Butunov Jaxongir Ruziqulovich (Toshkent Kimyo-texnologiya instituti "Oliy matematika" kafedrasi katta o'qituvchi; jaxongir.butunov@gmail.com),
Shomurodov Nozimbek Anvar o'g'li (Toshkent davlat Transport universiteti "Oliy matematika" kafedrasi assistenti; Nozimshoh007@gmail.com),
Karimova Sanobar To'yboyevna (Toshkent Kimyo-texnologiya instituti Neft va gaz texnologiyalari fakulteti "Fizika va energetika" kafedrasi katta o'qituvchi; sanobarkarimova1974@gmail.com)

QOVUSHQOQ-ELASTIK IKKI QATLAMLI MUHITDA SILJISH TO'LQINLARINING TARQALISHI

Annotatsiya. *Ushbu maqolada qovushqoq-elastik xossalarga ega bo'lgan ikki qatlamli muhitda siljish to'lqinlarining tarqalish jarayoni o'rganilgan. Muhitning reologik xususiyatlari hisobga olingan holda to'lqinlarning tarqalish tezligi, so'nishi va chastotaga bog'liqligi tahlil qilinadi. Qatlamlar orasidagi chegaraning to'lqinlar xatti-harakatiga ta'siri matematik modellar asosida tadqiq etilib, olingan natijalar geofizika va muhandislik masalalarida qo'llash uchun muhim ahamiyatga ega ekanligi ko'rsatiladi.*

Kalit so'zlar*: siljish to'lqini, qovushqoq-elastik, eksponensial bir jinisli bo'lmagan, kompleks chastota va to'lqin soni.*

Бутунов Жахонгир Рузикулович (старшего преподавателя кафедры высшей математики Ташкентского химико-технологического института; jaxongir.butunov@gmail.com),
Шомуродов Нозимбек Анвар угли (ассистент кафедры высшей математики Ташкентского государственного транспортного университета; Nozimshoh007@gmail.com),
Каримова Санобар Тойбоевна (старший преподаватель кафедры "Физика и энергетика" факультета нефтегазовых технологий Ташкентского химико-технологического института; sanobarkarimova1974@gmail.com)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СДВИГОВЫХ ВОЛН В ВЯЗКОУПРУГОЙ ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

Аннотация. *В данной статье исследуется распространение сдвиговых волн в двухслойной среде с вязкоупругими свойствами. Анализируется зависимость скорости распространения, затухания и частоты волн от реологических свойств среды. На основе математических моделей изучается влияние границы между слоями на поведение волн, и показано, что полученные результаты имеют большое значение для применения в геофизике и технике.*

Ключевые слова: *сдвиговая волна, вязкоупругость, экспоненциальная неоднородность, комплексная частота и волновое число.*

Butunov Jakhongir Ruziqulovich (Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics, Tashkent Chemical-Technological Institute; jaxongir.butunov@gmail.com),
Shomurodov Nozimbek Anvar ugli (Assistant of the Department of Higher Mathematics, Tashkent State Transport University; Nozimshoh007@gmail.com),
Karimova Sanobar Toiboevna (Tashkent Chemical-Technological Institute, Faculty of Oil and Gas Technologies, "Physics and Energy" Department, Senior Lecturer; sanobarkarimova1974@gmail.com)

PROPAGATION OF SHEAR WAVES IN A VISCOELASTIC TWO-LAYER MEDIUM

Annotation. *This article examines the propagation of shear waves in a two-layer medium with viscoelastic properties. The dependence of wave propagation velocity, attenuation, and frequency on the rheological properties of the medium is analyzed. Using mathematical models, the influence of the boundary between the layers on wave behavior is examined, and the results obtained are shown to have significant implications for applications in geophysics and engineering.*

Key words: *shear wave, viscoelasticity, exponential heterogeneity, complex frequency and wave number.*

