ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 2

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 2

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ANIZOTROP MUHITDA SIRT TO‘LQINLARINING TARQALISHI VA UNING MATEMATIK MODELLARI: NAZARIYA, HISOBLASH VA INVERSIYA

Quzratov Muxriddin Akram o‘g‘li
Qarshi davlat universiteti doktoranti
Matematik modellashtirish. Sonli usullar va dasturlar majmui
E-mail: quzratovm95@gmail.com
tel.:(90) 674 86 95,
ORCID: 0009-0009-9469-1853

Annotatsiya. Ushbu maqolada anizotrop elastik muhitda sirt to‘lqinlarining (Rayleigh va Love tiplari) tarqalishi uchun yagona matematik-joriy ramka taklif etiladi. Stroh formalizmi va sirt impedans matritsasi (Barnett-Lothe nazariyasi) asosida energiya nuqtayi nazaridan barqaror sekulyar tenglamalar hosil qilinadi, ular TI/TTI/ortorombik sinflar uchun umumlashtiriladi. Azimutga bog‘liq dispersiya va elliptiklik (zarrachalarning orbital harakati) uchun yangi ko‘rsatkichlar taklif qilinadi: (i) azimutiy dispersiya indeksi $J(\theta)$ va (ii) Rayleigh elliptikligining anizotrop koeffitsienti $E(\theta)$. Spektral element (SEM) va yuqori tartibli SBP-SAT yondashuvlari uchun hisoblash tavsiyalari beriladi; TI yarim-cheksiz muhit va qatlamli modellarda Rayleigh/Love modalarining bo‘linishi, mod krossingi va ZGV (nol guruh tezligi) nuqtalari tahlil qilinadi. Fazaviy tezlikning Thomsen parametrlariga $(\epsilon, \delta, \gamma)$ sezgirlik yadro(kernel)lari orqali qo‘shma inversiya strategiyasi keltiriladi. Yondashuv muhandislik seysmikasi, saytsizmik baholash va kristall akustikada amaliy qo‘llanadi.

Kalit so‘zlar: anizotrop elastiklik; Stroh formalizmi; sirt impedans; Rayleigh/Love to‘lqinlari; Thomsen parametrlari; spektral element; SBP-SAT; dispersiya; elliptiklik; ZGV; inversiya.

Аннотация. В данной статье предлагается единый математический аппарат для описания распространения поверхностных волн (типов Рэлея и Лява) в анизотропной упругой среде. На основе формализма Стро (Stroh) и матрицы поверхностного импеданса (теория Барнетта-Лоте) выводятся энергетически устойчивые секулярные (вековые) уравнения, которые обобщаются для сред TI/TTI и орторомбических классов. Для зависящих от азимута дисперсии и эллиптичности (орбитального движения частиц) предлагаются новые показатели: (i) индекс азимутальной дисперсии $J(\theta)$и (ii) анизотропный коэффициент $E(\theta)$рэлеевской эллиптичности. Даются вычислительные рекомендации для метода спектральных элементов (SEM) и подходов SBP-SAT высокого порядка; анализируются расщепление мод Рэлея/Лява, пересечение мод и точки ZGV (нулевой групповой скорости) в TI полубесконечных средах и слоистых моделях. Представлена стратегия

ISSN 3030-3907

совместной инверсии с использованием ядер чувствительности фазовой скорости к $(\epsilon, \delta, \gamma)$ параметрам Томсена. Предложенный подход находит практическое применение в инженерной сейсморазведке, сейсмической оценке площадок и кристаллоакустике.

Ключевые слова: анизотропная упругость; формализм Стро; поверхностный импеданс; волны Рэлея/Лява; параметры Томсена; спектральный элемент; SBP-SAT; дисперсия; эллиптичность; ZGV; инверсия.

