

RUNGE-KUTTA USULIGA ASOSLANGAN SIRT QATLAMI SOHASIDA AKUSTIK TO‘LQINLARNING TARQALISH MODELI

MAHAMMADOV A.A.

FarDU talabasi, a04704941@gmail.com

Annotatsiya: Sirt qatlami sohasida akustik to‘lqinlarning tarqalishini simulyatsiya qilish musbat qiymatli akustik tezlik gradiyentini olish orqali amalga oshiriladi, shunda bu simulyatsiyada sirt qatlami sohasida to‘lqin hodisasi qolib ketadi. Ushbu tadqiqotda akustik nurlarning emissiyasi ishlatilgan nurning tushish burchagi va uzunligini o‘zgartirish orqali amalga oshirildi va akustik tezlik gradiyentini aniqlash 2-tartibli Runge-Kutta tartibidan foydalanib amalga oshirildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, 0 dan 40 metrgacha chuqurlikda 1405 m/s akustik tezlik bilan, 1 metr uzunlikda va +2,5 gradiyent naqshida 250 metr to‘lqin tarqalishi bilan 0,09 radian minimal tushish burchagi olindi. Sirt qatlami sohasida to‘lqinlarning tarqalishi bo‘yicha analitik va hisoblash natijalarini taqqoslash 4,51% xatolikni tashkil qiladi.

Kalit so‘zlar: Akustik modellashtirish gradient, Runge-Kutta usuli, sirt qatlami, uzatish yo‘qotilishi.

KIRISH. To‘lqinlar - bu muhit orqali yoki muhitsiz tarqaladigan tebranish energiyasining tarqalishidir [1, 2]. Akustika - bu gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlardagi barcha mexanik to‘lqinlarni o‘rganadigan fan.

Suv osti akustikasi - bu mediana sifatida tovushdan foydalanib, suv havzalarida va suv tubida nishonlarni aniqlaydigan dengiz maydonidir [3-6].

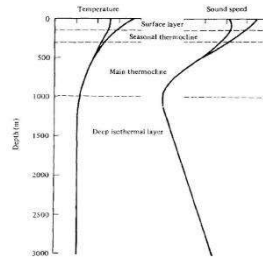
Suv osti akustikasining rivojlanishi odamlarga baliqchilar va dengiz floti uchun vosita sifatida juda katta yordam berdi. Suv osti akustik to‘lqinlari dengizda hayot mavjudligini aniqlash uchun foydalidir. Bu to‘lqinlar suv osti portlashlarini (seysmik), zilzilalarni, vulqon otilishlarini, baliqlar va boshqa hayvonlar tomonidan chiqarilgan tovushlarni, kema faoliyatini tinglash yoki suv osti sharoitlarini aniqlash uchun uskunalar sifatida ishlatiladi [7-9]. Bu to‘lqinlar, shuningdek, aniqlangan obyektidan masofani va uning o‘lchamini o‘lchash uchun ham ishlatiladi, masalan, suv osti kemalari, baliq turlari, baliq hajmi, baliqlar soni, plankton va boshqa dengiz jonzorlarini aniqlash, shuningdek, to‘lqinning harakatlanish vaqtini o‘lchash [10-14].

Dengiz yuzasida faol suv jonzotlari mavjud, shuning uchun suv osti akustik nurlari mavjudligi bilan ularning mavjudligini bilish mumkin. Runge-Kutta usuli bilan, bu sirt maydoni bo'ylab harakatlanadigan akustik nurlar boshqa muhitdan o'tsa, aks etadi va sinadi. Yuqoridagi tushuntirish sirt qatlami sohasida akustik nurlarning tarqalishini simulyatsiya qilish uchun MATLAB dasturi bilan bog'liq tadqiqotlarni ta'kidlashi mumkin.

