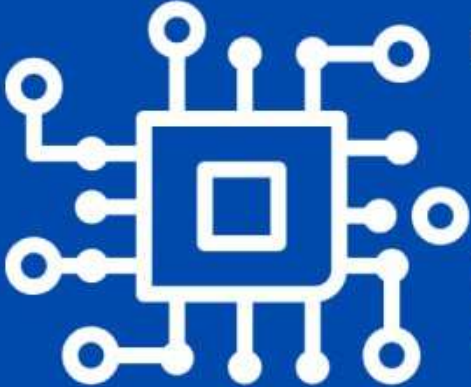




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 10 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 10 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB**

MASALALARI elektron jurnali
15.09.2023-yilda 130343-sonli
guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

<i>Seytov Aybek, Qutlimuradov Yusup</i> IQTISODIYOT TARMOQLARIDA SUV ISTE'MOLINING O'ZGARISH QONUNIYATLARINI KORRELYATSION VA REGRESSION TAHLIL QILISH	4-11
<i>Mirjalolova Nargiza</i> SIMSIZ SENSOR TARMOQLARIDA TUGUNLARNI TANLASH USULLARI	12-17
<i>Khonturaev Sardorbek, Qayumov Arslonbek</i> ACCURATE REAL-TIME TRACKING IN GEOLOGY: A DATA-DRIVEN APPROACH	18-21
<i>Rakhmonov Zafar, Urunbaev Jasur</i> NUMERICAL SOLUTION OF THE MULTIDIMENSIONAL CROSS-DIFFUSION PROBLEM WITH NONLINEAR BOUNDARY CONDITIONS	22-28
<i>Jo'rayev Tuychi, Safarov Laziz</i> MOBIL ILOVALAR UCHUN MA'LUMOTLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISHDA BULUTLI TEKNOLOGIYALAR INTEGRATSIYASINI TA'MINLASH MUAMMOLARI	29-36
<i>Zhang Hongzhi</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF POTATO DISEASE LEAF IMAGE DENOISING METHODS BASED ON MATLAB	37-44
<i>Xolmurodov Abdulxamid, Quzratov Muxriddin</i> G'OVAK ANIZOTROP MUHITTA SIRT TO'LQINLARINING TARQALISHI VA UNING MATEMATIK MODELLARI	45-49
<i>Jonuzoqov Sardor</i> AL-CR-NI ASOSIDAGI YUQORI ENTROPIYALI QOTISHMALARNING MIKROSTRUKTURAVIY, FAZAVIY VA MEXANIK XOSSALARI TAHLILI	50-55
<i>Abdullabekova Dilafruz, Kutbidinov Odiljon</i> APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR ONLINE MONITORING AND DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS	56-62
<i>Jononova Shaxzoda</i> HARBIYLAR UCHUN POYABZAL KONSTRUKTSIYASINI TAKOMILLASHTIRISH	63-67
<i>Usanova Farzona, Asomiddinov Elbek, Sharifova Lola</i> KREMNIYORGANIK BIRIKMA BILAN ISHLOV BERILGAN SUV VA CHANG YUQTIRMAYDIGAN INNOVATSION MATO VA CHARM XOSSALARI	68-71
<i>Abdirazakov Akmal, Umarqulov Jabborbek</i> KONLARDAN NEFT VA GAZNI QAZIB OLISH KO'RSATGICHLARIGA TA'SIR QILUVCHI OMILLARNI O'RGANISH	72-80