Kirish. Ushbu maqolada eksponensial bir jinisli bo'lmagan qovushqoq-elastik ikki qatlamli muhitda siljish to'lqinlarining tarqalishi masalasi o'rganiladi. Ushbu maqolaning asosiy maqsadi qatlamli muhitda to'lqin tarqalishi muammosini yechish metodologiyasi va algoritmini ishlab chiqishdan iborat. Muammoni matematik shakllantirish uchun Lamening kuchishlar orqali olingan xususiy xosilali differensial tenglamasi va unga mos keladigan chegara shartlaridan foydalanilgan. Kompleks chastota va to'lqin soni o'rtasidagi bog'liqlikni ifodalovchi tenglama dispersiya tenglamasi bo'lib, sonli yechiladi. Dispersiya munosabati tenglamasi bu ishda Myuller usuli yordamida yechilgan. Dissipativ jihatdan bir xil bo'lmagan mexanik tizimlar uchun, siljish to'lqinining tarqalish tezligi birinchi qatlamda hajmiy to'lqin tezligidan katta bo'lsa, chekli miqdordagi to'lqinlar mavjud bo'lishi aniqlandi. Shuningdek, hech qanday siljish to'lqinlari birinchi qatlamda minimal hajmiy to'lqin tezligidan past tezlikda tarqalmasligi aniqlandi. Deformatsiyalanuvchi to'lqin tarqalish qonunlari fan va muhandislikning ko'plab sohalari uchun katta qiziqish uyg'otadi. Shuning

uchun deformatsiyalanuvchi to‘lqin tarqalishini o‘rganish mexanikaning dolzarb muammosi ekanligi asoslab berildi.

Mavzuga oid adabiyotlarning tahlili. Biz ushbu mavzuga bevosita tegishli ba’zi adabiyotlarni tahlilini keltiramiz. Elastik to‘lqin tarqalish muammosi [1,2] ishlarda keltirilgan. Ko‘p qatlamli muhitda elastik to‘lqinlarning tarqalishi muammosi [3,4,4,6] va boshqa joylarda ko‘rib chiqilgan.

Tadqiqot metodologiyasi. Elastik to‘lqindan farqli o‘laroq, irsiy elastik to‘lqin dispersiya tenglamasi yetarlicha o‘rganilmagan. To‘lqin materialning qobiliyatini hisobga olish strukturaning dinamik xolatini o‘rganishda muhim rol o‘ynaydi. Bu erkin tebranishlarning sezilarli darajada zaiflashishiga, majburiy tebranishlar amplitudalarining sezilarli darajada pasayishiga va tebranishlar paytida kuchlanish konsentratsiyasi zonasida kuchlanishlarning tekislanishiga olib kelishi topilgan. Qovushqoq-elastik material uchun Poxgammer tipidagi chastota tenglamasi olinadi va kompleks faza tezligining dispersiyasi aniqlanadi. Materialning qovushqoq elastik xususiyatlari Rijanitsin-Koltunov irsiy yadrosi yordamida tavsiflanadi. Strukturaning dissipativlik xususiyatlari baholanadi.

Tahlil va natijalar. Ushbu maqolada biz ikki qavatli muhitda erkin to‘lqinlarning tarqalishini o‘rganamiz, bu yerda birinchi qatlam $\{x \in R, y \in [-h, 0]\}$ operator eksponensial bir jinislilika ega, ikkinchi qatlam $\{x \in R, y \in [0, d]\}$ esa operator siljish moduliga ega bo‘lgan bir jinisli

$$\tilde{\mu}_j[f(t)] = \mu_{0j}\left[[f(t)] - \int_{-\infty}^{t} R_{\mu}^{(i)}(t-\tau)[f(\tau)]d\tau\right], j = 1,2. \tag{1}$$