ADABIYOT SHARHI. Tovush to'lqinlari - bu gaz, suyuq yoki qattiq muhitda siqish va cho'zilish natijasida yuzaga keladigan bo'ylama to'lqinlar. Ipdagi to'lqinlar kabi holatlar shunchaki tarqaladigan buzilishlardir, molekularning o'zlari esa shunchaki muvozanat holati atrofida oldinga va orqaga tebranadi. Tovush to'lqinlari uch toifaga bo'linadi, ya'ni chastotasi <20 Gts bo'lgan infrasonik to'lqinlar, chastotasi $20 - 20\ 000$ Gts bo'lgan audiosonik to'lqinlar va chastotasi $>20\ 000$ Gts bo'lgan ultrasonik to'lqinlar [15].

Asosiy akustik nazariya asosiy akustik tenglamalarni chiqarishni osonlashtirish uchun bir nechta taxminlardan foydalanadi. Qo'llaniladigan taxmin shundan iboratki, suyuqlik ko'rinmas yoki zarrachalar o'rtasida ishqalanish kuchi yo'q. Hisob-kitoblar kichik miqyosda amalga oshiriladi yoki sodir bo'ladigan o'zgarishlar atrof-muhit qiymati bilan solishtirganda juda kichik va suyuqlik tezligi nolga teng deb hisoblanadi ($U_0 = 0$). Akustik to'lqinli tovush qurilmalarining fizikasi va dinamikasini tushunishning eng oson yo'li impulsli javob modellari orqali amalga oshiriladi [16].

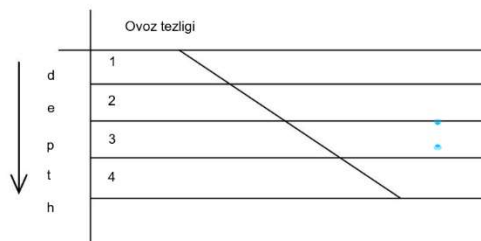
Asosiy akustik tenglamalarni chiqarishda ishlatiladigan boshqaruvchi tenglamalar massaning saqlanish qonuni, impulsning saqlanish qonuni va holat tenglamasidir. Dengiz ostidagi tovush tezligining oshishi harorat, sho'rlanish va chuqurlikning oshishi bilan to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir. Sho'rlanish chuqur suvda tovush tezligiga unchalik ta'sir qilmaydi [17]. Tovush tezligi profili 1-rasmda ko'rsatilgan.



Akustik tarqalish - bu akustik energiyaning suvning oraliq muhiti orqali uzatilishi. Tovush to'liqlari sinish, aks ettirish va uzatish orqali tarqaladi. Trigonometriya burchak kosinusining tovush tezligiga nisbati chegara bo'ylab doimiy bo'lib qolishini ko'rish uchun ishlatiladi. Bu kuzatuv Snell qonuni deb ataladi va natijada quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

Tovush tezligini chuqurlik funksiyasi sifatida oddiy chiziqli tenglama bilan tavsiflash mumkin. Bular natijalardan tovush nurlari radiusi uchun funksiyalarni, shuningdek, boshqa kattaliklarni topish uchun foydalanish mumkin.

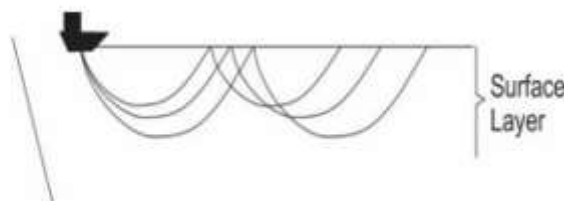
Nuqta chiziq sifatida ko'rsatilgan tovush tezligi g gradyenti, $i + 1$ qatlamidagi tovush tezligining kattaligi quyidagi iteratsiya tenglamasi bilan ko'rsatilgan:



2-rasm. Qatlamli muhitdagi tovush tezligi [19].