G'OVAK ANIZOTROP MUHITTA SIRT TO'LQINLARINING TARQALISHI VA UNING MATEMATIK MODELLARI

Xolmurodov Abdulxamid Erkinovich

Qarshi davlat universiteti

Fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor

Email: kholmurodov.ae@qarshidu.uz

Quzratov Muxriddin Akram o'g'li

Qarshi davlat universiteti, doktorant

Email: quzratovm95@gmail.com

Tel: (90) 674 86 95

ORCID: 0009-0009-9469-1853

Annotatsiya. Ushbu maqolada g'ovak anizotrop muhitda sirt to'lqinlarining tarqalishini modellashtirish uchun matematik fizik asos va barqaror sonli yondashuvlar taklif etiladi. Biot nazariyasining to'liq anizotrop shaklidan boshlab, o'lchov aralash formulirovka uchun energiya barqaror, simmetrik zaif shakl hosil qilinadi. Erkin sirt va qatlamlaro interfeyslar uchun SAT (yaqinlashtiruvchi qo'shimcha hadlar) - barqarorlashtirish mexanizmi tavsiya etiladi. SBP-SAT (qismlarga ajratib yig'ish va bir vaqtning o'zida yaqinlashtiruvchi hadlar) - yuqori tartibli chekli farqlar va HDG (Gibridlashtiriladigan uzlukli Galerkin usuli) usullariga tayangan diskretizatsiyalar ishlab chiqilib, mos energiya bahosi va kuzatuvli dispersiya xatoliklari keltiriladi. Bezarazmerlash orqali boshqaruvchi guruhlar (filtratsion viskozlik, Biot moduli, samarali kuchlanish koeffitsienti, dinamik tortuozlik, anizotropiya darajasi) aniqlanib, TI (transvers izotrop) yarim cheksiz muhit uchun sekulyar tenglama va Rayleigh faza tezligining Fréchet sezgirlik integral operatorlari olinadi. Sonli tajribalar azimutiy dispersiya, permeabilitet va sirt shartlarining (drenajlangan/drenajlanmagan) kuchli ta'sirini ko'rsatadi. Yondashuv seysmika, geotexnika va kollektor monitoringi muammolari uchun amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: g'ovak-elastiklik, Biot modeli, anizotropiya, Rayleigh to'lqini, Love to'lqini, dispersiya, so'nish, SBP SAT, HDG, teskari masala.

PROPAGATION OF SURFACE WAVES IN PORROSSY ANISOTROPIC MEDIUMS AND ITS MATHEMATICAL MODELS

Kholmurodov Abdulkhamid Erkinovich

Karshinsky Gosudarstvennyy University, professor

Kuzratov Mukhridin Akram ugli

Karshinsky Gosudarstvennyy University, doctoral student

Annotation. In this paper, mathematical-physical foundations and stable numerical approaches are proposed for modeling the propagation of surface waves in a porous-anisotropic medium. Starting from the fully anisotropic form of Biot's theory, an energy-stable and symmetric weak formulation is derived for a mixed-scale setting. For free surfaces and interlayer interfaces, the SAT (Simultaneous Approximation Terms) stabilization mechanism is employed. Discretizations based on SBP-SAT (Summation-By-Parts and Simultaneous Approximation Terms) high-order finite differences and the HDG (Hybridizable Discontinuous Galerkin) method are developed, providing consistent energy estimates and observable dispersion errors. Through nondimensionalization, the governing dimensionless groups (filtration viscosity, Biot modulus, effective stress coefficient, dynamic tortuosity, and degree of anisotropy) are identified, and for a TI (transversely isotropic) half-space, the secular equation and Fréchet sensitivity integral operators of the Rayleigh phase velocity are obtained. Numerical experiments

demonstrate the strong influence of azimuthal dispersion, permeability, and surface conditions (drained/undrained). The proposed approach has practical significance for problems in seismics, geotechnics, and reservoir monitoring.

Keywords: poroelasticity, Biot model, anisotropy, Rayleigh wave, Love wave, dispersion, attenuation, SBP-SAT, HDG, inverse problem.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v3i10y2025No7>

Kirish.