Abstract. This article proposes a unified mathematical framework for the propagation of surface waves (Rayleigh and Love types) in anisotropic elastic media. Based on the Stroh formalism and the surface impedance matrix (Barnett-Lothe theory), energy-stable secular equations are derived, which are generalized for TI/TTI/orthorhombic classes. New indicators are proposed for azimuth-dependent dispersion and ellipticity (orbital motion of particles): (i) an azimuthal dispersion index $J(\theta)$ and (ii) an anisotropic coefficient $E(\theta)$ of Rayleigh ellipticity. Computational recommendations are provided for the Spectral Element Method (SEM) and high-order SBP-SAT approaches; the splitting of Rayleigh/Love modes, mode crossing, and ZGV (zero group velocity) points are analyzed in TI semi-infinite media and layered models. A joint inversion strategy is presented using the sensitivity kernels of phase velocity to $(\epsilon, \delta, \gamma)$ Thomsen parameters. The approach has practical applications in engineering seismology, seismic site evaluation, and crystal acoustics.

Keywords: anisotropic elasticity; Stroh formalism; surface impedance; Rayleigh/Love waves; Thomsen parameters; spectral element; SBP-SAT; dispersion; ellipticity; ZGV; inversion.

KIRISH.

Sirt to‘lqinlari yaqin sirt qatlamlarining mexanik xossalariga nihoyatda sezgir bo‘lib, seysmologiya, NDT/SHM (nol buzuvchi testlar/struktura monitoringi) va geotexnikada ishlatiladi. Haqiqiy geomedialar ko‘pincha anizotrop: qatlamlangan, yoriqli, to‘qimalangan jinslar faza tezligi va energiya oqimini yo‘nalishga bog‘laydi. Sof izotrop modellar ko‘plab hodisalarni soddalashtirib yuboradi: masalan, azimutiy dispersiya, elliptiklikning o‘zgarishi, Love-Rayleigh o‘zaro ta’siri.

MAQSAD VA HISSA. Bu ish (i) Stroh-Barnett-Lothe asosidagi sirt impedans yondashuvini TI/TTI/ortorombik sinflar uchun tartibli tarzda bayon qiladi; (ii) azimutiy dispersiya indeksi va elliptiklik koeffitsienti orqali anizotropiya imzosini miqdoriylashtiradi; (iii) SEM va SBP-SAT sxemalari bilan hisoblashda dispersiya xatolarini boshqarish bo‘yicha amaliy qoidalarni beradi; (iv) sirt

ISSN 3030-3907

to‘lqinlari faza tezligi uchun Fréchet sezgirlik formulalarini chiqarib, Thomsen parametrlari bo‘yicha inversiyani barqarorlashtirishni taklif qiladi.

2. Governing tenglamalar: anizotrop elastiklik va chegaralar

2.1. Elastiklik tenglamalari

Anizotrop chiziqli elastiklikda kuchlanish-deformatsiya bog‘lanishi

$$\sigma = C:\varepsilon(u), \quad \varepsilon(u)=\frac{1}{2}(\nabla u+\nabla u^{\top})$$

C - to‘rtinchi tartibli qattiqlik tenzori (VTI uchun 5, TTI uchun 6, ortorombik uchun 9 mustaqil parametr). Dinamika tenglamasi

$$\rho,\ddot{u}-\nabla!\cdot!\sigma=f$$

2.2. Chegaraviy shartlar va sirt

Erkin sirt Γ_{fs} da tortishmalar $t=\sigma$, $n=0$ bo‘ladi. Ko‘p qatlamli modellar uchun interfeyslarda siljish va tortishma uzluksizligi talab qilinadi. SH (gorizontal qiya tebranishlar) decoupling sharoitida Love sirt to‘lqini yuzaga chiqadi; umumiy anizotropiyada Rayleigh/Love o‘zaro bog‘liq bo‘lishi mumkin.

3. Stroh formalizmi va sirt impedans matritsasi

Stroh (1962) formalizmi elastik to‘lqinlarni birinchi tartibli sistemaga keltirib, vertikal o‘sish/so‘nish ildizlari s_j orqali modlarni ajratadi. Barnett-Lothe nazariyasida sirt impedans matritsasi $Z(\omega,k)$ sirt tezliklar vektorini sirt kuchlanishlari bilan bog‘laydi. Rayleigh to‘lqini uchun sekulyar shart

$$\det, Z(\omega, k; m) = 0$$

m- anizotrop parametrlar to‘plami (TI uchun $c_{11}, c_{33}, c_{13}, c_{44}, c_{66}, \rho$ yoki Thomsen ϵ,δ,γ, hamda zichlik). Bu yondashuv sirt qatlamlari va yo‘nalish bo‘yicha (azimut θ) bog‘lanishni tabiiy kiritadi.

