

**G'OVAK MUHITIDA NOSTATSIONAR SUYUQLIK HARAKATI
MASALALARINI MATLAB MUHITINI QO'LLAB SONLI
MODELLASHTIRISH.**

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОГО
ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ MATLAB.**

**NUMERICAL MODELING OF UNSTATIONARY FLUID MOTION
PROBLEMS IN PORROUS MEDIUMS USING MATLAB ENVIRONMENT.**

Kompyuter texnologiyasi va uning dasturiy
ta'minoti yunalishi magistranti
Ismatova Mahfuza Rasulovna

Annotatsiya: G'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakati masalalarini sonli modellashtirish usullari tahlil qilingan. Bunda matematik model sifatida differensial tenglamalar tanlab olingan hamda ularning yechimi uchun sonli yondashuvlar qo'llanilgan. MATLAB muhitida yozilgan dasturlar yordamida modellashtirish amalga oshirilgan va natijalar grafik ko'rinishda aks ettirilgan. Tadqiqot g'ovak muhit parametrlarining suyuqlik harakatiga ta'sirini o'rganishga yo'naltirilgan bo'lib, natijalar filtratsiya, gidrogeologiya va neft sanoatida amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'z: g'ovak muhit, nostatsionar harakat, suyuqlik oqimi, sonli modellashtirish, MATLAB, differensial tenglama, filtratsiya, gidrogeologiya, neft, to'r usuli, hisoblash, dinamika, fizikaviy modellashtirish, matematik model, dasturlash, parametrlar, chegaraviy shartlar, vaqt o'zgarishi, tizimli yondashuv, grafik natijalar, kodlash, algoritm, muhandislik, oqim tahlili, ekologiya.

Аннотация: Проанализированы методы численного моделирования неустановившегося движения жидкости в пористых средах. В качестве математических моделей выбраны дифференциальные уравнения и использованы численные подходы для их решения. Моделирование проводилось с использованием программ, написанных в среде MATLAB, а результаты отображались графически. Исследование направлено на изучение влияния параметров пористой среды на движение жидкости, а полученные результаты имеют практическое значение в фильтрации, гидрогеологии и нефтяной промышленности. **Ключевые слова:** пористые среды, неустановившееся движение, поток жидкости, численное моделирование, MATLAB,

дифференциальное уравнение, фильтрация, гидрогеология, нефть, метод сеток, вычисления, динамика, физическое моделирование, математическая модель, программирование, параметры, граничные условия, изменение во времени, системный подход, графические результаты, кодирование, алгоритм, инжиниринг, анализ потока, экология.

Abstract: Methods for numerical modeling of unsteady fluid motion in porous media are analyzed. Differential equations were selected as mathematical models and numerical approaches were used to solve them. Modeling was carried out using programs written in the MATLAB environment, and the results were displayed graphically. The research is aimed at studying the influence of porous media parameters on fluid motion, and the results are of practical importance in filtration, hydrogeology, and the oil industry.

Keywords: porous media, unsteady motion, fluid flow, numerical modeling, MATLAB, differential equation, filtration, hydrogeology, petroleum, mesh method, computation, dynamics, physical modeling, mathematical model, programming, parameters, boundary conditions, time variation, systematic approach, graphical results, coding, algorithm, engineering, flow analysis, ecology.

Kirish. Tabiatda va texnologik jarayonlarda suyuqliklarning g'ovak muhitda harakati keng tarqalgan hodisalardan biridir. Masalan, yer osti suvlarining oqimi, neft va gazning konlardan harakati, filtrlash va diffuziya jarayonlari kabi ko'plab tizimlar aynan g'ovak strukturalarda suyuqliklarning harakati bilan bog'liqdir. Bunday jarayonlarni aniqlik bilan tahlil qilish, ulardagi fizikaviy qonuniyatlarni o'rganish va real muammolarni ilmiy asosda hal etish zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning dolzarb yo'nalishlaridan biridir. G'ovak muhitda suyuqlikning harakati, ayniqsa nostatsionar holatlarda, ya'ni vaqtga bog'liq holda o'zgarib boruvchi sharoitlarda murakkab matematik modellashtirishni talab qiladi. Bunday muhitlar uchun Navye-Stoks, Darsi qonunlari va boshqa differensial tenglamalar qo'llaniladi. Biroq bu tenglamalarni analitik usullarda yechish ko'plab hollarda murakkab yoki imkonsiz bo'lib qoladi. Shu sababli, sonli yechimlar — ya'ni differensial tenglamalarni kompyuter yordamida taxminiy yechish usullari keng qo'llaniladi. Ushbu ishda MATLAB dasturiy muhitining imkoniyatlaridan foydalanilgan holda g'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakati masalalari sonli yondashuv orqali modellashtiriladi. MATLAB – muhandislik, fizika va matematika sohalarida keng qo'llaniladigan kuchli hisoblash vositasi bo'lib, murakkab tizimlarni tez va aniq modellashtirish imkonini beradi. Kirish qismida mavzuning dolzarbligi asoslab beriladi, shuningdek, tadqiqotning maqsadi — nostatsionar holatda g'ovak muhitdagi suyuqlik harakatini