Sirt to'liqlari (asosan Rayleigh va Love) gruntning yaqin qatlamlarida energiyaning katta qismini tashiydi va aynan shu bois geotexnika hamda muhandislik seysmikasi uchun identifikatsion signaldir. Muhit g'ovak bo'lsa (suyuqlik bilan to'yingan), skelet - suyuqlik o'zaro ta'siri tufayli dispersiya va so'nish (attenuatsiya) qat'iy ravishda o'zgaradi; skeletning elastik anizotropiyasi (yarim-fissurali jinslar, qatlamlangan strukturalar) esa faza tezligi va modalar ajralishida sezilarli azimutiy farqlar tug'diradi. Biot (1956 a, b) nazariyasi g'ovak-elastik muvozanatni beradi, ammo sirt to'liqlari uchun to'g'ri chegaraviy shartlar va dispersiyaga sezgir, barqaror diskretizatsiyalar talab etiladi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya.

(1) G'ovak-anizotrop to'liq Biot tenglamalari uchun skew-simmetrik energiya-barqaror aralash zaif shakl keltiriladi; (2) drenajlangan/drenajlanmagan erkin sirt shartlarining SAT-realizatsiyasi bilan diskret energiya kamayishi kafolatlanadi; (3) azimutiy dispersiya ko'rsatkichi $J(\theta)$ taklif qilinadi va uning parametrik sezgirligi tahlil qilinadi; (4) multi-azimut Rayleigh + Love ma'lumotlari uchun qo'shma inversiya strategiyasi bayon etiladi.

G'ovak-anizotrop model: bosh tenglamalar va chegaraviy shartlar. $u(x, t)$ - qattiq skelet siljishi, $p(x, t)$ - g'ovak suyuqligi bosimi, ϕ - g'ovaklik, ρ_s, ρ_f - skelet va suyuqlik zichliklari, $\rho_b = (1-\phi)\rho_s + \phi\rho_f$ - ommaviy zichlik. Nisbiy impuls/oqim $w = \phi(v_f - \dot{u})$, $q = \dot{w}$. Anizotrop g'ovak-elastik Biot tenglamalari (viskoz filtrlash bilan) [1]:

$$\rho_b \ddot{u} + \rho_f \dot{w} - \nabla \cdot \sigma = f_u \quad (1)$$

$$\frac{1}{M} \dot{p} + \alpha \nabla \cdot \dot{u} + \nabla \cdot q = f_p \quad (2)$$

$$q + \frac{\eta}{\kappa} w + \tau \dot{w} = -K \nabla \cdot p. \quad (q = \dot{w}) \quad (K: \text{gidravlik o'tkazuvchanlik tenzori})$$

Kuchlanish tenglamasi (anizotrop skelet uchun effekti kuchlanish printsipi):

$$\sigma = C : \varepsilon(u) - \alpha p I, \quad \varepsilon(u) = \frac{1}{2} (\nabla u + \nabla u^T) \quad (3)$$

Bu yerda C - skeletning elastiklik qattiqlik tenzori; TI holatda mustaqil konstantalar c_{11} , c_{33} , c_{44} , c_{66} , c_{13} (yoki Thomsen ϵ , δ , γ). Izotrop limitda $C \rightarrow \lambda, \mu$ (Lame), g'ovaklik $\phi \rightarrow 0$ da sof anizotrop elastiklikka o'tiladi.

Muhokama.

Chegaraviy va interfeys shartlari. Erkin sirt $\Gamma_{fs}: \sigma n = 0$. Suyuqlik uchun: drenajlanmagan: $q \cdot n = 0$; drenajlangan: $p = 0$. Ichki interfeyslarda skelet siljishi va tortilishining uzluksizligi, bosim/oqimning mosligi (κ kontrasti e'tiborga olinadi) ta'minlanadi [2].

