для крупномасштабной очистки воды. Естественные фильтрационные возможности водоносных горизонтов могут быть использованы для смягчения загрязняющих веществ, что делает их необходимыми для устойчивого управления водными ресурсами [3].

Научные исследования в области нелинейных процессов фильтрации подземных вод играют важную роль в понимании динамики подземных водоносных систем. Эти процессы имеют значительные последствия для геоэкологии, водоснабжения и устойчивого использования водных ресурсов. В частности, цели исследования включают изучение механизмов фильтрации, взаимодействия подземных вод с окружающей средой и оценку влияния антропогенных факторов на гидрогеологические условия.

Постановка задачи. При геофильтрации грунтовых вод взаимосвязь между грунтовыми водами и водами низкого давления выражается с помощью уравнения Буассинеску следующим образом [4]:

$$\left. \begin{aligned} \mu \frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k_1 h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_1 h \frac{\partial h}{\partial y} \right) - k \left(1 - \frac{H}{h} \right) \Big|_m + \eta W, \\ \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(k_2 m \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_2 m \frac{\partial H}{\partial y} \right) + k \left(1 - \frac{H}{h} \right) \Big|_m - \eta Q, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $h(x,y,t)$, $H(x,y,t)$ – уровни грунтовых вод; $m = \Delta H - H_0$ – прочность слоя; μ , μ^* – коэффициент водоотдачи; k_1, k_2 – коэффициенты фильтрации; Q – дебит скважина, W –

$$\text{испарение: } W = \begin{cases} W_0 \left(1 - \frac{H}{H_{kr}} \right), & H > H_{kr} \\ 0, & H \leq H_{kr} \end{cases}.$$

Система (1) решается на основе следующих начальных и граничных условий:

начальные условия:

$$h|_{t=0} = h_0, \quad H|_{t=0} = H_0,$$

граничные условия:

$$\begin{aligned} m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=0} &= -(h - h_0), & m \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=L} &= (h - h_0), \\ m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=0} &= -(h - h_0), & m \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=L} &= (h - h_0), \\ m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=0} &= -(H - H_0), & m \frac{\partial H}{\partial x} \Big|_{x=L} &= (H - H_0), \\ m \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=0} &= -(H - H_0), & \mu h \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=L} &= (H - H_0), \end{aligned}$$

Где h_0, H_0 - начальные значения уровней грунтовых вод, $m = \Delta h - h_0 = \Delta H - H_0$ – толщина пласта.

Понимание нелинейных процессов фильтрации грунтовых вод включает междисциплинарный подход, объединяющий гидрогеологию, науку об окружающей среде и передовые методы моделирования для раскрытия сложностей систем грунтовых вод.

Заключение. Текущие исследования, сосредоточенные на взаимодействии различных факторов, влияющих на качество грунтовых вод, имеют решающее значение для информированного управления водными ресурсами и стратегий смягчения загрязнения. Исследование по математическому моделированию нелинейной фильтрации подземных вод в многослойных неоднородных пористых средах представляет собой комплексную задачу, требующую детального анализа, разработки новых моделей и методов, а также их верификации с использованием реальных данных. Предложенные цели и задачи направлены на создание надежного инструмента для понимания и управления процессами фильтрации, что имеет важное значение для экологических и инженерных приложений.

Список литературы

- 1.Chukwuma E.C. et al. Groundwater vulnerability to pollution assessment: an application of geospatial techniques and integrated IRN-DEMATEL-ANP decision model // Environ. Sci. Pollut. Res. 2023. Vol. 30, № 17. P. 49856–49874.
- 2.Peterson T.J., Western A.W. Nonlinear time-series modeling of unconfined groundwater head // Water Resour. Res. 2014. Vol. 50, № 10. P. 8330–8355.
- 3.Kumar S.V. et al. Harnessing Natural Aquifer Filtration for Large-Scale Water Purification: Opportunities and Challenges // E3S Web Conf. / ed. Msomi V., Ngonda T. 2024. Vol. 505. P. 02003.
- 4.Равшанов Н. et al. Исследование и анализ математических моделей процессов фильтрации подземных вод в многослойных неоднородных пористых средах // Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2025. Vol. 1, № 63. P. 41–56.

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Латипова Дилафруз Нусратулла кизи

студентка 2-го курса Образовательного университета Ренессанс

Ахметова Клара Ирисметовна

научный руководитель, и.о. доцент Образовательного университета Ренессанс