$f(t)$–ixtiyoriy funksiya; $R_{\mu}^{(i)}(t-\tau)$-mos ravishda, 1 va 2-qatlamlarning relaksatsiya yadrosi; μ_{oj} – oniy siljish moduli; ρ_j - mos ravishda, 1 va 2-qatlamlarning zichligi; $j = 1$ – nisbatlar indeksi birinchi qatlamga tegishli; indeks, $j = 2$ – nisbatlar ikkinchi qatlamga tegishli; h va d – mos ravishda, birinchi va ikkinchi qatlamlarning qalinligi. Birinchi va ikkinchi qatlamlarning siljish moduli va zichligi qonunga muvofiq qalinlikka qarab o‘zgaradi deb taxmin qilinadi

$$\begin{aligned} &\tilde{\mu}_j(x,y)[f(t)] = \mu_{0j}e^{2\gamma_{\mu j}y}\left[[f(t)] - \int_{-\infty}^{t} R_{\mu}^{(i)}(t-\tau)[f(\tau)]d\tau\right], (j = 1,2) \\ &\rho_j(x,y) = \rho_{j0}e^{2\gamma_{\rho j}y}, \qquad y \in [-h,0] \cup [0,d]. \end{aligned} \tag{2}$$

Bu yerda $\rho_{j0}, \gamma_{\mu j}, \gamma_{\rho j}$ – doimiy qiymatlar. Birinchi va ikkinchi turdagi sof siljish to‘lqinlarining tarqalishi tenglamasi quyidagicha:

$$\nabla^2 w_j + 2\gamma_j \frac{\partial w_j}{\partial y} - \int_{-\infty}^{t} R_{\mu j}(t-\tau) D_{\nabla j}(\tau) d\tau = \frac{1}{c_{sj}^2}\frac{\partial^2 w_j}{\partial t^2}, \tag{3}$$

Bu yerda ∇^2 – Laplas operatori;

$$R_{\nabla j} = R_{\mu j}(t-\tau)(1+2\alpha_j),\ D_{\nabla j} = \nabla^2 w_j + 2\alpha_j \frac{\partial w_j}{\partial \tau^2}, c_{sj}^2 = \mu_{0j} / \rho_{j0}.$$

(3) integral-differensial tenglamalarni yechish uchun chegara shartlarini belgilash kerak. Erkin chegara $y = -h, y = d$ shartlari quyidagicha bo‘ladi:

$$\left.\frac{\partial w_1}{\partial y}\right|_{y=-h} = 0,\ \left.\frac{\partial w_2}{\partial y}\right|_{y=d} = 0. \tag{4}$$

1 va 2- qatlamlarning kontakt chegarasida siljishlar va siljish kuchlanishlarining uzluksizligi shartlari qabul qilinadi:

$$w_1(x,0) = w_2(x,0),\ \sigma_{yz,1}(x,0) = \sigma_{yz,2}(x,0), \tag{5}$$

yoki Guk qonunini (5) hisobga olgan holda, quyidagi shaklni oladi:

$$w_1(x,0) = w_2(x,0),$$

$$\mu_{01}\left(\frac{\partial w_1}{\partial y}\Big|_{y=0} - \int_{-\infty}^{t} R_{\mu 1}(t-\tau)\frac{\partial w_1(\tau)}{\partial y}\Big|_{y=0}\right) =$$

$$= \mu_{02}\left(\frac{\partial w_2}{\partial y}\Big|_{y=0} - \int_{-\infty}^{t} R_{\mu 2}(t-\tau)\frac{\partial w_2(\tau)}{\partial y}\Big|_{y=0}\right).$$

Antitekis masalasi ko‘rib chiqilaganda, siljish vektori quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$\vec{u}_j = \left[0, 0, w_j(x,y,t)\right], \qquad (6)$$

(4) va (5) tenglamalarning (2) va (3) chegara shartlarini qanoatlantiradigan yechimini topish kerak bo‘ladi. (4) tenglamaning yechimi x o‘qi yo‘nalishi bo‘yicha tarqaladigan garmonik to‘lqin sifatida ifodalanadi

$$w_j(x,y,t) = \left(A_j e^{k\nu_{1j}y} + B_j e^{k\nu_{2j}y}\right)e^{i(kx-\omega t)}, \qquad (7)$$

