



# Dinamik kuchlar ta'sirida "inshoot-zamin" tizimini tadqiq qilish

Daniyar T. Paluanov<sup>1</sup>, Feruza R. Aytbayeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [doni\\_pol@mail.ru](mailto:doni_pol@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-2178-8178>

<sup>2</sup> Tayanch doktorant, Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent, 100187, O'zbekiston; [aytbaeva.feruzal@gmail.com](mailto:aytbaeva.feruzal@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0008-8743-3058>

**Dolzarbligi:** birlik kanaliga suv chiqarish inshooti uzoq yillardan buyon ishlatilishi davomida inshoot tanasi va elementlarida turli xildagi deformatsiyalar yuzaga kelgan. Foydalanish davrida inshoot ustidan turli xildagi og'ir yuk va yengil mashinalar harakatlanishi natijasida dinamik yuklamalar ta'sirida inshoot grebenida, tanasida va zaminida vertikal cho'kish jarayonlari vujudga kelgan. Ayniqsa, inshoot grebenining quyi qismida vertikal cho'kishning jadallashgani kuzatilgan. Dinamik kuchlar betondagi yoriqlarning hosil bo'lishiga, zatvor mexanizmlarning tebranishiga, mahkamlagichlarning bo'shashiga, ayniqsa inshoot turg'unligining yo'qolishiga olib kelgan. Shuning uchun inshootning turg'unligini dinamik kuchlarga tekshirish orqali xavfsizligini ta'minlash muhimdir.

**Maqsad:** dinamik kuchlar ta'sirida inshootning turg'unligini va zaminning mustahkamligini ta'minlaydigan "inshoot-zamin" tizimi bo'yicha yuklamalarning barcha hisoblashlarida kuchlanganlik-deformatsiya holatlarini tadqiq qilish.

**Usullari:** inshootning notekis cho'kishini hisoblashda chekli elementlar usulidan foydalanildi.

**Natijalar:** suv chiqarish inshooti zaminidagi zaiflashgan soha deformatsiyalanadigan qismi bo'lib, unda mazkur soha yaqinida joylashgan qatlamlarning buzilishiga olib kelishi mumkin bo'lgan urinma va normal kuchlanishlar aniqlandi. Xususiy tebranishlarning asosiy chastotasi bilan ta'sirlashganda gorizonttal ko'chishlar sinxron ravishda sodir bo'ladi va ularning amplitudasi chiziqli ravishda ortadi, vertikal tebranishlar amplitudasi gorizonttal tebranishlar amplitudasidan ikki marta kichik bo'ladi.

**Kalit so'zlar:** inshoot, zamin, dinamik kuch, tebranish, amplituda, deformatsiya, kuchlanish, cho'kish, siljish, kuchlanganlik-deformatsiya holati, ko'chish, zaiflashgan soha, grunt.

## Исследование системы «сооружение-основание» при динамических силах

Данияр Т. Палуанов<sup>1</sup>, Феруза Р. Айтбаева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [doni\\_pol@mail.ru](mailto:doni_pol@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-2178-8178>

<sup>2</sup> Докторант, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Ташкент, 100187, Узбекистан; [aytbaeva.feruzal@gmail.com](mailto:aytbaeva.feruzal@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0008-8743-3058>

**For citation:** Paluanov D.T., Aytbaeva F.R. Research of the "structure-base" system under dynamic forces. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 160-167.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18526021>

Received: 05.04.2025

Revised: 19.04.2025

Accepted: 10.07.2025

Published: 27.12.2025

**Copyright:** © Daniyar T. Paluanov, Feruza R. Aytbaeva, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Актуальность:** при эксплуатации водовыпускного сооружения в канал Бирлик на протяжении многих лет в теле и элементах сооружения возникают различные деформации. В период эксплуатации в результате движения различных видов тяжелых грузовых и легких машин по сооружению, под воздействием динамических нагрузок на гребень, тело и основание сооружения возникали процессы вертикальной осадки. Особенно интенсивно наблюдалась вертикальная осадка в нижней части гребня сооружения. Динамические воздействия сил приводили к образованию трещин в бетоне, вибрации затворных механизмов, ослаблению креплений, а также к потере устойчивости сооружения. Поэтому важно обеспечить безопасность сооружения проверкой его устойчивости на действие динамических сил.

**Цель:** исследование напряженно-деформированного состояния при расчетах нагрузок системы «сооружение-основание», обеспечивающих устойчивость сооружения и прочность основания под действием динамических сил.

