ISNN 3030-3907

2026
MAY
ISSUE - 5
VOLUME - 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

MAY 2026
Issue - 5, VOLUME - 3

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.

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

CHIZIQSIZ GIPERBOLIK TIPDAGI DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI CHEKLI AYIRMALAR USULIGA APPROKSIMATSIYA QILISH VA UNI YER OSTI QUVURINING DINAMIK TENGLAMASIGA TADBIQ QILISH

Shomurodov Jaxongir Farxodovich
Renessans universiteti, "Matematika va tabiiy fanlar" kafedrasi dotsent v.b.
E-mail: jakhongir_shf@mail.ru

Annotatsiya. Ushbu maqolada chiziqsiz giperbolik tipdagi differensial tenglamalarni sonli yechishning samarali usullaridan biri bo‘lgan chekli ayirmalar usuli ko‘rib chiqiladi. Tenglamalarni diskretlashtirish jarayoni, to‘r funksiyalari hamda approksimatsiya sxemalarining qurilishi batafsil tahlil qilinadi. Hosil qilingan ayirmali sxemaning turg‘unlik va aniqlik xossalari o‘rganilib, usulning amaliy qo‘llanish imkoniyatlari yoritiladi. Tadqiqot natijalari yer osti quvurlarining dinamik holatini modellashtirish masalasiga tatbiq qilinib, quvur tizimida yuzaga keluvchi tebranish va deformatsion jarayonlarni hisoblashda chekli ayirmalar usulining samaradorligi ko‘rsatib beriladi.

Kalit so‘zlar: chekli ayirmalar usuli, differensial tenglama, quvur, turg‘unlik.

Аннотация. В данной статье рассматривается метод конечных разностей, являющийся одним из эффективных методов численного решения нелинейных гиперболических дифференциальных уравнений. Подробно анализируется процесс дискретизации уравнений, выбор сеточных функций и построение аппроксимационных схем. Изучаются свойства устойчивости и точности полученной дифференциальной схемы, а также освещаются возможности практического применения метода. Результаты исследования применяются к задаче моделирования динамического состояния подземных трубопроводов, и показана эффективность метода конечных разностей при расчете вибрационных и деформационных процессов, происходящих в трубопроводной системе..

Ключевые слова: метод конечных разностей, дифференциальное уравнение, труба, устойчивость.

Abstract. This article considers the finite difference method, which is one of the effective methods for numerically solving nonlinear hyperbolic differential equations. The process of discretization of equations, mesh functions, and the construction of approximation schemes are analyzed in detail. The stability and accuracy properties of the resulting differential scheme are studied, and the possibilities of practical application of the method are highlighted. The research results are applied to the problem of modeling the dynamic state of underground pipelines, and the effectiveness of the finite difference method in calculating vibration and deformation processes occurring in the pipeline system is shown.

ISSN 3030-3907

Keywords: finite difference method, differential equation, pipe, stability.

KIRISH.

Qadimgi davrlardan hozirgi kunga qadar zilzila ta'sirida ro'y berayotgan turli ko'rinishdagi xavfli holatlarni kuzatishimiz mumkin. Seysmik to'lqinning ta'siriga qarab, yer usti va yer osti inshootlari turli darajada shikastlanadi yoki butunlay yaroqsiz holatga keladi [1–10]. Shu sababli bunday turdagi yer usti va yer osti inshootlarining zilzila ta'sirida yaroqsiz holatga kelib qolmasligini ta'minlash maqsadida turli nazariy va eksperimental ishlar amalga oshirilib kelinmoqda. Ko'pgina dunyo olimlari tomonidan ilmiy izlanishlar va tajriba-sinov ishlari olib borilgan bo'lsada, hozirgacha seysmik kuchlar ta'siridagi yer osti va yer usti inshootlarida paydo bo'ladigan xavfli holatlarni o'rganish va ularning oldini olish bo'yicha muammoli masalalar yetarlicha ko'pdir. M.Mirzayevning ishlarida yer usti va yer osti inshootlarining seysmodinamik masalalarini yechishda sonli usullarning qo'llanilishi va olingan natijalarning tahlili bo'yicha ko'pgina ma'lumotlar keltirilgan [16–19].