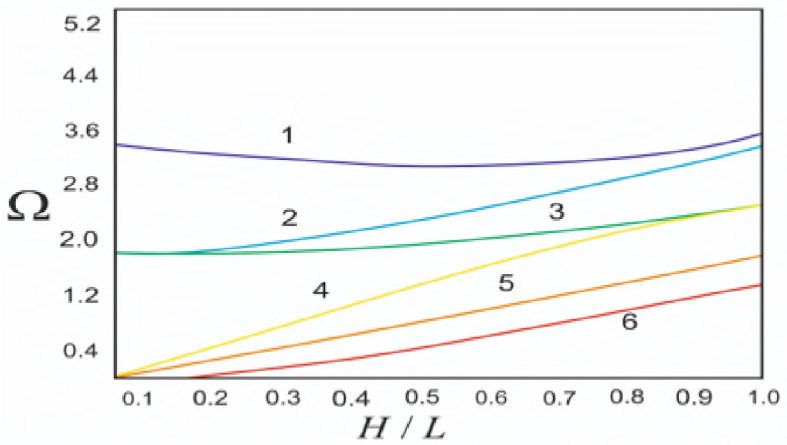
Bu yerda A_j, B_j – (4) va (5) chegara shartlaridan aniqlanadigan integral doimiy hisoblanadi:

$$\nu_{1,2j} = -\frac{\alpha_j}{k} \pm \sqrt{\frac{\alpha_j^2}{k^2} - \theta_j\eta_j + 1}, \quad \eta_j = \frac{\omega^2}{k^2 c_{s2j}^2 \Gamma_{kj}}, \theta_j = \frac{c_{s2j}^2}{c_{s1j}^2},$$

$$\Gamma_{kj} = 1 - \Gamma_{\mu j}^c - \Gamma_{\mu j}^s,$$

$\Gamma_{\mu j}^c(\omega_R) = \int_0^\infty R_{\mu j}(\tau)\cos\omega_R\tau\, d\tau, \Gamma_{\mu j}^s(\omega_R) = \int_0^\infty R_{\mu j}(\tau)\sin\omega_R\tau\, d\tau$ – mos ravishda, material yadrosidagi Fure relaksatsiyasining cosinus va sinusoidal tasvirlari.

Olingan sonli natijalar 1-rasmlarda keltirilgan. Rasmdan kurinib turibdiki, xos chastotani haqiqiy kismini asimtotik kiymatlarga yakinlashib borishi topildi. Olingan natijalardan kelib chiqadiku, xos chastotani birinchi modasi elastiklik nazaryasi va qobiq nazaryasidan olingan natijalar uzun tulqinlar sohasidi amalda ustma ust tushadi 15%gacha farq bilan ($h_R < 0{,}025$). Agar muhitning inersionosti hisobga olinmasa, birinchi chastota oshib ketishiga olib keladi. Chastotalarning yuqori moddalari amalda o‘zgarmasligi topildi:



1-rasm. Tebranishlar chastotasini haqiqiy va mavhum qisimlarini to‘lqin uzunligiga bog‘liq o‘zgarishi 2.4,5 – $\mathrm{Re}\,\Omega$; 1.3,6 – $\mathrm{Im}\,\Omega$.(n=5)

Xulosa va takliflar. Shunday qilib, birinchi qatlam bir xil bo‘lmagan va ikkinchisi bir xil bo‘lganda, ikki qavatli muhitda to‘lqinlarning tarqalishi quyidagi xususiyatlarga ega:

– agar siljish to‘lqinining tarqalish tezligining haqiqiy qismlari birinchi qatlamning asosiy to‘lqin tezligining haqiqiy qismlaridan ($\sqrt{1+\gamma^2/k^2}$ ga ko‘paytiriladi) va ikkinchi qatlamning asosiy to‘lqin tezligidan katta bo‘lsa, to‘lqinlar soni cheksizdir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Микер Т., Мейтцлер А. Волноводное распространение в протяженных цилиндрах и пластинках. Физ. акустика. Принципы и методы. Пер. с англ. 1966, 1 А, с. 140–203.

(2). Комиссарова Г.Л., Радько В.П., Троицкий В.А., Давыдов Е.А. Распространение нормальных волн в трубах, дисперсионные характеристики нормальных волн. Неразрушающий контроль. 2008, № 3, с. 14–20.

(3). Jones J.P. Wave Propagationin a Two-Layered Medium // Journal of Applied Mecha-nics. 1964, June, p. 213–222.