modellashtirish va amaliy jihatdan ahamiyatli natijalarga erishishdan iborat ekanligi ta'kidlanadi. Tadqiqot natijalari filtratsiya, gidrogeologiya, neft sanoati va boshqa ko'plab sohalarda qo'llanilishi mumkin.

O'rganilish darajasi: G'ovak muhitda suyuqlik harakati, ayniqsa nostatsionar (vaqtga bog'liq) jarayonlar, ilmiy va amaliy nuqtayi nazardan juda muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu masala geologiya, gidrodinamika, neft-gaz sanoati, qurilish, atrof-muhit muhofazasi, filtrlash tizimlari va boshqa ko'plab texnik sohalarda keng o'rganilgan. G'ovak muhitdagi oqimlarni o'rganishda dastlab Darsi qonuni asos bo'lib xizmat qilgan. Keyinchalik bu qonunlar Navye-Stoks tenglamalari, diffuziya-tashilish modellariga integratsiya qilinib, suyuqliklarning harakatini aniqlik bilan ifodalovchi kompleks matematik modellar ishlab chiqilgan. Shuningdek, bu borada G.B. Logvinov, A.N. Tixonov, J.L. Bear, M.A. Biot kabi olimlarning tadqiqotlari muhim o'rin tutadi. Ularning ishlari g'ovak muhitda bir yoki bir nechta fazali suyuqlik oqimlarini matematik modellashtirish va sonli yechimlar topish metodologiyasini shakllantirishda asos bo'lgan. So'nggi yillarda axborot texnologiyalarining rivojlanishi bilan ushbu jarayonlar sonli modellar asosida kompyuter dasturlari yordamida modellashtirilmoqda. MATLAB, COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent kabi dasturiy vositalar g'ovak muhitdagi oqimlarni modellashtirish uchun samarali platformalar sifatida keng qo'llanilmoqda. Ayniqsa, MATLAB dasturida turli hisoblash algoritmlarini ishlab chiqish va vizual tahlil qilish imkoniyatlari mavjudligi sababli u ilmiy-tadqiqot ishlarida keng foydalanilmoqda. Shu sababli, hozirgi kunda g'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakati masalalarini MATLAB muhitida sonli modellashtirish dolzarb, ammo to'liq yechimini topmagan masalalardan biri bo'lib qolmoqda. Bu esa mavzuning ilmiy ahamiyatini yanada oshiradi. G'ovak muhitda suyuqlik harakatining o'rganilishi ilm-fanning muhim va istiqbolli yo'nalishlaridan biri bo'lib, bu boradagi izlanishlar bir necha asrlar davomida shakllangan nazariy va amaliy asoslarga tayanadi. Ushbu masalani chuqur o'rganish nafaqat tabiiy ilmiy tushunchalarni rivojlantirish, balki texnik, muhandislik, gidrogeologik va sanoat sohaslarida ham amaliy muammolarni samarali hal etish imkonini beradi. G'ovak muhit deb ko'p sonli mayda teshikchalar (poralar)ga ega bo'lgan jism tushuniladi. Bu muhitda suyuqlik yoki gaz harakati ichki struktura va fizik xossalarga bog'liq ravishda o'zgaradi. Oqim jarayonlari ko'pincha filtratsiya, diffuziya, konveksiya va boshqa transport hodisalari bilan birga kechadi. Ana shunday kompleks holatlarni o'rganish uchun ilmiy jamoalarda ko'p yillik tadqiqotlar olib borilgan. Bu borada ilk nazariy ishlardan biri Anri Darsi (Henry Darcy) tomonidan XIX asrda olib borilgan bo'lib, u yer osti suvlarining harakat qonuniyatlarini aniqlashda Darsi qonunini ishlab chiqqan. Bu qonun hozirgi kungacha g'ovak

muhitdagi past tezlikdagi suyuqlik oqimlarini modellashtirishda asosiy qonun sifatida qo'llaniladi. Keyinchalik bu modelga dinamik omillar kiritilib, nostatsionar holatlarda ham tadqiq qilish imkoniyatlari yaratildi.

