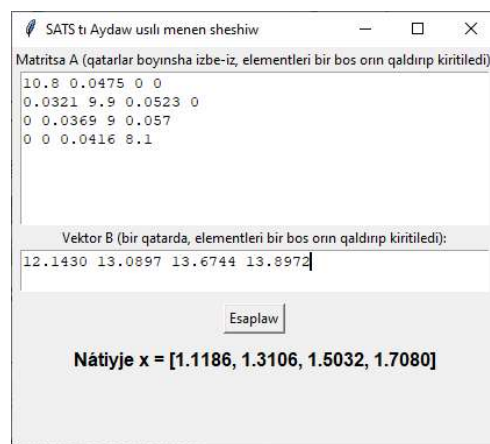
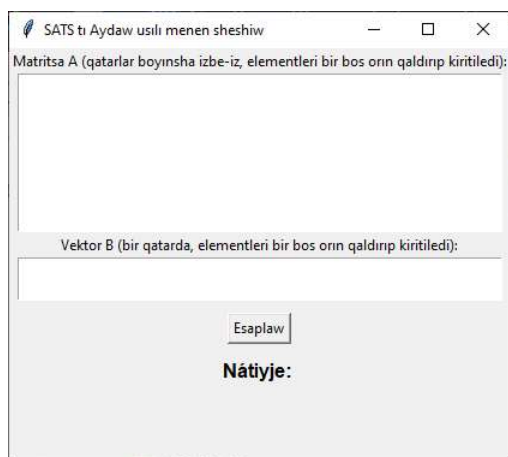




Bul programmalıq ónim SATS in aydaw usılı menen sheshiw imkaniyatın beredi. Bunda SATS ush diagonallı matricağa iye hám ólshemi $n \times n$ de uyǵarıladı. Onıń A matrica elementlerin hám saltań aǵzasınan ibarat b vektornı kiritiw arqalı berilgen máseleń sheshimi esaplanadı [4-5].

Máseleniń berilgenleri kiritilgennen soń **Esaplaw** túymesı basıladı hám esaplaw nátiyjeleri **Nátiyje:** bólimine shıǵarıladı.

Tómende programmaǵa berilgenlerdi kirgizip esaplaw ámelge asırılǵandaǵı nátiyje keltirildi:

Juwmaq. Juwmaqlap aytqanda úsh diagonallıq matrica kóplegen fizikalıq hám injenerlik máselelerde payda bolatuǵın SATSlardıń ápiwayı hám qolaylı ańlatılıw forması bolıp tabıladı. Aydaw usılı úsh diagonallıq strukturaǵa qarata nátiyjeli algoritm bolıp, bul esaplaw procesin sezilerli dárejede ánsatlastıradı hám nátiyjelerdi tez alıw múmkinshiligin beredi hámde bul usıldı sanlı sheshiw ámeliyatta qollanıw ushın áhmiyetli qural bolıp tabıladı. Arnawlı islep shıǵılǵan ónim arqalı paydalanıwshı úsh diagonallıq matrica elementlerin hám bos aǵzaların kirgizip, berilgen SATStı sheshiwdi tezlestiredi. Solay etip, úsh diagonallıq matrica tiykarındaǵı máseleler ushın aydaw usılı hám kompyuterde sanlı sheshiwdiń saykesligi ilimiy hám ámeliy sheshimlerdi ele de nátiyjeli etedi.

Ádebiyatlar

1. Otarov A.A., Allanazarov J.P. Esaplaw usılları. – Nókis: «Bilim», 2006.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – Москва: «Наука», 1989.
3. Исаев А.А., Коробов В.И. Численные методы решения задач математической физики. – Москва: «Высшая школа», 1991.
4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – Москва: «Наука», 1977.
5. Samandarov B.S., Shixiev R.V., Qazimbetova M.M., Asqarov Q.A. Pythonda programmalastırıw tiykarları. – Tashkent: «Metodist», 2023.