Maqolada seysmik kuchlar ta'siridagi yer osti quvurlarining chiziqli bo'lmagan dinamik tenglamalarini chekli ayirmalar usulida approksimatsiya qilish hamda bu holatda chekli ayirmalar usulining turg'unligi ta'minlash uchun asosiy shartlar teoremalar orqali batafsil keltirilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA NATIJALAR TAHLILI. Yer osti uzun quvuri uchun dinamik tenglamani yechishda xususiy hosilaga ega bo'lgan differensial tenglamarni yechish talab etiladi. Ixtiyoriy tipdagi diffirensial tenglamalarni sonli yechishda natijalarning ishonchliligi uchun albatta tanlangan sonli usulning turg'unligi muhim hisoblanadi. Yer osti quvurlarining harakati o'rganilganda, uning tenglamalari xususiy hosilali diffirensial tenglamalarga keladi. Tashqi ta'sirlar natijasida quvurda turli dinamik jarayonlar paydo bo'lishi mumkin, bunda quvurning dinamik tenglamalarini tezlik va deformatsiyalar oraqli ifodalash qulay bo'ladi.

Ko'rinib turibdiki, qo'llarning holati qanchalik baland bo'lsa va yelkalari, tezroq charchoq va ishdan bosh tortish paydo bo'ladi. Ushbu tajribalarda subyektlardan berilgan narsani saqlab qolish so'ralgan imkon qadar harakatsiz holatda.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v}{\partial t} - c^2 \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial x} = f(x,t,u), \\ \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \dfrac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \qquad (1)$$

Bunda $c = \sqrt{E/\rho}$ – quvurda to'lqin tarqalish tezligi; E, ρ– quvur materialining elastiklik moduli va zichligi; ε, v, u – quvur deformatsiyasi, quvur

ISSN 3030-3907

zarralarining tezligi va ko‘chishi; *f(x,t,u)* – quvurning grunt bilab o‘zaro munosabatini ifodalovchi funksiya.

(1) tenglamalar sistemasini chekli ayirmalar usulida approksimatsiya qilinganda, uning turg‘unligi tenglamalar sistemasining xususiy hosilali hadlarini chekli ayirmalar sxemasi shakli bilan belgilanadi [14,15]. Shu sababli (1) sistemaning o‘ng tomonini inobatga olmagan holda quyidagi sistemani qaraylik

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v}{\partial t} - c^2 \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0, \\ \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \dfrac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \qquad (2)$$

(2) tenglamalar sistemasi uchun chekli ayirmalar usulining turg‘unligini tekshiramiz.

Oxt teksiligida

$$x_m=x_0+m\cdot\Delta x,\ t_n=t_0+n\cdot\Delta t,\ (m,\ n=\pm1,\ \pm2,\ \ldots)$$

parallel to‘g‘ri chiziqlar oilasini o‘tkazamiz. Bunda Δx va Δt mos ravishda x va t o‘qlari yo‘nalishlaridagi qadamlarni ifodalaydi. Shuningdek ayirmalar sxemasi uchun quyidagilar ham o‘rinli

$$x_{m+1/2}=x_m+\Delta x/2,\ x_{m-1/2}=x_m-\Delta x/2,\ t_{n+1/2}=t_n+\Delta t/2,\ t_{n-1/2}=t_n-\Delta t/2.$$

U holda $v(x,t)$ funksiya uchun quyidagilarni yozish mumkin

$$v_{m+1/2}^{n} = v\left(x_{m+1/2}, t_n\right), v_{m+1/2}^{n+1} = v\left(x_{m+1/2}, t_{n+1}\right),\ v_{m-1/2}^{n} = v\left(x_{m-1/2}, t_n\right),$$

$$\varepsilon_m^{n+1/2} = \varepsilon\left(x_m, t_{n+1/2}\right),\ \varepsilon_{m+1}^{n+1/2} = \varepsilon\left(x_{m+1}, t_{n+1/2}\right),\ \varepsilon_m^{n-1/2} = \varepsilon\left(x_m, t_{n-1/2}\right).$$

Bularni mos ravishda $(x_m,\ t_n)$ nuqta atrofida t bo‘yicha Teylor qatoriga yoyamiz va birinchi tartibli hosilali hadlarini saqlab qolsak, (2) teglamalar birinchi tartibli aniqlik bilan approksimatsiya qilinadi.