Bu holda, agar sirt qatlami musbat gradientga ega bo'lsa va qatlam yetarlicha chuqur bo'lsa, unda tovush sirtga qaytarilishi va keyin qatlamga qaytarilishi mumkin. 3-rasmda ko'rsatilganidek, u pastga qaytarilgandan so'ng, sirtga qarab egilib, faqat sirtga qaytariladi.

Sirt qatlami kunduzgi vaqtda yuzaga keladigan aralash qatlamni o'z ichiga



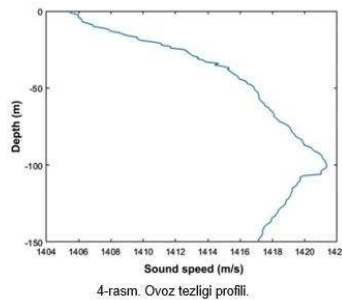
3-rasm. Musbat gradient to'liqlarining tarqalishi [17].

oladi. Bu qatlamda potensial Harorat, namlik va shamol tezligi balandlik oshishi bilan o'zgaras bo'lib qoladi [21].

Agar g gradiyenti musbat, lekin doimiy bo'lmasa, $i + 1$ qatlamidagi c ning qiymati quyidagicha bo'ladi 2-tartibli Runge-Kutta usuli yordamida yaqinlashtiriladi, shunda (5) tenglama quyidagicha bo'ladi:

TADQIQOT USULLARI. Ushbu tadqiqot modellashtirish va hisoblash tadqiqotlaridir. Ushbu tadqiqot faqat sirt qatlami sohasida akustik to'lqinlarning tarqalishini simulyatsiya qiladi. Ushbu tadqiqotda ishlatilgan vositalar noutbuklar va MATLAB dasturlari edi. Ushbu tarqalish modelidagi shakl x va y o'qlariga nisbatan 2 o'lchovli. Tadqiqot bir necha bosqichda amalga oshirildi, ya'ni modellashtiriladigan akustik manbadan obyektни aniqlash, Snell qonuni va Runge-Kutta usuli uchun iterativ tenglama yaratish, qayta ishlanadigan ikkilamchi ma'lumotlarni aniqlash, tarqalishni aniqlash uchun Runge-Kutta usuli dasturini yaratish, dasturni sinab ko'rish va hisoblash bilan analitik taqqoslashlarni amalga oshirish.

NATIJALAR VA MUHOKAMALAR. Sirt qatlami sohasida tovush to'lqinlarining tarqalishini simulyatsiya qilish bo'yicha tadqiqot natijalari.



Ushbu to'lqin tarqalishi simulyatsiyasi musbat x va y o'qlarida 2 o'lchovli hisoblash usulida Snell qonunining iterativ tenglamasi bilan Runge-Kutta usulidan foydalanadi. Runge-Kutta usuli Snellius qonunining iterativ hosilasi uchun ishlaydi. To'lqin tarqalishining ushbu simulyatsiyasi gradient parametrlari, nur radiusi, tovush tezligi va chuqurlikdan foydalanadi. Analitik va hisoblash yechimlari xato qiymatlarini topish bilan taqqoslanadi. Agar xato qiymati maqbul bo'lsa, muhokama tovush tezligi va chuqurlik haqidagi ma'lumotlar bilan davom etadi [22-24]. Ovoz tezligi profili ma'lumotlari va chuqurlik 4-rasmda ko'rsatilgan.

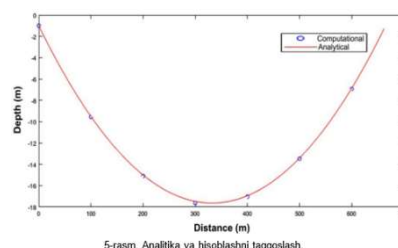
Ushbu tovush tezligi profili Washingtondagi Dengiz tadqiqotlari laboratoriyasidan olingan tovush tezligi va chuqurlik ma'lumotlari asosida yaratilgan [25]. Tovush tezligi chuqurlik bilan ortadi, boshlang'ich tezligi 1 m chuqurlikda 1405,44 m/s dan 101 m chuqurlikka, tezligi esa 1421,36 m/s ga teng. Tovush tezligining bu oshishi doimiy haroratga va ortib borayotgan bosim ta'siriga ega bo'lgan bir hil qatlamda sodir bo'ladi, shuning uchun sirt qatlami maydoni musbat gradientga ega.