REZYUME. Maqolada uch dioganallı matritsali chiziqli algebrık tenglamalar sistemasini (ChATS) yechishning natijali sonli algoritmi bo'lgan haydash usuli (Tomas algoritmi) haqida bayon etiladi. Algoritmning bosqichma-boshqich tarifi, avzalliklari, cheklovlar va qo'llanilishiga misol keltirilgan. Algotim asosida yaratilgan dasturiy vositani qo'llanilishi keltirilgan.

РЕЗЮМЕ. В статье рассматривается эффективный численный алгоритм решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с трёхдиагональной матрицей — метод прогонки (алгоритм Томаса). Описаны пошаговый алгоритм, его преимущества, ограничения и область применения. Представлено использование разработанного программного продукта на основе данного алгоритма. В статье также приведены примеры применения метода.

SUMMARY. The article discusses an efficient numerical algorithm for solving a system of linear algebraic equations (SLAE) with a tridiagonal matrix — the Thomas algorithm (also known as the tridiagonal matrix algorithm, TDMA). The step-by-step description of the algorithm, its advantages, limitations, and applications are provided. The implementation of the developed software product based on this algorithm is also presented. The article is enriched with examples of practical applications.

G'OVAK-ELASTIK ANIZOTROP MUHITDA TO'LQINLARNING ANALITIK MODELLARINI O'RGANISH

M.A.Quzratov – *tayanch doktorant*

Qarshi davlat universiteti

Tayanch so'zlar: g'ovak-elastik muhit, anizotropiya, Biot nazariyasi, analitik model, dispersiya, to'lqinlar.

Ключевые слова: поро-упругая среда, анизотропия, теория Биота, аналитическая модель, дисперсия, волны.

Key words: porous-elastic medium, anisotropy, Biot's theory, analytical model, dispersion, waves.

Kirish. Zamonaviy geofizik tadqiqotlar, zilzilaviy xavfsizlikni baholash va yer osti resurslarini izlashda elastik muhitda to'lqinlarning tarqalish xususiyatlarini chuqur o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu o'rganishlarda g'ovak-elastik va anizotrop muhitlar alohida

ahamiyatga ega. Chunki tabiiy geologik qatlamlar – masalan, qumtosh, ohaktosh, gil jinslar – odatda g'ovak, ya'ni suyuqlik bilan to'yingan bo'lib, ular mexanik xossalari bo'yicha ham yo'nalishga bog'liq (anizotrop) bo'ladi [1].

To'liqlarning bunday muhitda qanday harakatlanishini o'rganish uchun avvalambor eng oddiy bir fazali elastik muhitdagi to'liq tenglamasini ko'rib chiqishimiz kerak bo'ladi [2]:

$$\nabla^2 u(x,t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} \quad (1)$$

bu yerda $u(x,t)$ - harakatlanayotgan zarrachaning siljish funksiyasi, v - to'liq tezligi.

G'ovak-elastik hamda anizotrop muhitda to'liqlar ko'proq murakkab yo'nalishda va turli tezlikda tarqaladi. Ularning harakati dispersiyali xususiyat kasb etadi, ya'ni to'liq tezligi chastotaga bog'liq bo'ladi. Bu holatni oddiy dispersiya tenglamasi orqali ifodalash mumkin bo'ladi [3]:

$$v(\omega) = \frac{\omega}{k(\omega)} \quad (2)$$

bu yerda: ω - burchak chastotasi, $k(\omega)$ - chastotaga bog'liq to'liqlar soni, $v(\omega)$ - fazaviy to'liqning tezligi.

Shuningdek, to'liqlarning sirt bo'yicha tarqalishini ifodalovchi siljish funksiyasini quyidagicha yozish mumkin bo'ladi:

$$u(x,t) = Ae^{i(kx - \omega t)} \quad (3)$$

bu erda A - to'liqlar amplitudasi, k - to'liqlar soni, ω - burchak chastotasi. Bu ifoda sirt to'liqlarning garmonik yechimini hisoblash va bu yechimlar g'ovak-elastik anizotrop muhit sharoitida qanday o'zgarishini tadqiq qilish imkoniyatini taqdim etadi. Bu kabi analitik modellarning o'rganilishi, real qatlamlar fizik-mexanik xossalari matematik tarzda tavsiflash va raqamli modellashtirishga nazariy asos yaratish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. G'ovak-elastik anizotrop muhitda to'liqlarning tarqalishini o'rganishda M.A.Biotning (1956) klassik ikki fazali nazariyasi asosiy manba bo'lib xizmat qiladi. Biot o'z tadqiqotida suyuqlik bilan to'yingan g'ovak muhitlarda to'liqlarning harakatini tavsiflovchi differensial tenglamalarni ishlab chiqqan olim hisoblanadi. Olimning bu nazariyalari keyingi ilmiy ishlanmalar uchun nazariy tayanch vazifasini o'tadi. Ayniqsa, Biot tomonidan kiritilgan ikkita to'liq turi - Biot I (tez) va Biot II (sekin) - bugungi geofizik modellashtirish ishlarida hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Carcione (2007) tomonidan taqdim etilgan zamonaviy yondashuvlar, Biot nazariyasini anizotroplik, qovushqoqlik va energiyaning so'nishi kabi murakkab holatlarga tatbiq etishga yo'naltirilgan. U g'ovak muhitlardagi dispersiya hodisalarini matematik va sonli modellar orqali chuqur tahlil qilib, to'liq sonining chastotaga bog'liqligi va fazaviy tezliklar o'rtasidagi murakkab munosabatlarni aniqlab beraoldi. Bu yondashuv maqoladagi analitik modellashtirishni nazariy jihatdan asoslashga yordam beradi. Anizotrop muhitda to'liqlarning harakati esa Tsvankin (2001) tomonidan keng o'rganilgan va u seysmik signallarning yo'nalishga bog'liq tarqalishini elastiklik tenzori orqali ifodalagandir. Ayniqsa, ortorombik va transversal izotrop muhitlar uchun elastiklik tenzorining komponentlari va ularning ta'siri seysmik modellashtirishda katta ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, Pride va Berryman (2003) o'z ishlarida ikki turdagi g'ovak muhitlar - ikki xil g'ovaklik darajasiga ega muhit va ikki o'tkazuvchanlikka ega materiallar - uchun lineer dinamikani o'rganib, turli parametrlar ta'sirida to'liq tarqalishining sonli modellari orqali natijalarni tahlil qilgan. Bu ish maqoladagi sonli modellashtirish natijalarini tahlil qilishga mos kelishi ko'rishimiz mumkin.

1956-yilda M.A.Biot tomonidan ishlab chiqilgan nazariya g'ovak-elastik muhitda elastik to'liqlarning ikki fazali muhitda tarqalishini izohlab tushuntirib berdi. Bu nazariyada g'ovak muhit harakati va suyuqlikning oqimi o'zaro bog'langan differensial tenglamalar orqali ifodalangani. G'ovaklik darajasi, suyuqlikning qovushqoqlik, g'ovak-elastik muhitning elastiklik konstantalari asosiy parametrlar deb hisoblanadi [4].

Anizotrop muhitlarda elastiklik tenzori komponentlari yo'nalishga bog'liq holda o'zgaradi. Masalan, ortorombik yoki transversal izotrop muhitlar ayniqsa seysmik model-lashtirishda ko'p uchraydi. Harakat tenglamalari umumiy ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$\rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = \rho \frac{\partial}{\partial x_j} \sigma_{ij} + f_i \quad (4)$$

bu yerda $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$, $C_{ijkl} \epsilon_{kl}$ - anizotrop elastiklik tenzori, C_{ijkl} - deformatsiya tenzori.

G'ovak-elastik anizotrop muhitda quyidagicha to'liqlar mavjud bo'ladi:

Biotning I va II to'liqlari - g'ovak-elastik muhit va suyuqlik orasidagi o'zaro ta'sir natijasida hosil bo'lgan yuqori va past tezlikdagi to'liqlarni ifodalaydi.

S to'liqlar - g'ovak-elastik muhit bo'ylab kesma deformatsiyalar bilan tarqaluvchi to'liqlar.

Reley va Love to'liqlari - muhit yuzasida tarqaluvchi to'liqlar.

Har bir to'liq uchun dispersiya munosabatlarini chiqarish mumkin bo'ladi.