Eslatma (barqarorlik): fizik yot kengayuvchi ildizlar tanlab tashlanadi, energiya oqimi sirtga bog‘liq holda nol bo‘lishi kerak; bu shartlar noto‘g‘ri ildizlardan xoli sekulyar tenglamani kafolatlaydi.

4. TI/TTI muhit uchun analitik struktur va azimutiy effektlar

VTI muhitda gorizontal faza soni $k = (k\cos\theta, k\sin\theta, 0)$. Rayleigh faza tezligi $c_R(\theta)=\omega/k$ azimut bo‘yicha o‘zgaradi. Zaif anizotropiyada Thomsen parametrlaridan foydalanib, birinchi tartibli chiziqlantirish bilan

$$\frac{c_R(\theta)-c_{R,0}}{c_{R,0}} \approx A_1\epsilon\cos^2\theta + A_2\delta\sin^2\theta\cos^2\theta + A_3\gamma\sin^2 2\theta$$

A_i - qat’iy elastik skeletga bog‘liq koeffitsientlar. Bu rasmiy formula **azimutiy dispersiya**ni miqdoriy baholashga imkon beradi.

Rayleigh elliptikligi. Zarrachalar trayektoriyasi (yuzaga yaqin) izotropiyada retrograd elliptik. Anizotropiyada elliptiklik eksentriteti $E(\theta)$ va orientatsiyasi

ISSN 3030-3907

yo‘nalishga bog‘liq; bu parametr sirt to‘lqinlarining qutblanishiga sezgir inversiya uchun mustaqil kuzatuvdir.

5. Qatlamli anizotrop muhit: Love va Rayleigh modalarining o‘zaro ta’siri

Qatlamli VTI/TTI strukturalarida sirt impedans yondashuvi qatlamlar bo‘ylab transzmissiya/odjiutment (transfer) matritsalari bilan birlashtiriladi. SH bo‘laklanish sharoitida Love to‘lqinlari mustaqil bo‘lsa-da, umumiy holda elastik parametrlarda aralashuv mod krossingi, dispersiya chiziqlarining yaqinlashishi va **ZGV nuqtalari**ni keltirib chiqaradi. ZGV nuqtalar rezonansli modalar bilan bog‘liq bo‘lib, yo‘naltirilgan sezgirlikni kuchaytiradi.

6. Sekulyar tenglama va sezgirlik yadro(kernel)lari

Sekulyar tenglama $S(\omega,k;\, m)=\det Z=0$ dan implicit differensiallash orqali faza tezligi $c=\frac{\omega}{k}$ ning parametr m_i ga sezgirligi

$$\frac{\partial c}{\partial m_i}=-\frac{\partial S/\partial m_i}{\partial S/\partial c}$$

Qatlamli masalada chuqurlik bo‘yicha yadro(lar) adjoint maydonlar yordamida olinadi. Qo‘shma inversiya: ko‘p azimutli Rayleigh (VE/SVE) va Love (SH) ma’lumotlarini birgalikda moslashtirish anizotrop qattiqlik komponentlari va zichlik/qatlam qalinliklari o‘rtasidagi trade-offlarni kamaytiradi.

Azimutiy dispersiya indeksi (taklif):

$$J(\theta)=\frac{c_R(\theta)-\overline{c_R}}{\overline{c_R}},\quad \overline{c_R}=\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} c_R(\theta),d\theta$$

Elliptiklik koeffitsienti (taklif): $E(\theta)=b(\theta)/a(\theta)$- zarracha trayektoriyasining kichik/katta o‘qi nisbati, u ham inversiyada kuzatuv sifatida ishlatiladi.