Suv ostidagi tovush holati ko'p o'zgarishlarga ega, ammo ba'zi komponentlar doimiydir. Sinish nafaqat yorug'lik suvdan havoga o'tganda, balki yorug'lik tezligi o'zgarganda ham sodir bo'ladi.

Xuddi shunday, har safar okeanni kesib o'tadigan tovush to'lqinlari tovush tezligida o'zgarishni boshdan kechiradi. Tovush tezligi harorat, sho'rlanish va bosimning o'zgarishi bilan o'zgarganligi sababli, tovush to'lqinlari okean muhitida harakatlanayotganda sinib ketadi.

Runge-Kutta usuli va Snellius qonuni iteratsiya tenglamasi dastlabki to'lqin tarqalish dasturi sifatida ishlatiladi. Dastlabki simulyatsiya ko'rsatilgandan so'ng, dastlabki dastur shartlarini aniqlash davom ettiriladi. Sirt qatlami maydonida tovush tezligi chuqurlik bilan ortadi, shuning uchun bu maydon musbat gradientga ega bo'ladi. Tasvir x va y o'qlarida to'lqin tarqalishining yechimidir. X o'qi masofa uchun, y o'qi esa chuqurlik uchun.

Analitik va hisoblash hisob-kitoblarini taqqoslash uchun dasturga sirt qatlami to'lqinlarining tarqalishi uchun aylana tenglamasining yechimi kiritiladi. Analitik va hisoblash taqqoslash displeyini 5-rasmda ko'rish mumkin.



5-rasm. Analitika va hisoblashni taqqoslash.

5-rasm dengiz chuqurligiga qarab tovush tezligi gradiyentining qiymatini aniqlashning dastlabki bosqichi bilan olingan. To‘lqinning markaziy nuqtasini to‘lqin tarqalishi dumaloq deb faraz qilish orqali aniqlash mumkin, shuning uchun dumaloq tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha:

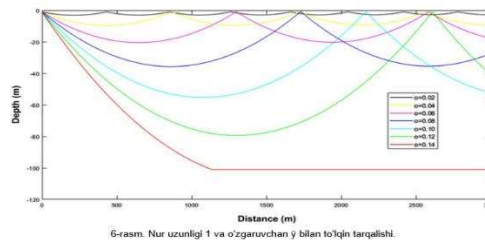
5-rasmdan bitta analitik ma'lumotlar, ya'ni gradient 0,42, nur radiusi 2, boshlang‘ich tezlik 1405,44 m/s va emissiya burchagi 0,1 rad yordamida analitik va hisoblash taqqoslashini olish mumkin. Doira tenglamasi analitik ma'lumotlardan keyingi y qiymatini aniqlash uchun ishlatiladi. Foydalanilgan analitik hisob-kitoblardan olingan iteratsiya qiymati 664 ma'lumotni tashkil etdi. Shunday qilib, olingan analitik va hisoblash ma'lumotlari xatosining foizi 0,5718% ni tashkil qiladi. Ma'lumotlarga asoslangan gradientlar yoki o‘zgaruvchan gradientlar bilan tovush to‘lqinining tarqalishining bu holati analitik tarzda hal qilinmaydi, shuning uchun u hisoblash modellashtirish orqali hal qilinadi.