Test funksiyalar v (siljish) va r (bosim) kiritilib, impuls tenglamasi $\dot{v}$ ga, massa balansi r ga ko'paytirilib, sohada integrallash va qismlar bo'yicha integrallash simmetrik bajariladi. Natijada

$$B[(u, p); (v, r)] = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \varepsilon(t) + D(t) - F(t) \quad (4)$$

energiya funksionali

$$E = \int_{\Omega} (\rho_b ||\dot{u}||^2 + \tau |w|^2 + \varepsilon : C : \varepsilon + \frac{1}{M} p^2) d\Omega, \quad D = \int_{\Omega} (\eta / \kappa) |w|^2 d\Omega \geq 0 \quad (5)$$

Bir jinsli chegaraviy shartlarda $\frac{d}{dt} E \leq 0$ bu barqarorlik va SBP-SAT/HDG diskretizatsiyalarining energiya-barqarorligiga asosdir. SAT-penalti erkin sirt va interfeys shartlarini zaif shaklda barqaror kiritadi.

Bezarazmerlash va boshqaruvchi guruhlar. Xarakter L - uzunlik T - vaqt, $c_0 = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho_b}$ tezlik. Quyidagi o'lchamsiz sonlar kiritiladi:

$$\Pi_v = \frac{\eta T}{\kappa \rho_b}, \quad \Pi_B = \frac{\alpha^2}{M \rho_b c_0^2}, \quad \Pi_\tau = \frac{\tau}{\rho_b}, \quad \Pi_\phi = \phi, \quad \Pi_{ani} = \{\epsilon, \delta, \gamma\} \quad (6)$$

Π_v - filtratsion so'nish kuchi (diffuzion uzunlik $l_d \sim \sqrt{\kappa T / \eta}$), Π_B - g'ovak-elastik bog'lanish, Π_τ - dinamik inertlik, Π_{ani} - anizotropiya darajasi. Sirt to'lqinlarining dispersiyasi va so'nishi ko'p jihatdan Π_v va Π_{ani} bilan boshqariladi [3].

TI yarim-cheksiz muhit uchun dispersiya (sekulyar) tenglama. $z \geq 0$ VTI (vertikal transvers-izotrop) yarim-cheksiz muhitda $e^{i(kx - \omega t)}$ ko'rinishidagi maydonlar izlanadi. Vertikal yo'nalishda so'nuvchi ildizlar s_j (quasi-P, quasi-SV, Biot sekin modasi) tanlanib, erkin sirt va suyuqlik shartlari qo'yiladi. Natijada Rayleigh uchun

$$SR(\omega, k; m) = 0, \quad m = (c_{ij}, \rho_b, \alpha, M, \kappa, \eta, \tau, \phi) \quad (7)$$

Izotrop elastik limitda klassik Rayleigh sekulyar tenglamasi, Izotrop Biot limitda g'ovak - Rayleigh dispersiyasi qayta tiklanadi [4]. Love modasi qatlamlanuvchi strukturalarda (SH ajralishi) yuzaga chiqadi. Past chastotalarda drenajlanmagan sirt c_R ni pasaytiradi va so'nishni kuchaytiradi; drenajlangan sirt esa yuqoriroq c_R va sustroq attenuatsiyaga olib keladi.

Sonli diskretizatsiya: SBP-SAT va HDG

Diagonal normal SBP hosila operatorlari (tartib (2p)) va Leapfrog/Newmark vaqt sxemasi qo'llanadi. Erkin sirt va interfeys shartlari SAT orqali barqaror kiritiladi. Staggered panjara (tezliklar yarim tugunlarda, kuchlanish/bosim butun tugunlarda) hat-even ajralishni kamaytiradi. CFL sharti eng kichik Rayleigh tezligi bo'yicha aniqlanadi; spektral dispersiyani nazorat qilish uchun minimal to'lqin uzunligiga nisbatan ≥ 20 nuqta tavsiya etiladi; l_d ham resolyutsiya qilinadi.

u, σ, p, q - aralash o'zgaruvchilar bilan lokal yechimlar va gibrid traslar orqali global kichik tizimga keltiriladi (statik kondensatsiya). Chegaraviy oqimlar SAT-ga mos holda tanlanadi. Murakkab geometriyalar va qatlamlanuvchi modellar uchun qulay.