XX asrda J. Bear, M. Biot, P. Forchheimer, G.B. Logvinov, A.N. Tixonov, M.M. Lavrentyev kabi olimlar tomonidan g'ovak muhitda harakatlanayotgan ko'p fazali suyuqliklar, gaz va issiqlik oqimlarining matematik modellarini ishlab chiqish, ularni sonli usullar bilan yechish, chegaraviy va boshlang'ich shartlarni belgilash bo'yicha fundamental ishlar olib borildi. Ayniqsa, J. Bear'ning "Dynamics of Fluids in Porous Media" nomli monografiyasi bu sohada ilg'or nazariy qarashlarni birlashtirgan muhim manba sifatida tan olingan. Bugungi kunda ilmiy texnik taraqqiyot, kompyuter texnologiyalari va dasturlash vositalarining jadal rivojlanishi natijasida bunday murakkab fizik-matematik jarayonlarni modellashtirish yanada osonlashdi. Shu jumladan, MATLAB, COMSOL Multiphysics, ANSYS Fluent, OpenFOAM kabi zamonaviy muhitlarda g'ovak muhitdagi oqimlarni sonli yondashuvlar yordamida modellashtirish va natijalarni grafik jihatdan ko'rish imkoniyati mavjud. MATLAB muhitida modellashtirish, ayniqsa, ilmiy tadqiqotchilar orasida mashhur bo'lib, bu dastur keng imkoniyatli hisoblash vositalarini, grafik interfeysni, algoritmik yondashuvni taklif etadi. U orqali murakkab differensial tenglamalarni yechish, vaqt va fazoda o'zgaruvchan parametrlarni kuzatish, turli chegaraviy shartlar asosida tizim xatti-harakatini simulyatsiya qilish mumkin. So'nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlarda g'ovak muhitda nostatsionar oqimlar sonli modellar asosida chuqur tahlil qilinmoqda. Jumladan: Fizika va geologiya sohalarida yer osti suvlarining harakati, ularning ifloslanishini modellashtirish; Neft va gaz sanoatida ko'p fazali oqimlar, qattiq va suyuq moddalarning birgalikdagi harakatini modellashtirish; Atrof-muhit muhofazasida kimyoviy ifloslantiruvchilarning g'ovak zamin orqali tarqalishini o'rganish; Qurilish muhandisligida tuproqning suv o'tkazuvchanlik xususiyatlarini baholash va barqarorlikni tahlil qilish; Biotibbiyot sohasida esa suyuqliklarning to'qimalardagi tarqalishini simulyatsiya qilish holatlari.

Tadqiqot natijalari: Ushbu tadqiqotda g'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakati masalasi MATLAB dasturlash muhitida sonli modellashtirish asosida o'rganildi. Ish davomida nazariy model ishlab chiqildi, Chekli farqlar usuli (FDM) orqali differensial tenglamalarning sonli yechimi topildi va dastlabki va chegaraviy shartlarga mos holda simulyatsiya bajarildi. Quyidagi asosiy ilmiy-amaliy natijalarga erishildi:

Nostatsionar harakatning matematik modeli ishlab chiqildi. G'ovak muhitda suyuqlikning vaqtga bog'liq harakatini tavsiflovchi umumlashtirilgan diffuziya tenglamasi asosida fizik-matematik model tuzildi. Modellashtirishda Darsi qonuni va

suyuqlikning davomiylik tenglamasi asos qilib olindi. Ushbu model harorat, bosim va zichlikning vaqt va fazodagi o'zgarishini hisobga olgan holda tuzildi.

MATLAB muhitida modellashtirish algoritmi yaratildi.

Tadqiqot doirasida MATLAB dasturida Chekli farqlar usuliga asoslangan algoritm ishlab chiqildi. Bu algoritm yordamida nostatsionar oqim tenglamasi vaqt bo'yicha qadam-baqadam hisoblab chiqildi. Dastur interaktiv grafik interfeysga ega bo'lib, harakat yo'nalishi, tezlik maydoni va bosim gradientlarini vizual ko'rsatish imkonini berdi. Turli boshlang'ich va chegaraviy shartlar asosida modellashtirish bajarildi.

Modellar bir necha holatlarda testdan o'tkazildi:

Statik holat: bosim farqi yo'qligida harakatning barqarorlanishi;

Bosim gradienti mavjud bo'lgan holat: suyuqlikning oqim tezligi va yo'nalishi;

Ko'p zonali g'ovak struktura: o'zgaruvchan g'ovaklik darajasining harakatga ta'siri.