**Методы:** используется метод конечных элементов при расчете неравномерной осадки сооружения.

**Результаты:** ослабленная зона в основании водовыпускного сооружения является деформируемой частью, в которой определены касательные и нормальные напряжения, которые могут привести к разрушению слоев, расположенных вблизи этой зоны. При взаимодействии с основной частотой собственных колебаний горизонтальные перемещения происходят синхронно, и их амплитуда увеличивается линейно, амплитуда вертикальных колебаний в два раза меньше амплитуды горизонтальных колебаний.

**Ключевые слова:** сооружение, основание, динамическая сила, колебание, амплитуда, деформация, напряжение, осадка, смещение, напряженно-деформированное состояние, перемещение, ослабленная область, грунт.



# Research of the “structure-base” system under dynamic forces

Daniyar T. Paluanov<sup>1</sup>, Feruza R. Aytbaeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [doni\\_pol@mail.ru](mailto:doni_pol@mail.ru); <https://orcid.org/0009-0003-2178-8178>

<sup>2</sup> PhD student, Scientific Research Institute of Irrigation and Water Problems, Tashkent, 100187, Uzbekistan; [aytbaeva.feruza1@gmail.com](mailto:aytbaeva.feruza1@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0008-8743-3058>

**Relevance:** during the operation of the water discharge structure into the Birlik Canal, various deformations have occurred in the body and elements of the structure over many years. During operation, as a result of the movement of various types of heavy and light vehicles along the structure under the influence of dynamic loads on the ridge, body, and base of the structure, vertical settlement processes occurred. Especially intensive vertical subsidence was observed in the lower part of the structure's ridge. Dynamic forces led to the formation of cracks in the concrete, vibration of shut-off mechanisms, weakening of fasteners, especially the loss of structural stability. Therefore, it is important to ensure the safety of the structure by checking its resistance to dynamic forces.

**Aim:** research of the stress-strain state during all calculations of loads according to the "structure-foundation" system, ensuring the stability of the structure and the strength of the foundation under the influence of dynamic forces.

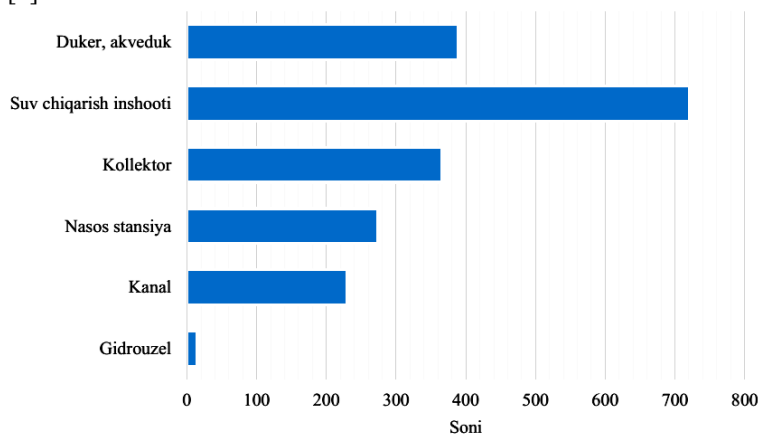
**Methods:** the method of finite elements is used when calculating the uneven settlement of a structure.

**Results:** the weakened zone at the base of the spillway is the deformable part in which tangential and normal stresses are determined, which can lead to the destruction of layers located near this zone. When interacting with the fundamental frequency of natural vibrations, horizontal displacements occur synchronously, and their amplitude increases linearly, while the amplitude of vertical vibrations is two times smaller than the amplitude of horizontal vibrations.

**Keywords:** structure, foundation, dynamic force, vibration, amplitude, deformation, stress, settlement, displacement, stress-strain state, displacement, weakened area, soil.

## 1. Kirish (Introduction)

Qoraqalpog‘iston Respublikasi hududida hozirgi kunda 2000 dan ortiq turli xildagi gidrotexnika inshootlaridan foydalanib kelinmoqda. Mazkur inshootlardan qishloq xo‘jaligi, ichimlik suv ta‘minoti, baliqchilik kabi iqtisodiyot tarmoqlarining yirik iste‘molchilari uchun ishonchli va samarali foydalanishda ularni uzluksiz ishlashini va xavfsizligini ta‘minlash muhim hisoblanadi (1-rasm). Foydalanilayotgan inshootlar ham iqlimiy, ham geologik-gidrogeologik jihatdan murakkab sharoitlarda joylashganligi uchun ularning uzluksiz va betalofat ishlashini doimo nazorat qilish amaliy ahamiyatga ega [1].