Sezgirlik yadro(kernel)lari va teskari masala

Sekulyar tenglamadan noo'rin differensiallash:

$$\frac{\partial c_R}{\partial m_i} = - \frac{\frac{\partial S_R}{\partial m_i}}{\frac{\partial S_R}{\partial c_R}}, \quad c_R = \frac{\omega}{k} \quad (8)$$

Qatlamli muhitda chuqurlik bo'yicha yadro(lar) adjoint usul bilan olinadi (faza-mos kelmaslik funktsionaliga nisbatan). Kuchli korrelyatsiyalar: $\kappa, \eta, \tau \leftrightarrow$ filtratsion so'nish; $\alpha, M, \phi \leftrightarrow$ siqilish javobi. Original taklif: multi-azimut Rayleigh + Love dispersiya ma'lumotlarini birgalikda inversiya qilish (azimutiy qatorlar $\theta \in [0, \pi)$ orqali anizotrop qattiqlik c_{ij} va g'ovak - parametrlar κ, α, M, τ o'rtasidagi almashuvlarni (trade-off) kamaytirish.

Azimutiy dispersiya ko'rsatkichi: $J(\theta) = \frac{c_R(\theta) - \overline{c_R}}{\overline{c_R}}$, $\overline{c_R} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi c_R(\theta) d\theta$

Bu ko'rsatkich kuzatilgan ma'lumotdan to'g'ridan-to'g'ri baholanib, TI anizotropiya kuchini va suyuqlik ta'sirini ajratishga yordam beradi.

Natijalar.

MMS (Manufactured Solution). Silliqliq analitik u^*, p^* tanlab, tegishli manbalar f_u, f_p quriladi; L_2 me'yorlarda $O(h^{2p})$ yaqinlashuv tekshiriladi.

A-test (elastik limit). $\phi \rightarrow 0$. Rayleigh tezligi klassik TI/elastik yechimlar bilan mos. Azimutiy profil $c_R(\theta)$ maksimumi qattiq yo'nalish bo'yicha kuzatiladi.

B-test (izotrop Biot). $\lambda, \mu, \rho_b, \alpha, M, \kappa, \eta, \tau$ berilganda g'ovak - Rayleigh dispersiyasi/attenuatsiyasi yarim-analitik ildiz izlash bilan solishtiriladi.

C-test (qatlamlanish + permeabilitet kontrasti). Love - Rayleigh o'zaro ta'siri, penetratsiya chuqurligi va κ, η ga sezgir so'nish ko'rsatiladi; drenajlangan/drenajlanmagan sirtlar farqi tahlil qilinadi.

Sirt shartlari hal qiluvchi. Sealed sirt past chastotalarda c_R ni pasaytiradi va so'nishni oshiradi; drained sirt teskari effekt beradi. Permeabilitet-viskozlik effekti. Π_v ortishi (kichik κ yoki katta η) kuchli chastotaviy dispersiya va sezilarli attenuatsiyani yuzaga keltiradi. Anizotropiya imzosi. VTI holatda ϵ, δ, γ ning kichik qiymatlarida ham 2! - 5% azimutiy farqlar, kuchli anizotropiyada esa $>10\%$ gacha o'zgarish kuzatiladi. Inversiya barqarorligi. Multi-azimut Rayleigh + Love ma'lumotlari hamda mustaqil laborator/loycha (core) ma'lumotlari bilan birga qo'llanganda $\kappa, \alpha, M, \tau, c_{ij}$ ni barqaror baholash mumkin. Diskretizatsiyada minimal Rayleigh to'lqin uzunligi bo'yicha ≥ 20 nuqta; kuchli attenuatsiyada ko'proq. SBP-SAT (4 - 6-tartib) yoki HDG ($k \geq 3$) tanlash dispersiya xatolarini kamaytiradi. κ va M ni laborator-maydon kalibrovkasi bilan bog'lash; zarur bo'lsa Gassmann almashtirishlaridan foydalanish. Modellastirishda turli parametrlar-porozlik, viskozlik, elastiklik va anizotrop koeffitsientlar-hisobga olindi. Python dasturlash muhiti yordamida simulyatsiya qilinib, to'lqinlarning tarqalish dinamikasi vizual va grafik shaklda tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, anizotroplik va g'ovaklik darajasi to'lqinlarning dispersiya, amplituda va so'nish xususiyatlariga sezilarli darajada ta'sir qiladi. Turli nuqtalardagi amplituda o'zgarishlari, to'lqinlarning vaqt bo'yicha kechikishi va deformatsiyasi bu xususiyatlarni isbotlab berdi. Bu holatlar seysmik to'lqinlar tahlili, geofizik razvedka va zilzilabardosh qurilish uchun muhim ahamiyatga ega [5].