Ushbu tajribalar natijasida g'ovak muhitning fizik xossalari (g'ovaklik darajasi, o'tkazuvchanlik koeffitsienti) harakat intensivligiga bevosita ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Numerik natijalar grafik tahlil qilindi.

Harakat jarayonidagi o'zgaruvchan parametrlar (bosim, tezlik, zichlik) MATLAB grafik vositalari yordamida 2D va 3D shakllarda aks ettirildi. Vaqt o'tishi bilan suyuqlik oqimi qanday o'zgarishi, u g'ovaklik darajasi yuqori yoki past bo'lgan sohalarda qanday kechishi vizual tarzda ko'rsatildi.

Model natijalari nazariy asoslar bilan solishtirildi.

Simulyatsiya natijalari mavjud adabiyotdagi analitik va eksperimental natijalar bilan taqqoslandi. Olingan qiymatlar Darsi qonuniga mos kelgani, modellashtirilgan oqim profillari esa real muhitlardagi oqimlarga yaqin ekani kuzatildi. Bu esa yaratilgan modelning amaliyotda qo'llanish imkoniyatlarini ko'rsatadi.

Ilmiy va amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Tadqiqot asosida quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi:

MATLAB muhitidan foydalanish g'ovak muhitdagi oqimlarni o'rganishda aniq, tez va samarali usul hisoblanadi; Olingan model turli tabiiy va texnogen muhitlarda (masalan, yer osti suvlarining oqimi, neft konlari, filtratsiya tizimlari) tadbiiq etilishi mumkin; Kelgusida modellashtirishda nolinch tartibli modellardan ko'ra ko'p fazali va ko'p komponentli oqimlarni ham hisobga olish orqali yanada aniqroq natijalarga erishish mumkin.

Tahlil va natijalar: Ushbu tadqiqotda g'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakati sonli modellashtirish orqali tahlil qilindi. Ishning asosiy maqsadi – suyuqlikning vaqtga bog'liq oqimini tavsiflovchi matematik modelni tuzish, uni MATLAB muhitida sonli yechish va real sharoitdagi oqim xatti-harakatlarini

simulyatsiya qilishdan iborat bo'ldi. Tahlil davomida bir nechta nazariy va amaliy parametrlar asosida modellashtirish o'tkazildi. Tadqiqot boshida g'ovak muhitdagi nostatsionar oqim Darsi qonuni asosida tavsiflandi. Ushbu qonun bo'yicha suyuqlik tezligi bosim gradienti va o'tkazuvchanlik koeffitsientiga bevosita bog'liqdir. Natijada, suyuqlik harakatini ifodalovchi differensial tenglama quyidagi ko'rinishda ifodalandi:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \nabla \cdot (K \nabla P)$$

bu yerda:

- PPP — bosim funksiyasi,
- KKK — g'ovak muhitning o'tkazuvchanligi (doimiy yoki fazoviy o'zgaruvchi),
- ttt — vaqt parametri.

Bu tenglama MATLAB muhitida Chekli farqlar usuli (FDM) yordamida diskretlashtirildi va vaqtinchalik qatlamlar orqali hisob-kitoblar olib borildi.

MATLABda tuzilgan dasturiy model orqali quyidagi tahlillar amalga oshirildi:

- **Vaqtga bog'liq bosim taqsimoti:**

Dastlabki bosim shartlaridan boshlab, har bir vaqt nuqtasida bosimning qanday tarqalayotgani hisoblab chiqildi. Harakat boshlanishida bosimning keskin farqlari mavjud bo'lsa-da, vaqt o'tishi bilan muvozanat holatiga yaqinlashishi kuzatildi.

- **Suyuqlik tezligi tahlili:**

Oqim tezligi bosim gradientiga nisbatan aniqlanib, MATLAB'da grafik ko'rinishda tasvirlandi. Tezlik maydonlari oqim yo'nalishlari va intensivligini ko'rsatdi. Ayrim zonalarda tezlikning pasayishi yoki ortishi g'ovaklik darajasining o'zgarishiga bog'liq bo'ldi.

- **O'tkazuvchanlik parametri ta'siri:**

G'ovak muhitdagi o'tkazuvchanlik (permeabilitet) ortgan sari oqimning tezlashgani aniqlandi. Bu hodisa ayniqsa, notekis o'tkazuvchanlik zonalarida yaqqol ko'rindi.

- **Vizual tahlil:**

Bosim va tezlik maydonlari ikki va uch o'lchamli grafiklar orqali ko'rsatildi. Ushbu grafiklar oqim simulyatsiyasining holatini aniq tahlil qilishga yordam berdi.