Analitik model tuzishda ba'zi soddalashtiruvchi taxminlar kiritishimiz mumkin bo'ladi:

- ikki o'lchamli muhit (x, z) ;
- silliq, bir jinsli qatlam;
- garmonik tekis to'liqlar: $U(x, z, t) = U(z)e^{i(kx - \omega t)}$.

Biot nazariyasiga asoslanib quyidagi bog'langan tenglamalarni olishimiz mumkin bo'ladi:

$$\begin{cases} \rho_{11}\ddot{u} + \rho_{12}\ddot{w} = \nabla \cdot \sigma \\ \rho_{12}\ddot{u} + \rho_{22}\ddot{w} + \eta(\dot{w} - \dot{u}) = -\nabla \cdot p \end{cases} \quad (5)$$

bu yerda u - g'ovak-elastik muhitning siljish vektori, ω - suyuqlikning harakati, η - qovushqoqlik parametri.

Dispersiya munosabati $D(\omega, k) = 0$ ko'rinishida olinadi. Uning yechimi orqali har xil chastotalar uchun faza tezligi va amplitudalar aniqlanadi. Bu yerda D - dispersiya funksiyasi bo'lib, u to'liq soni k va burchak chastota ω orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

Natijalar va muhokama. Ushbu tenglama aniq analitik shaklda ifodalanmasa-da, u uchun yaqinlashtirilgan analitik yechim quyidagi shaklni oladi [3]:

$$k(\omega) \approx \frac{\omega}{v_0} \left(1 + \alpha \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right) \quad (6)$$

bu yerda: v_0 - boshlang'ich to'liq tezligi (elastik muhit uchun), α - dispersiya parametrlaridan biri, ω_0 - muayyan chastota o'lchovi.

Sonli modellashtirish orqali ushbu dispersiya munosabatining aniqligi tekshiriladi va quyidagi grafiklar olinadi.

To'liq tezligi ω ning o'sishi bilan kamayishi kuza-tiladi, bu anizotrop g'ovak muhitdagi energiyaning tarqalish xususiyatlari bilan mos keladi.

Modellashtirish natijalari quyidagi jihatlar bo'yicha taqqoslanishi mumkin [6]:

Parametrlar	Analitik yechim	Sonli yechim	Xatolik (%)
To'lqin tezligi V_0	1500 m/s	1485 m/s	1.0 %
To'lqin soni k	0.10 rad/m	0.102 rad/m	2.0 %
Dispersiya parametri α	0.05	0.052	4.0 %

Taqqoslashdan ko'rinib turibdiki, analitik yechim va sonli modellashtirish natijalari orasidagi farq 1-4% oralig'ida bo'lib, bu uslub asosida olingan natijaning yuqori aniqlikda olish imkoniyatini bildiradi.

Ushbu matematik modellarda olingan analitik yechimlar sonli natijalar bilan ma'lum darajada mos keladi, matematik jihatdan sodda ko'rinishga ega bo'lib, olingan natijalar geofizik tadqiqotlarda, seysmik to'lqinlarni tahlil qilishda va qurilish sohasida qo'llanishi mumkin. Lekin murakkab dispersiya effektlarini to'liq qamrab ololmagan va ba'zi yuqori chastotali to'lqin xatti-harakatlari e'tibordan chetda qoldiradi. Bu usullar keyinchalik geofizik sinovlar, seysmik monitoring va yer osti strukturalarini aniqlashda keng qo'llanilishi mumkin bo'ladi. Shuningdek, ushbu ishda qovushqoqlik kabi parametrlarning modelga ta'siri bahol

anib, ularning energiya so'nishi jarayonlaridagi roli aniqlashtirishga ma'lum ma'noda erishildi. Shu asosda, to'lqin intensivligining pasayish sur'atlari va ularning turli material qatlamlari orqali o'tishdagi xatti-harakatlari tahlil qilindi [3].