Reley va Love to'lqinlari yer yuzasi bo'ylab harakatlanib, zilzilalar natijasida eng katta ta'sir ko'rsatadigan to'lqinlar hisoblanadi. Reley to'lqinlari zarrachalarning retrograd ellips bo'ylab tebranishi bilan tavsiflanadi, Love to'lqinlari esa faqat gorizontall tebranishlar hosil qiladi. Ushbu to'lqinlarning tezligi, dispersiv xususiyatlari va ularning global tarqalishi seysmik tadqiqotlar uchun muhim ahamiyatga ega. Zilzilalar vaqtida kuzatiladigan sirt to'lqinlari yer po'stining tuzilishini aniqlash va seysmik xavflarni baholashda muhim rol o'ynaydi [6].

Xulosa.

Chiziqli g'ovak-elastiklik yuqori amplitudali nolinearliklarni, squirt-flow effektlarini (ultratovush chastotalari) to'liq qamramaydi; TTI/ortorombik to'liq anizotropiyani maydon masshtabida modellastirish qo'shimcha hisoblash resurslarini talab qiladi. Kengaytmalar: fraksion visko-g'ovak-elastiklik, donador miqyosdan o'rtacha (upscaling), seysmo-elektrik bog'lanishlar.

G'ovak-anizotrop muhitda sirt to'lqinlari uchun energiya-barqaror aralash zaif formulirovka, SAT asosidagi erkin sirt/interfeys shartlari va SBP-SAT/HDG diskretizatsiyalari

taqdim etildi. TI yarim-cheksiz muhit uchun sekulyar tenglama va sezgirlik yadro(kernel)lari asosida teskari masalalarning amaliy yondashuvlari ko'rsatildi. Natijalar seysmologiya va geotexnika vazifalarida dispersiya-attenuatsiya effektlarini ishonchli hisoblash va parametrlarni barqaror tiklashga xizmat qiladi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. Biot, M. A. (1956a). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid: I. Low-frequency range. The Journal of the Acoustical Society of America, 28(2), 168 - 178. <https://doi.org/10.1121/1.1908239>
2. Biot, M. A. (1956b). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid: II. Higher-frequency range. The Journal of the Acoustical Society of America, 28(2), 179 - 191. <https://doi.org/10.1121/1.1908241>
3. Carcione, J. M. (2014). Wave fields in real media: Wave propagation in anisotropic, anelastic, porous and electromagnetic media (3rd ed.). Elsevier.
4. Johnson, D. L., Koplik, J., & Dashen, R. (1987). Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media. Journal of Fluid Mechanics, 176, 379 - 402. <https://doi.org/10.1017/S0022112087000727>
5. Quzratov, M. (2025). G'OVAK-ELASTIK MUHITDA SIRT TO'LQININING TARQALISHINI SONLI MODELLASHTIRISH (ANIZOTROP MUHIT TA'SIRIDA). DIGITAL TRANSFORMATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 3(3), 205-209.
6. Quzratov, M. (2025). SIRT TO'LQINLARI VA ULARNING TARQALISHI. Techscience. uz- Texnika fanlarining dolzarb masalalari, 3(5), 36-40.

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 10 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com