Tadqiqot davomida uchta asosiy holat modellashtirildi:

1. **Bir jinsli g'ovak muhit:**

Bu holatda o'tkazuvchanlik va zichlik butun muhit bo'ylab bir xil deb olinib, bosim taqsimoti simmetrik tarzda tarqaldi.

2. **Zonali g'ovaklik holati:**

G'ovaklik zonal ravishda o'zgaruvchi qilib olinganda, oqim simmetriyasi buzildi. Suyuqlik yuqori o'tkazuvchanlik zonalariga yo'naldi.

3. Chegaraviy bosim ta'siri:

Modelga tashqi manbadan kelayotgan bosim gradienti qo'shildi. Bu holatda oqim tezligi ortdi va bosimning notekis tarqalishi kuchaydi.

4.4. Natijalar tahlilining umumlashtirilgan ko'rinishi

Parametr	Ta'siri	Eslatma
G'ovaklik darajasi	Oqim tezligiga bevosita ta'sir qiladi	Yuqori g'ovaklik – tezroq oqim
O'tkazuvchanlik	Bosim tarqalishini belgilaydi	Notekis zonalar oqim yo'nalishini o'zgartiradi
Boshlang'ich bosim	Harakat boshlang'ich sharoitlarini aniqlaydi	Katta farq – intensiv harakat
Vaqt o'zgarishi	Harakatning barqarorlashuvi yoki o'zgarishi	Turg'unlikka intilish mavjud

Simulyatsiya natijalari mavjud adabiyotdagi eksperimental ma'lumotlar bilan solishtirildi. Olingan qiymatlar real g'ovak muhitlarda o'lchangan oqim natijalari bilan mos keldi. Bu, modelning ishonchliligini va MATLAB asosidagi modellashtirishning samaradorligini isbotlaydi.

Xulosa: Ushbu tadqiqotda g'ovak muhitda nostatsionar suyuqlik harakatining sonli modellashtirish usullari o'rganildi va MATLAB dasturiy muhiti asosida matematik modellashtirish amalga oshirildi. Ish davomida nostatsionar oqimni ifodalovchi tenglamalar tuzildi, ular sonli metodlar yordamida diskretlashtirildi va turli fizik parametrlar asosida modellashtirildi. Natijalarda bosim va oqim tezligining vaqt va fazoviy o'zgarishlarga qanday ta'sir qilishi tahlil qilindi. Olingan ma'lumotlar g'ovak muhitdagi oqim jarayonlarini chuqurroq tushunishga, shuningdek, real muhitda sodir bo'ladigan gidrodinamik holatlarni oldindan prognozlashga xizmat qiladi. MATLAB muhitining grafik va hisoblash imkoniyatlari modellashtirish jarayonini aniq va samarali bajarishga imkon berdi. Shu bilan birga, turli g'ovaklik va o'tkazuvchanlik sharoitlari ta'sirida oqim xatti-harakatining qanday o'zgarishi ham nazariy jihatdan asoslandi.

Tadqiqot shuni ko'rsatdiki, sonli modellashtirish muhandislik, ekologiya va geologiya sohalarida g'ovak muhitdagi suyuqlik harakatlarini tahlil qilishda samarali vosita bo'la oladi. Keltirilgan model real holatlarga yaqin natijalarni beradi, bu esa undan amaliy loyihalarda foydalanish imkonini kengaytiradi. Kelajakda ushbu modelni yanada takomillashtirib, ko'p fazali oqim, kimyoviy reaksiyalar bilan bog'liq jarayonlar yoki deformatsiyalanuvchi muhitlardagi oqimlarni ham qamrab olish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Qodirov, S. A. (2017). *G'ovak muhitlarda suyuqlik harakati matematik modellashtirish*. Toshkent: Fan va Texnologiya nashriyoti.
2. Xo'jaev, B. T. (2018). *Poroz suyuqliklarning dinamikasi va ularni sonli yechish usullari*. Toshkent: O'zbekiston Milliy Universiteti Nashriyoti.
3. Qosimov, D. R. (2020). *MATLAB dasturida gidrodinamika jarayonlarini modellashtirish*. Toshkent: Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
4. Mirzayev, J. M. (2019). *G'ovak muhitlarda nostatsionar oqimlarni tadqiq etish usullari*. Ilmiy axborot, 3(12), 45-53.
5. Usmonov, A. Q. (2016). *G'ovak muhitlarda suyuqlik va gaz harakati modellarini ishlab chiqish*. Toshkent: Fan va Texnologiya.