7. Hisoblash usullari: SEM va SBP-SAT

Spektral element (SEM). Qiyin geometriyalar uchun SEM yuqori aniqlik beradi. Erkin sirt elementlarida yuqori tartibli kinematik uyg‘unlik va mass matritsalarni diogonalizatsiya qilish (mass-lumping) hisobni tezlashtiradi. Minimal to‘lqin uzunligiga nisbatan ≥10–12 spekt. tugun (≈≥20–24 grid nuqta) tavsiya etiladi.

SBP-SAT yuqori tartibli farqlar. Diagonal norma SBP operatorlari va SAT penaltilari sirt va interfeyslarni energiya-barqaror kiritadi. Dispersiyani boshqarish uchun **grid-stretching** o‘rniga izchil yuqori tartibli operatorlar afzal; vaqt bo‘yicha Newmark/leapfrog sxemalarida CFL eng kichik Rayleigh tezligi bilan belgilanadi.

8. Verifikatsiya: MMS va analitik limitlar

ISSN 3030-3907

MMS. Sintez yechim (u^*, p^*)yordamida konvergensiya tartibi $O(h^{2p})$ tekshiriladi.

Analitik limitlar. Izotrop elastiklikda klassik Rayleigh/Love dispersiyasi, qatlamli izotrop qatlamlarda Haskell-Thomson usuli bilan solishtirish, zaif anizotropiyada Thomsen yaqinlashuvlari bilan verifikatsiya.

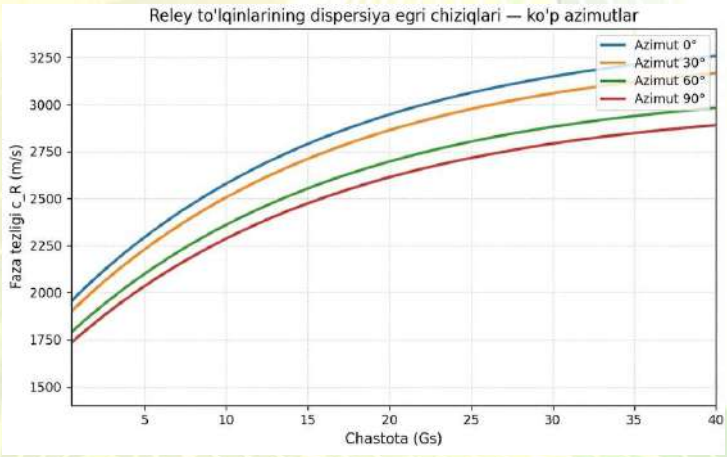
9. Natijalar va muhokama

Azimutiy imzo: ϵ, δ, γ parametrlarining kichik qiymatlarida ham $c_R(\theta)$ 2-5% diapazonda o‘zgaradi; kuchli anizotropiyada 10% va undan ko‘p.

Ellipticlik: $E(\theta)$ ning yo‘nalishga qarab farqlanishi Rayleigh qutblanishiga sezgir; bu ko‘rsatkich qatlamli muhitda qalinlik va qattiqlik nisbatlariga sezgir.

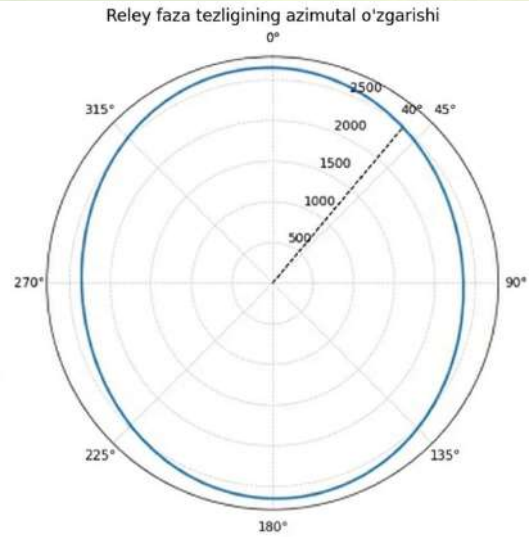
ZGV nuqtalari: qatlamlangan anizotrop modellar ZGVni ta’minlaydi; ular mod krossingi yaqinida, kuchli lokal rezonansga bog‘liq bo‘lib, kichik botiqlikdagi qatlamlarni diagnostika qiladi.