1-rasm. Gidrotexnika inshootlarining taqsimlanishi

Figure 1. Distribution of hydraulic structures

Hududda hozirgi kunda eng murakkab irrigatsiya tizimlaridan biri Suyenli kanali va uning gidrotexnika inshootlari hisoblanadi. Kanal ikkita uchastkada ishlatiladi: birinchisi – PK56+20 dan PK545+20 gacha (Suyenli-Parallel irrigatsiya tizimlari), ikkinchisi – PK545+00 dan PK1025+60 gacha (Suyenli-Tabankul irrigatsiya tizimlari). Tadqiqot obyekti hisoblangan Birlik kanaliga suv chiqarish inshooti Suyenli-Tabankul irrigatsiya tizimining 1970-yilda monolit temir-betondan qurilgan PK850+00 dagi Tabankul gidrouzelida joylashgan.

Birlik kanaliga suv chiqarish inshooti to‘suvi inshootning chap tomonida joylashgan bo‘lib, 20 m<sup>3</sup>/s suv o‘tkazishga mo‘ljallangan. Inshoot uzunligi 50 m bo‘lgan quvurli, ikki ko‘zli, o‘tish joyi

mavjud. Teshiklar o'lchami 2,5x2,5 m. Kirishda bir vintli elektrlashtirilgan ko'targichlari bo'lgan 2,5x2,5 m o'lchamdagi ikkita yassi sirpanuvchi zatvor o'rnatilgan. Yuqori va pastki beflar bilan tutashish teskari devorlar bilan bajarilgan. 50 m uzunlikdagi pastki beflar beton bilan mahkamlangan. Risbermaning uzunligi 25 m bo'lib, temir-beton panjarada harsang tosh bilan mahkamlangan.

Birlik kanaliga suv chiqarish inshootida maxsus o'rnatilgan nazorat-o'lchov apparatlari mavjud emas. Zatvorlar ko'tarish qo'l rejimida amalga oshiriladi. 50-yildan ortiq ishlatilishi davomida inshootning cho'kish va siljishini aniqlash bo'yicha geodezik o'lchov ishlari bajarilmagan. Inshoot ustidan turli xildagi og'ir yuk mashinalari va 5 tonnadan yuqori bo'lgan yengil mashinalari o'tishi munosabati bilan inshoot grebeni, tanasi va zaminida cho'kish jarayoni kuzatilgan. Ayniqsa inshoot grebenining quyi qismida cho'kishni jadallashgani kuzatilgan. Inshoot beton qismlarida yoriqlar va yemirilgan joylar mavjud. Kanal o'zani va yon borti yuvilgan, inshoot oldi qismini va kanal o'zanini loyqa bosgan. Mahkamlash plitalarida nuqsonlar va ko'chishlar kuzatilgan. Yassi zatvorlar korroziyaga uchragan (2-rasm). Og'ir yuk va yengil mashinalar harakatida inshootda dinamik kuchlarni yuzaga keltirgan. Dinamik kuchlar betondagi yoriqlarning hosil bo'lishiga, zatvor mexanizmlarning tebranishiga, mahkamlagichlarning bo'shashiga, ayniqsa inshoot turg'unligining yo'qolishiga olib kelgan. Shuning uchun, inshootning turg'unligini dinamik kuchlarga tekshirish orqali xavfsizligini ta'minlash dolzarb hisoblanadi.



**2-rasm.** Inshoot texnik holatida yuzaga kelgan deformatsiyalar  
**Figure 2.** Deformations arising in the technical condition of the structure

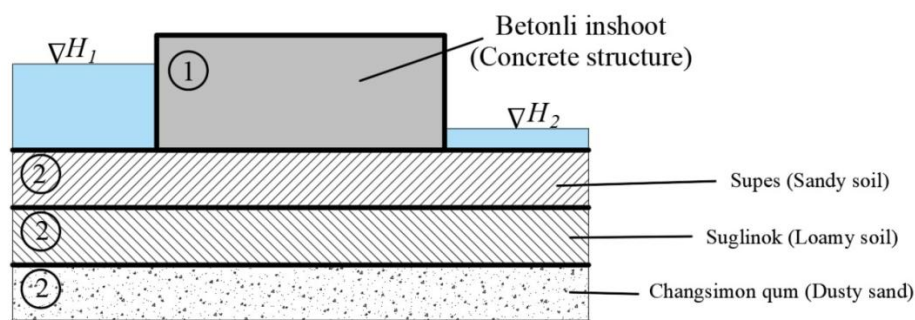
## 2. Usullar va materiallar (Methods and materials)

Inshootlarning turg'unligini va zaminning mustahkamligini ta'minlaydigan "inshoot-zamin" tizimi bo'yicha yuklamalarning barcha hisoblashlarida kuchlanganlik-deformatsiya holatlari ko'zda tutiladi.