Tovush tezligi ma'lumotlari yordamida uzatish yo‘qotilishi sodir bo‘lguncha sirt qatlami sohasida to‘lqinlarning tarqalishi nur uzunligi va emissiya burchagidagi o‘zgarishlar bilan 6-rasmda ko‘rsatilgan. To‘lqin tarqalish modelining displeyi tovush tezligi profili ma'lumotlari yordamida o‘zgaradi. Ushbu modellashtirish sirt qatlami sohasidagi tarqalishni tavsiflaydi. Gradientlar va belgilangan tezliklar uchun tovush tezligi profili ma'lumotlaridan foydalangan holda tarqalish bilan farq nurning har bir berilgan nur uzunligida, nur radiusida va emissiya burchagida o‘tadigan masofada farq qiladi. Bundan tashqari, tezlik ma'lumotlari yordamida to‘lqinlarning tarqalishiga har bir chuqurlikdagi gradient katta ta'sir ko‘rsatadi.

Sirt qatlami sohasidagi to‘lqinlar 0,02, 0,04, 0,06, 0,08, 0,10, 0,12 rad burchak ostida doimiy ravishda aks etadi, 0,14 rad burchak ostida esa to‘lqinlar endi aks etmaydi, balki chuqur tovush kanali o‘qiga yo‘naltiriladi, bu tarqalish uzatish yo‘qotishining paydo bo‘lishini ko‘rsatadi.

Keyingi to‘lqin o‘lchami turli nur uzunliklari uchun bir xil bo‘lib qoladi. Akustik to‘lqinlar tarqalayotganda ular bilan boshqa ko‘p narsalar sodir bo‘lishi mumkin. Masalan, energiya zarrachalarni sochishi mumkin. Energiya qachon yo‘qoladi sirt va

tubdan aks etadi. Eng katta omil tezlik, harorat, chuqurlik va sho'rlanishning o'zgarishi tufayli tarqalishdagi o'zgarishlardir. Tezlikdagi o'zgarishlar to'lqinlarning mukammal sharsimon yoki silindrsimon shaklini olishga moyil bo'ladi. Ko'pgina sharoitlar akustik energiyani jamlashga moyil bo'lib, natijada uzatish yo'qoladi. Bu omillarning barchasi uzatish yo'qotish anomaliyalari deb ataladi. Yorug'lik sirtga yetganda, u pastga qaytariladi va xuddi shu jarayon yana boshlanadi. Tabiiyki, ma'lum bir energiya tarqaladi va aks etadi, ammo umumiy ta'sir tovushni sirt ostidagi nisbatan kichik qatlamda ushlab qolishdir. Ovoz chuqurroq joylarga yetib bormaydi, shuning uchun silindrsimon tarqalish uchun uzatish kutilganidan kamroq, bu ta'sir sirt kanali deb ataladi.



Nurlanish burchagi va nurlanish radiusi to'lqin tarqalishiga katta ta'sir ko'rsatadi. Har bir berilgan nurlanish radiusidagi farq nurlanish bosib o'tgan masofadan ko'rinadi. To'lqin tarqalish masofasi nurlanish radiusi ortishi bilan ortadi. Chiqarilgan yorug'lik radiusi qanchalik katta bo'lsa, yorug'lik bosib o'tadigan masofa shuncha uzoqlashadi. Aksincha, chiqarilgan yorug'lik radiusi qanchalik qisqa bo'lsa, yorug'lik bosib o'tadigan masofa shuncha qisqa bo'ladi. Barcha nurlar yuqoriga egiladi.

ADABIYOTLAR

1. Banerjee, A., Das, R., & Calius, EP (2019). Strukturaviy muhitlar yoki metamateriallardagi to'lqinlar: Sharh. *Muhandislikda hisoblash usullari arxivi*, 26, 1029–1058.
2. Halliday va Resnik. (2010). *Fisika dasar edisi ketujuh jilid 1 (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
3. Surendro, B., Yuvono, N. va Darsono, S. (2015). Transmisi dan refleksi gelombang pada pemecah gelombang ambang rendah ganda tumpukan batu. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 20(2), 179–187.
4. Diamant, R., Kipnis, D., Bigal, E., Scheinin, A., Tchernov, D., & Pinchasi, A. (2019). Suv osti harakatlanuvchi nishonlarini topish uchun faol akustik trekdan

oldin aniqlash usuli. *IEEE Signalni qayta ishlash bo'yicha tanlangan mavzular jurnali*, 13(1), 104–119.