Yuqoridagi qonuniyatlar asosida (2) tenglamalar sistemasini Δx va Δt qadamlar bo‘yicha quyidagicha chekli ayirmalar usulida approksimatsiya qilamiz

$$\begin{cases} \dfrac{v_{m+1/2}^{n+1} - v_{m+1/2}^{n}}{\Delta t} - c^2 \dfrac{\varepsilon_{m+1}^{n+1/2} - \varepsilon_m^{n+1/2}}{\Delta x} = 0, \\ \dfrac{\varepsilon_m^{n+1/2} - \varepsilon_m^{n-1/2}}{\Delta t} - \dfrac{v_{m+1/2}^{n} - v_{m-1/2}^{n}}{\Delta x} = 0; \end{cases} \qquad (3)$$

Teorema 1. Yuqorida keltirilgan (2) tenglamalar sistemasi uchun (3) chekli ayirmalar sxemasi turg‘un bo‘lishi uchun $\Delta t\cdot c/\Delta x\le 1$ Kurant sharti bajarilishi zarur.

Bu teoremani quyidagicha spectral usul bilan isbotlaymiz. Sistemaning xususiy yechimlarini quyidagi ko‘rinishda qidiramiz [15]

ISSN 3030-3907

$$v_{m+1/2}^{n+1}=c_1\lambda^{n+1}e^{i(m+1/2)\varphi},\qquad \varepsilon_{m+1}^{n+1/2}=c_2\lambda^{n+1/2}e^{i(m+1)\varphi},$$
$$v_{m+1/2}^{n}=c_1\lambda^{n}e^{i(m+1/2)\varphi},\qquad \varepsilon_{m}^{n+1/2}=c_2\lambda^{n+1/2}e^{im\varphi},\qquad (4)$$
$$v_{m-1/2}^{n}=c_1\lambda^{n}e^{i(m-1/2)\varphi},\qquad \varepsilon_{m}^{n-1/2}=c_2\lambda^{n-1/2}e^{im\varphi}.$$

(4) ni (3) ga qo‘ysak,

$$\begin{cases} c_1\dfrac{\lambda-1}{\Delta t}-2c_2c^2\lambda^{1/2}\dfrac{i\sin(\varphi/2)}{\Delta x}=0,\\ -2c_1\lambda^{1/2}\dfrac{i\sin(\varphi/2)}{\Delta x}+c_2\dfrac{\lambda-1}{\Delta t}=0; \end{cases}\qquad (5)$$

sistemaga ega bo‘lamiz. Hosil bo‘lgan (5) tenglamalar sistemasi c_1 va c_2 larga nisbatan noldan farqli yechimga ega bo‘lishi uchun quyidagi tenglik o‘rinli bo‘lishi shart

$$\Delta=\begin{vmatrix} \dfrac{\lambda-1}{\Delta t} & -2c^2\lambda^{1/2}\dfrac{i\sin(\varphi/2)}{\Delta x}\\ -2\lambda^{1/2}\dfrac{i\sin(\varphi/2)}{\Delta x} & \dfrac{\lambda-1}{\Delta t} \end{vmatrix}=0.$$

Bundan

$$\left(\frac{\lambda-1}{\Delta t}\right)^2+\lambda\frac{4c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}=0.$$
$$\lambda^2+\left(\frac{4\Delta t^2c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}-2\right)\lambda+1=0,$$
$$D=\sqrt{\left(\frac{4\Delta t^2c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}-2\right)^2-4},$$
$$D=\frac{4\Delta tc\sin(\varphi/2)}{\Delta x}\sqrt{\frac{\Delta t^2c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}-1}.$$

Bunda $\dfrac{c^2\Delta t^2}{\Delta x^2}\le 1$ bo‘lsa, ildiz ostidagi qiymat manfiy bo‘lmaydi va

$$\lambda_{1,2}=\frac{-\left(\dfrac{4\Delta t^2c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}-2\right)\pm\dfrac{4\Delta tc\sin(\varphi/2)}{\Delta x}\sqrt{\dfrac{\Delta t^2c^2\sin^2(\varphi/2)}{\Delta x^2}-1}}{2}.$$

Shunday qilib, $c\Delta t/\Delta x\le 1$ da spektral turg‘unlik sharti bajariladi.