Inshoot zaminlarining murakkab geologik tuzilishida inshootning notekis cho'kishini hisoblashda chekli elementlar usuli (ChEU)dan foydalanishga tavsiya etiladi. Mazkur usul oxirgi vaqtlarda keng qo'llanilmoqda va turli xil konfiguratsiyalardagi bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan zaminlar uchun elastiklik nazariyasining statik va dinamik masalalarini tadqiq qilishga imkon beradi.

Kuchlanganlik-deformatsiya holatlari hisoblar inshootlarning zaruriy elementi va foydalanish davri ularning keyingi monitoringi hisoblanadi. Bunday hisoblar iqtisodiy jihatdan samarali va ishonchli muhandislik yechimlarni topish, o'z vaqtida diagnostika qilish, salbiy oqibatlarini bartaraf qilishga qaratilgan tabdirlarni rejalashtirish imkonini beradi.

Inshoot zaminini bir jinsli bo'lmashligi uchun uning fizik-mexanik xususiyatlari elastiklik moduli masalasi sifatida qaraladi (3-rasm).



**3-rasm.** "Inshoot-zamin" tizimi modeli  
**Figure 3.** Model of the "structure-base" system



Tizimning turli xil fizik-mexanik parametrlar sohalari raqamlar bilan belgilangan:

(1) betonli inshoot sohasi uchun:  $E=20000$  MPa;  $\rho=2,5$  t/m<sup>3</sup>;  $\nu=0,3$ ;

(2) bir jinsli bo'lmagan zamin uchun: supes –  $E=17000$  MPa;  $\rho=1,91$  t/m<sup>3</sup>;  $\nu=0,3$ ; suglinok –  $E=16000$  MPa;  $\rho=1,92$  t/m<sup>3</sup>;  $\nu=0,3$ ; changsimon qum –  $E=18000$  MPa;  $\rho=1,85$  t/m<sup>3</sup>;  $\nu=0,3$ .

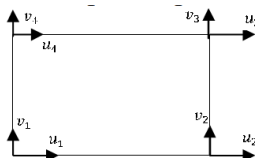
Bir jinsli bo'lmagan tizimning dinamik holati haqidagi masalani matematik qo'yilishida variatsion prinsipdan foydalaniladi, unga ko'ra barcha kuchlar (elastiklik, inersiya, og'irlik va gidrostatik bosim)ning mumkin bo'lgan ko'chishlardagi ishlari yig'indisi nolga teng [2-5]:

$$\delta A = - \sum_n \left( \int_{V_n} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_n} \rho_n u \delta u dV + \int_{V_n} f_n \delta u dV \right) + \int_S p \delta u dS = 0 ; \quad (1)$$

$i, j=1, 2, 3;$

bunda  $u$ ,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  – mos ravishda ko'chish vektori, deformatsiya va kuchlanish tenzorlari;  $\rho_n$  – tizim zichliklari;  $n$  indeksi uchun quyidagi qiymatlar qabul qilingan: inshoot uchun  $n=1$ , zamin sohasi uchun  $n=2$ ;  $f_n$  – massa kuchlari vektori (og'irlik);  $p$  – tizimning suv bilan tutashgan yuzasiga tushadigan gidrostatik bosim.

ChEUDan foydalanishda ko'rib chiqilayotgan tizim chekli elementlarga bo'linadi, ushbu tadqiqotda to'g'ri to'rtburchak shaklida qabul qilinadi. Element ichida ko'chishlarning approksimatsiyalovchi funksiyalari beriladi. 4-rasmda darajasi 8 ga teng bo'lgan (har bir tugunda 2 tadan) ishlatiladigan to'g'ri to'rtburchak element va approksimatsiyalovchi funksiyalarning ko'rinishi ko'rsatilgan. Bunda  $b_i$  – noma'lum parametrlar. Ushbu parametrlar ChEU tartibini bajarilishi natijasida elementning ruxsat etilgan tugun ko'chishlaridan aniqlanadi. To'g'ri to'rtburchak element uchun bikrlilik va massa matritsalar ChEU bo'yicha adabiyotlarda keltirilgan [6-9].