5. Arianto, Y., Hamdi, M., & Meyzia, B. (2022). MATLAB/Simulink asosidagi sun'iy neyron tarmog'i yordamida miokard ishemiyasi ritmini aniqlashning elektrokardiogramma signal naqshlari.

6. *Fan, texnologiya va kommunikatsiya jurnali*, 3(1), 23–32.

7. Defrianto, D., Putri, IA, & Malik, U. (2022). Euler-Kromer usuliga asoslangan chuqur tovush kanali o'qi okean mintaqasida akustik nurlar tarqalishining hisoblash modeli.

8. *Fan, texnologiya va kommunikatsiya jurnali*, 3(1), 13–18.

9. Dziak, RP, Matsumoto, H., Haver, S., Mellinger, DK, Roche, L., Haxel, JH, Stalin, S., Meinig, C., Kohlman, K., Sremba, A., Gedamke, J., Hatch, L., & Van Parijs, S. (2023). PMEL passiv akustika tadqiqoti. *Okeanografiya*, 36(2/3), 196–205.

10. Dziak, R., Banfield, D., Lorenz, R., Matsumoto, H., Klinck, H., Dissly, R., Meinig, C., & Kahn, B. (2020). Tashqi quyosh tizimidagi okean va yer usti dengiz olamlarini o'rganish uchun chuqur okean passiv akustik texnologiyalari. *Okeanografiya*, 33(2), 144–155.

11. Podolskiy, EA, Murai, Y., Kanna, N., & Sugiyama, S. (2022). Narval yozgi hududida muzlik zilzilasi keltirib chiqaradigan aysbergning bolalashi: Arktikadagi eng baland suv osti tovushi?

12. *Amerika Akustik Jamiyati Jurnali*, 151(1), 6–16.

13. Verfuss, Buyuk Britaniya, Aniceto, AS, Harris, DV, Gillespie, D., Fielding, S., Jiménez, G., Johnston, P., Sinclair, RR, Sivertsen, A., Solbø, SA, Storbvold, R., Biuw, M., & Wyatt, R. (2019). Dengiz faunasini aniqlash va monitoring qilish uchun uchuvchisiz transport vositalariga sharh. *Dengiz ifloslanishi byulleteni*, 140, 17–29.

14. Klemas, V. (2012). Potensial baliqlar to'planishining ekologik ko'rsatkichlarini masofadan zondlash: Umumiy ma'lumot. *Baltica*, 25(2), 99–112.

15. Korneliussen, RJ, Heggelund, Y., Macaulay, GJ, Patel, D., Jonsen, E., & Eliassen, IK

16. (2016). Xususiyatlar kutubxonasidan foydalangan holda dengiz turlarini akustik identifikatsiyalash.

17. *Okeanografiya usullari*, 17, 187–205.

18. Defrianto, D., Titrawani, T., Umar, L. va Asyana, V. (2022). Identifikasi hewan berdasarkan pola akustik dengan prinsip ekstraksi wavelet va multi-label jaringan syaraf tiruan klasifikasi.

19. *Indoneziya fizikasi kommunikatsiyasi*, 19(1), 51–56.

20. Fardinata, R. va Saktioto, S. (2019). Penentuan densitas spesies plazma hidrogen pada kesetimbangan termodinamik tekanan atmosfer menggunakan MATLAB. *Indoneziya fizikasi aloqasi*, 16(2), 113–117.

21. Tipler, PA (2001). *Fisika untuk Sains dan Teknik edisi ketiga jilid 1*. Jakarta: Erlangga.