(4). Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. М., “Наука”, 1973, 342 с.

(5). Achenbach J. D. Wave propagation in elastic solids. North Holland, Amsterdam, 1973, 440 p.

(6). Погосян Н.Д., Саноян Ю.Г., Терзян С.А. Распространение сдвиговых волн в двухслойной среде в антиплоской постановке. Известия НАН Армении. 2013, 64, №4, с. 12–16.

Baychayev Fazliddin Xusenovich (Navoiy davlat Konchilik va texnologiyalar universiteti, pedagogika fanlari bo‘yicha falasafa doktori (PhD), “Umumiy fizika” kafedrasi dotsenti; e-mail: bfazliddin1983@gmail.com)

“FIZIKA” FANIDAN KONCHILIK SOHASIGA YO‘NALTIRILGAN TAJRIBA ISHLARINI TASHKIL ETISH VA O‘TKAZISH

Annotatsiya. *Ushbu maqolada kon-metallurgiya sanoati uchun mutaxassislar tayyorlashda fizika fanining o‘rni, fanning ishlab chiqarishdagi ahamiyati taxlil etilgan. Texnika oliy ta’lim muassasalarida olib boriladigan tajriba ishlarini mutaxassislikka yo‘naltirish orqali olib boriladigan tajriba mashg‘ulotlarning sifatini yanada oshirishning uslubiy asoslarini ishlab chiqish va ta’lim jarayoniga tatbiq etishda beradigan natijalari bayon etilgan. Shuningdek, konchilik sohasida olib boriladigan tajriba ishlarini tashkil etish va o‘tkazish tog‘ jinsining elektr va magnit xususiyatlarini o‘rganishga oid tajriba ishlari misolida ko‘rsatib berilgan.*

Kalit so‘zlar*: oliy ta’lim, fizika fani, kon-metallurgiya sanoati, mutaxassis, tajriba ishlari, ishlab chiqarish, magnit maydon, tog‘ jinsi, induktivlik, magnit singdiruvchanlik, yassi kondensator, delektrik singdiruvchanlik.*

Байчаев Фазлиддин Хусенович (доктор философии (PhD) по педагогическим наукам, доцент кафедры «Общей физики», Навоийский государственный горно-технологический университет; e-mail: bfazliddin1983@gmail.com)

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ, НАПРАВЛЕННОЙ НА ГОРНУЮ СФЕРУ

Аннотация. *В данной статье анализируется роль физики в подготовке специалистов для горно-металлургической промышленности и ее значение в производстве. Описаны результаты разработки методических основ дальнейшего повышения качества экспериментальных занятий, проводимых в технических высших учебных заведениях, путем ориентации экспериментальных работ на специальность и внедрения их в образовательный процесс. Также представлена организация и проведение экспериментальных работ в горнодобывающей отрасли на примере исследований электрических и магнитных свойств горных пород.*

Ключевые слова: *высшее образование, физика, горно-металлургическая промышленность, специалист, экспериментальные работы, производство, магнитное поле, горная порода, индуктивность, магнитная проницаемость, плоский конденсатор, диэлектрическая проницаемость.*

Baychaev Fazliddin Khusenovich (Doctor of philosophy in pedagogical sciences (PhD), associate professor of the department of “General physics”, Navoi State University of Mining and Technologies; e-mail: bfazliddin1983@gmail.com)

ORGANIZATION AND IMPLEMENTATION OF A PHYSICS LABORATORY WORK FOCUSED ON THE MINING SECTOR

Annotation. *This article analyzes the role of physics in training specialists for the mining and metallurgical industry and its significance in production. The paper describes the results of developing methodological foundations for further improving the quality of experimental classes conducted in technical higher education institutions by orienting experimental work towards specific specialties and implementing these approaches in the educational process. Additionally, the organization and execution of experimental work in the mining industry are presented, using research on the electrical and magnetic properties of rocks as an example.*

Key words: *higher education, physics, mining and metallurgical industry, specialist, experimental work, production, magnetic field, rock, inductance, magnetic permeability, flat capacitor, dielectric permittivity.*