G.S. Hakimziyanov va S.G. Cheriylarning ishlarida giperbolik tipdagi tenglamalarda $f(x,t,u)$ funksiyaning $f(x,t,u)=a_l(x,t)\cdot u+b_l(x,t)$ chiziqli munosabatida chekli ayirmalar usulining oshkor sxemasi turg‘unligining qo‘shimcha yetarlilik

ISSN 3030-3907

sharti $\max|a_l(x,t)|\cdot\Delta t^2 << 1$ ko‘rinishda keltirilgan [14]. Chekli ayirmalar usulida hisoblash ishlari amalga oshirilganda, bir bo‘lakdan ikkinchi bo‘lakka o‘tgan nuqtalarda sonli usulning aniqligini ta’minlash uchun iteratsion jarayonlarni amalga oshirish talab etiladi. Bunda yechimning yetarli aniqligiga erishish uchun Nyuton-Rafson iteratsiyasi amalga oshirilishi kerak [11–13, 15]. Bu holatda bir bo‘lakdan keyingi bo‘lakka o‘tish nuqtalaridagi shartlar keyingi bo‘lak uchun boshang‘ich shart sifatida olinadi.

Yer osti quvurining dinamik tenglamalari har bir α chiziqli bo‘lagida quyidagi ko‘rinishda berilgan bo‘lsin

$$\begin{cases} \dfrac{\partial v}{\partial t} - c^2\dfrac{\partial \varepsilon}{\partial x} = k_\alpha\left(u_g - u\right) + K_\alpha, \\ \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \dfrac{\partial v}{\partial x} = 0. \end{cases} \tag{6}$$

Bu yerda K_α – konstanta. (6) tenglamalar sistemasini Δx va Δt qadamlar bo‘yicha chekli ayirmalar usuliga mos ravishda quyidagicha approksimatsiya qilamiz

$$\begin{cases} \dfrac{v_{i+1/2}^{j+1} - v_{i+1/2}^{j}}{\Delta t} - c^2\dfrac{\varepsilon_{i+1}^{j+1/2} - \varepsilon_{i}^{j+1/2}}{\Delta x} = k_\alpha\left(u_{g\,i+1/2}^{\,j+1} - u_{i+1/2}^{j+1}\right) + K_\alpha, \\ \dfrac{\varepsilon_i^{j+1/2} - \varepsilon_i^{j-1/2}}{\Delta t} - \dfrac{v_{i+1/2}^{j} - v_{i-1/2}^{j}}{\Delta x} = 0. \end{cases} \tag{7}$$

(2.7) tenglamalar sistemasining turg‘unligi bo‘yicha yuqoridagi teorema va mulohazalarga asosan quyidagi teoremani keltirish mumkin.

Teorema 2. Yuqorida keltirilgan (1) tenglamalar sistemasidagi *f(x,t,u)* bo‘lakli-chiziqli uzluksiz funksiya $k_\alpha\left(u_g - u\right)$ bo‘lganda (7) chekli ayirmalar sxemasi turg‘un bo‘lishi uchun Kurant sharti $\Delta t\cdot c/\Delta x \le 1$ va $\max|k_\alpha|\cdot\Delta t^2 << 1$ shartlar bajarilishi, shuningdek, bir bo‘lakdan keyingisiga o‘tish nuqtalarida yechimning yetarli aniqligiga erishishda Nyuton-Rafson iteratsiyasi amalga oshirilishi zarur va yetarli.

Bu teoremaning isbotini quyida keltirib o‘tamiz.

1-teoremaga asosan $\Delta t\cdot c/\Delta x \le 1$ Kurant sharti bajarilishi (7) tenglamalar sistemasining chekli ayirmalar sxemasi turg‘un bo‘lishining zaruriylik shartini ta’minlaydi. (6) tenglamalar sistemasidagi $k_\alpha\left(u_g - u\right)$ funksiyaning chiziqli munosabatlarida $\max|k_\alpha|\cdot\Delta t^2 << 1$ yetarlilik sharti bajarilishi chekli ayirmalar usulining oshkor sxemasining turg‘unligini ta’minlaydi.