Inversiya barqarorligi: ko‘p azimutli Rayleigh + Love dispersiya ma’lumotlari, qo‘shimcha ravishda elliptiklik kuzatuvi E(θ) bilan birga, Thomsen parametrlari bo‘yicha noaniqlikni kamaytiradi.



1-Rasm. Rayleigh to‘lqinining faza tezligi — chastota bo‘yicha dispersiya chiziqlari (turli azimutlarda). Anizotropiya natijasi sifatida kichik azimutiy farqlanishlar ko‘rinadi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Rayleigh sirt to‘lqinlarining azimut bo‘yicha faza tezligining o‘zgarishini ko‘rsatadi.

10. Amaliy tavsiyalar

Ma’lumot yig‘ish: kamida 6-8 azimut yo‘nalishi, 2-40 Hz diapazon (sayt sharoitiga mos).

Diskretizatsiya: minimal Rayleigh λ_{min} bo‘yicha **≥20-24** nuqta; sirtga yaqin qatlamlarda ingichka panjara.

Inversiya: Bayesian muntazamlashtirish TV/(ℓ_2)−priorlar, qatlam qalinligi va zichlikka mustaqil cheklovlar; multi-ma’lumot c_R, c_L, E qo‘shma funksionali.

11. Cheklovlar va yo‘nalishlar

Chiziqli elastiklik kichik deformatsiyalar uchun amal qiladi; kuchli geterogenlik va yorilishlar nolinear effektlarni talab qiladi. Keyingi yo‘nalishlar: visko-/anelastik anizotropiya Q(ω) bilan; kuchli TTI/ortorombik holatlar; sirt to‘lqinlari bilan seysmo-elektrik bog‘lanish.

XULOSA

Stroh-Barnett-Lothe yondashuvi asosida anizotrop sirt to‘lqinlari uchun barqaror sekulyar tenglamalar hosil qilindi va ulardan kelib chiqadigan azimutiy dispersiya hamda elliptiklik ko‘rsatkichlari kiritildi. SEM va SBP-SAT asosidagi hisoblash protokollari, verifikatsiya va qo‘shma inversiya strategiyalari taqdim etildi. Ushbu ramka amaliy seysmika va geotexnika uchun anizotrop xossalarni ishonchli aniqlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. M. A. Biot. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. The Journal of the Acoustical Society of America, 28(2), 168–191. (1956).

2. Kh. Kh. Imomnazarov, A. E. Kholmurodov. Direct and inverse dynamic problems for SH-waves in porous media. Mathematical and Computer Modelling, 45(3–4), 270–280. (2007).

ISSN 3030-3907

3. Sh. Kh. Imomnazarov. Direct and inverse problems for nonlinear one-dimensional poroelasticity equations. Doklady Mathematics, 89(2), 250–252. (2014).
4. M. A. Quzratov. G‘ovak-elastik anizotrop muhitda sirt to‘lqinlarining sonli modellashtirilishi va dispersiya muammolari. // Qarshi Davlat Universiteti Ilmiy to‘plami. Qarshi. 2024-y.
5. D. Komatitsch va J. Tromp. Introduction to the spectral element method for 3-D seismic wave propagation. Geophysical Journal International, 139(3), 806–822. (1999).
6. I. Tsvankin. Seismic Signatures and Analysis of Reflection Data in Anisotropic Media. Amsterdam: Elsevier. (2001).
7. M. Matanov. Anizotrop muhitlarda elastik to‘lqinlarning nazariy asoslari. // Qarshi Davlat Universiteti Ilmiy Axborotnomasi. Qarshi. 2018-y.
8. A. R. Raxmatov. Seysmik xavfni baholashda sirt to‘lqinlari modellaridan foydalanish. // Toshkent Davlat Texnika Universiteti Ilmiy Jurnali. Toshkent. 2020-y.

ISSN 3030-3907