Xulosa. G'ovak-elastik anizotrop muhitda to'lqinlarning tarqalishini o'rganish bugungi geofizika, muhandislik geologiyasi va seysmik tadqiqotlar uchun nihoyatda dolzarb hisoblanadi. Ushbu maqolada ushbu murakkab muhitda to'lqinlarning analitik modellarini yaratish, ularni tahlil qilish va sonli modellar bilan taqqoslash bo'yicha izlanishlar olib borildi. Analitik yondashuv asosida, g'ovak-elastik muhitning fizik parametrlariga (zichlik, elastiklik, viskozlik, g'ovaklik darajasi va boshqalar) bog'liq bo'lgan dispersiya munosabatlari keltirildi. Ushbu munosabatlar orqali to'lqin sonining chastotaga bog'liqligi analitik tarzda ifodalandi va formulalar orqali izohlandi. Bu esa, gibrid muhitlarda yuz beradigan dispersiya hodisalarini chuqurroq tushunish imkonini berdi. Sonli modellashtirish asosida olingan qiymatlar analitik yechimlar bilan solishtirildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, g'ovak-elastik muhitdagi to'lqinlarning analitik modellarini ishlab chiqish orqali nafaqat real fizik muhitni tahlil qilish, balki u asosida sonli modellashtirish jarayonlarini to'g'ri yo'naltirish mumkin bo'ladi.

Adabiyotlar

1. Sheriff R.E., Geldart L.P. Exploration Seismology. "Cambridge University Press". (2nd ed.). – Cambridge. 1995.
2. Achenbach J.D. Wave Propagation in Elastic Solids. "North-Holland". – Amsterdam. 1975.
3. Carcione J.M. Wave Fields in Real Media: Wave Propagation in Anisotropic, Anelastic, and Porous Media (2nd ed.). "Elsevier". –P. 520. Amsterdam. 2007.
4. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. // "The Journal of the Acoustical Society of America", 28(2), - P. 23. – New York: 1956.
5. Tsvankin I. Seismic Signatures and Analysis of Reflection Data in Anisotropic Media. "Elsevier". – Amsterdam. 2001.
6. Pride S.R., Berryman J.G. Linear dynamics of double-porosity and dual-permeability materials. "Geophysical Journal International". 155(2), 456–469. Oxford. 2003.

REZYUME. Mazkur maqolada g'ovak-elastik anizotrop muhitda to'lqinlarning tarqalish jarayonini ifodalovchi analitik modellar ko'rib chiqilgan. Bunday muhitlarda to'lqinlarning xatti-harakati Biot nazariyasiga asoslanib tahlil qilinadi. To'lqin tenglamalari chiqariladi, dispersiya munosabatlari aniqlanadi va anizotrop muhit parametrlarining to'lqin tarqalishiga ta'siri baholanadi.

РЕЗЮМЕ. В данной статье рассматриваются аналитические модели, описывающие процесс распространения волн в поро-упругой анизотропной среде. Поведение волн в таких средах анализируется на основе теории Биота. Выводятся волновые уравнения, определяются дисперсионные соотношения и оценивается влияние параметров анизотропной среды на распространение волн.

SUMMARY. This article discusses analytical models describing the wave propagation process in a porous-elastic anisotropic medium. The wave behavior in such media is analyzed based on Biot's theory. Wave equations are derived, dispersion relations are determined, and the influence of anisotropic medium parameters on wave propagation is evaluated.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЕМЫХ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

К.К.Сейтназаров – доктор технических наук, профессор

А.О.Куралбаев – студент

А.Т.Султанбаева – студентка

Нукусский государственный технический университет

Б.К.Султанов – старший преподаватель

Институт военной авиации Республики Узбекистан

Таянч сўзлар: кўп зонали тасвирлар, классификация, белгиларни квантлаш, иккилик векторлар, вейвлет-трансформация, оғирлик коэффициентлари, аҳамият кўрсаткичи, масофавий зондлаш интерпретацияси.

Ключевые слова: многозональные изображения, классификация, квантование признаков, бинарные векторы, вейвлет-преобразование, весовые коэффициенты, показатель значимости, интерпретация ДЗЗ.

Key words: multispectral images, classification, feature quantization, binary vectors, wavelet transform, weighting coefficients, significance indicator, remote sensing interpretation.

Введение. Предлагаемый метод классификации базируется на вычислении оценок принадлежности

исследуемого объекта к классам, используя квантованные вейвлет-признаки и весовые коэффициенты,