Chekli ayirmalar usulida hisoblash ishlari amalga oshirilganda, bir bo‘lakdan keyingi bo‘lakka o‘tgan nuqtalarda Nyuton-Rafson iteratsiyasining

ISSN 3030-3907

amalga oshirilishi yechimning zaruriy aniqliligini ta’minlaydi. Bunda bir bo‘lakdan keyingi bo‘lakka o‘tish nuqtalaridagi shartlarni keyingi bo‘lak uchun boshlang‘ich shart sifatida qarash mumkin. Bu shartlarning bajarilishi natijasida (6) tenglamalar sistemasi uchun (7) chekli ayirmalar sxemasi turg‘un bo‘ladi. Natijada $\Delta t \to 0$ da (7) chekli ayirmalar sxemasi orqali olingan sonli yechimlar (6) tenglamalar sistemasining analitik yechimiga yaqinlashadi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Yer osti quvurining chiziqli bo‘lmagan dinamik tenglamalari qo‘yilishi va bu turdagi masalalar uchun qurilgan chekli ayirmalar sxemasining turg‘unligi va sonli yechimning yaqinlashishi isbotlangan. Bunda hisoblangan natijalarning ishonchliligini ta’minlash uchun vaqt bo‘yicha va koordinata bo‘yicha qadamlarni tanlashda turg‘unlik shartlarini albatta inobatga olinishi zarur hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Yousife D.F., Aldefae A.H., Zubaidi S.L., Humaish W.H., Sinichenko E.K. Static and seismic performance of buried pipelines: a review // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 318. – P.10.
2. Gautam S. Nair, Suresh R. Dash and Goutam Mondal Review of Pipeline Performance during Earthquakes since 1906 // J. Perform. Constr. Facil., 32(6): 04018083. – 2018.
3. Хачиян Э. Е. Прикладная сейсмология. Ереван: Гитутюн, 2008. – 491 с.
4. Rashidov T.R., Shermuxamedov U.Z. Transport inshootlarining zilzilabardoshliligi. – Toshkent: Complex Print, 2020. – 408 b.
5. Massimina Castiglia, Filippo Santucci de Magistris, Filippo Onori, Junichi Koseki Response of buried pipelines to repeated shaking in liquefiable soils through model tests // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2021. – Vol. 143.
6. Смирнов С.Б., Ордобаев Б.С., Сардарбекова Э.К. Некоторые вопросы анализа современной теории сейсмозащиты зданий // Вестник КРСУ. – 2010 – Том 10. № 2. – С. 19–121.
7. Okamoto S. Introduction to Earthquake Engineering. Tokyo: University of Tokyo Press. – 1984. – P. 629.
8. Sakurai A., Takahashi T. Dynamic stress of underground pipelines during earthquakes // Proc. 4th World Conf. Earthq. Engng. Chile: Santiago, – 1969. – P. 81–95.
9. Toprak S., Taskin F. and Koc A. C. Prediction of earthquake damage to urban water distribution systems: a case study for Denizli Turkey / Bull Eng Geol Environ 68. – 2009. – P. 499–510.
10. O‘Rourke T. D., Jeon S. S., Toprak S., Cubrinovski M., Hughes M., Van Ballegooy S. and Bouziou D. Earthquake Response of Underground Pipeline

ISSN 3030-3907

Networks in Christchurch, NZ // Earthquake Spectra Vol. 30, Issue 1. – 2014. – P. 183–204.
11. Chopra A. K. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering 4th Edition // Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. – 2012 – p. 994.
12. Ji Huan He. “A modified Newton-Raphson method” // Commun. Numer. Meth. Engng, Vol. 20. – 2004. – pp. 801–805.
13. Anushka Chauhan. A Study of Modified Newton-Raphson Method // Journal of University of Shanghai for Science and Technology. Vol. 23. – 2021. – № 8. pp. 129–134.
14. Г. С. Хакимзянов, С. Г. Черный, Методы вычислений Часть 4. исленные методы решения задач для уравнений гиперболического типа // Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – с. 207.
15. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы // М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – с. 637.
16. Мирзаев И., Қосимов Э.А. Воздействие гармонической и сейсмической волн на подземный трубопровод при разных землетрясениях // «Проблемы механики». – 2020. – №3. – С. 80–83.
17. Mirzaev I. and Shomurodov J. Seismodynamics of an Extended Underground Pipeline Based on a Nonlinear Model of Interaction with the Ground // AIP Conference Proceedings 2637, 030004. – 2022.
18. И. Мирзаев Динамические задачи для составных конструкций // Диссертация. Ташкент. – 1990. –с. 299.
19. Mirzaev I.M., Nikiforovskii V.S. Plane wave propagation and fracture in elastic and imperfectly elastic jointed structures. Soviet Mining Science. – 1973. 9. –с. 161–165

ISSN 3030-3907