$$u = b_1 + b_2x + b_3y + b_4xy;$$

$$v = b_5 + b_6x + b_7y + b_8xy.$$

**4-rasm.** Approksimatsiyalovchi ko'chish funksiyalariga ega to'g'ri burchakli chekli element

**Figure 4.** Rectangular finite element with approximating displacement functions

Chekli-elementli diskretlash usuli bilan yechiladigan tenglamalar tizimini olish uchun elementlar tugun nuqtalarida birlashtiriladi, ularning ko'chishlari ish funksionalining minimumini amalga oshiradigan (1) variatsion tenglamaning yechimi bo'ladi [10]. Bunda hosil bo'lgan differensial tenglamalar tizimi (dissipatsiyani hisobga olmaganda) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$[M]\{u\} + [K]\{u\} = \{P(t)\}, \text{ bunda } \{P(t)\} = [M]\{u_0\}; \quad (2)$$

bunda  $[K]$ ,  $[M]$  – alohida elementlarning tegishli matritsalaridan shakllantirilgan butun tizimning bikrlilik va massa matritsalar;  $\{u\}$  – tugun ko'chishlarining talab qilingan vektori;  $\{u_0\}$  – zaminning tezlanishi.

(2) tenglama Nyumarkning bosqichma-bosqich usuli bilan yechiladi va uni yechish jarayonida olingan tugun nuqtalarining  $\{u\}$  ko'chishlari bo'yicha har bir element ichidagi ko'chishlar, so'ngra esa elementlardagi deformatsiyalari Koshi tenglamalari yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \quad (3)$$

Kuchlanishlar quyidagi formulalar bo'yicha:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \mu \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2} \left( \frac{\partial v}{\partial y} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right); \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)$$

yoki xuddi shu element uchun matritsa shaklida aniqlanadi:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{bmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

Dinamik ta'sir zaminning ikki komponentli garmonik (gorizontal va vertikal o'qlar bo'yicha)

tezlashishi bilan ifodalandi [11-12].

Ta'sir sifatida tizimning pastki chegarasidagi garmonik kinematik shartlar (tezlashish) qo'llaniladi:

$$\left. \begin{aligned} u_0 &= A \sin(2\pi\alpha t) \\ v_0 &= B \sin(2\pi\alpha t) \\ A &= B = 1M/c^2 \end{aligned} \right\} . \quad (6)$$

Ko'rsatilgan amplituda qiymatlari (A va B) 7 balli (0,1g m/s) tizimga to'g'ri keladi.

Suv chiqarish inshootini kinematik ta'sirga dinamik hisoblashning spektral usuliga ko'ra quyidagi formula bo'yicha dinamik yuklamani aniqlash mumkin [12]:

$$S_{ik} = G_k A \beta_i \eta_{ik} ; \quad (7)$$

bunda  $G_k$  –  $k$ -chi tugunchaga to'g'ri keladigan og'irlik;  $A$  – hisobiy seysmiklik (0,1 – 7 ball, 0,2 – 8 ball, 0,4 – 9 ball);  $\beta_i$  – dinamiklik koeffitsiyenti (xususiy tebranishlar davriga teskari proporsional);  $\eta_{ik}$  – masalani xususiy qiymatlarga yechishda olingan massa bo'yicha me'yorlangan xususiy shakllar koeffitsiyentlari.

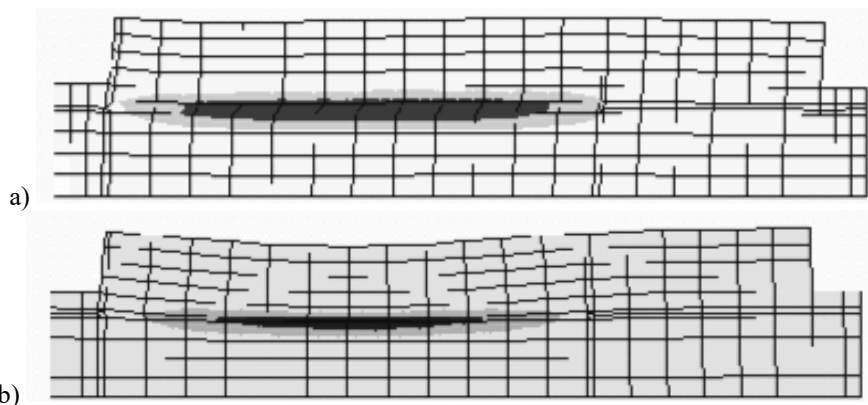
Shunday qilib, dinamik hisoblashlarda birinchi qadam shartli seysmik yuklama formulasiga kiradigan tadqiq qilinayotgan obyektning asosiy chastotalari va xususiy tebranish shakllarini topishdir. Tizimning dinamik xarakteristikalarini dinamik yuklamalar bo'lmaganda aniqlanadi. Bu holda ChEU tartibi xususiy chastotalar va tebranish shakllari haqidagi dinamik masalaning yechimini xususiy qiymatlar ( $\omega$ ) – xususiy chastotalar va  $\{u\}$  – xususiy shaklga mos vektor muammosining yechimiga olib keladi:

$$([K] - \omega^2 [M])\{u\} = 0 . \quad (8)$$

Tugun nuqtalarining  $\{u\}$  ko'chishlarini ifodalaydigan tizimni yechish jarayonida olingan shakllar bo'yicha (4-rasmda ko'rsatilgan approksimatsiyalovchi funksiyalardan foydalangan holda) har bir element ichidagi ko'chishlar, so'ngra esa elementlardagi deformatsiyalar Koshi tenglamasi, olingan deformatsiyalar bo'yicha kuchlanishlar yordamida aniqlanadi.

### 3. Natijalar va muhokamalar (Results and discussion)

5-rasmda xususiy tebranishlarning har ikki shakli bo'yicha maksimal kuchlanishlar sohasi to'q rang bilan ko'rsatilgan. Ikkala holda ham rasmlardagi ushbu soha asosiy shakllarda ko'rsatilgan sohaning eng katta deformatsiyalari tufayli yuzaga keladigan eng katta kuchlanishlar paydo bo'ladigan zaiflashgan sohasi (murakkab qatlamli grunt zamini)ga to'g'ri keladi. Chekli elementlar to'ri asosida Myuller usuli bilan olingan xususiy tebranishlarning dastlabki ikki shakli keltirilgan bo'lib, bu yerda ularga mos chastotalar va davrlar ko'rsatilgan.



**5-rasm.** Deformatsiyalangan chekli elementli to'ri asosida xususiy tebranishlarning birinchi (a) va ikkinchi (b) shakldagi tizimdagi maksimal kuchlanishlar : a) Tebranishning birinchi shaklidagi urinma kuchlanishlar (gorizontal siljish). Maksimal urinma kuchlanishlar (0,19 MPa) – zaiflashgan sohada. Davri  $T_1=0,061$  sek, chastotasi  $\omega_1=16,4$  Gs; b) Tebranishlarning ikkinchi shaklidagi vertikal kuchlanishlar. Maksimal kuchlanishlar (0,22 MPa - siqish) – zaiflashgan sohada. Davri  $T_2=0,048$  sek, chastotasi  $\omega_2=20,4$  Gs

**Figure 5.** Maximum stresses in the system of the first (a) and second (b) forms of natural oscillations based on a deformed finite-element mesh: a) tangential stresses of the first form of oscillation (horizontal displacement). Maximum tangential stresses (0,19 MPa) are in the weakened region. Period  $T_1=0,061$  sec, frequency  $\omega_1=16.4$  Hz; b) vertical stresses of the second form of oscillation. Maximum stresses (0,22 MPa - compression) are in the weakened region. Period  $T_2=0,048$  sec, frequency  $\omega_2=20.4$  Hz

Birinchi shakl yuqori grunt qatlamining yuqori chegarasining pastki chegarasiga nisbatan siljishi natijasida yuzaga keladi, natijada bu yerda siljish deformatsiyasi paydo bo'ladi va shunga mos ravishda 5a-rasmda ko'rsatilgan katta urinma kuchlanishlar paydo bo'ladi. Ikkinchi shakl zaiflashgan sohaning yuqorida joylashgan soha og'irligi ostida siqilishini va shunga mos ravishda katta vertikal kuchlanishlarni ifodalaydi (5b-rasm). Ikkala holatda ham quyidagi grunt qatlamining deformatsiyasi sezilarli emas. Shunday qilib, zaiflashgan soha tizimning eng deformatsiyalanadigan qismi bo'lib, unda ushbu soha yaqinida joylashgan qatlamlarning buzilishiga olib kelishi mumkin bo'lgan sezilarli urinma va normal kuchlanishlar to'plangan.

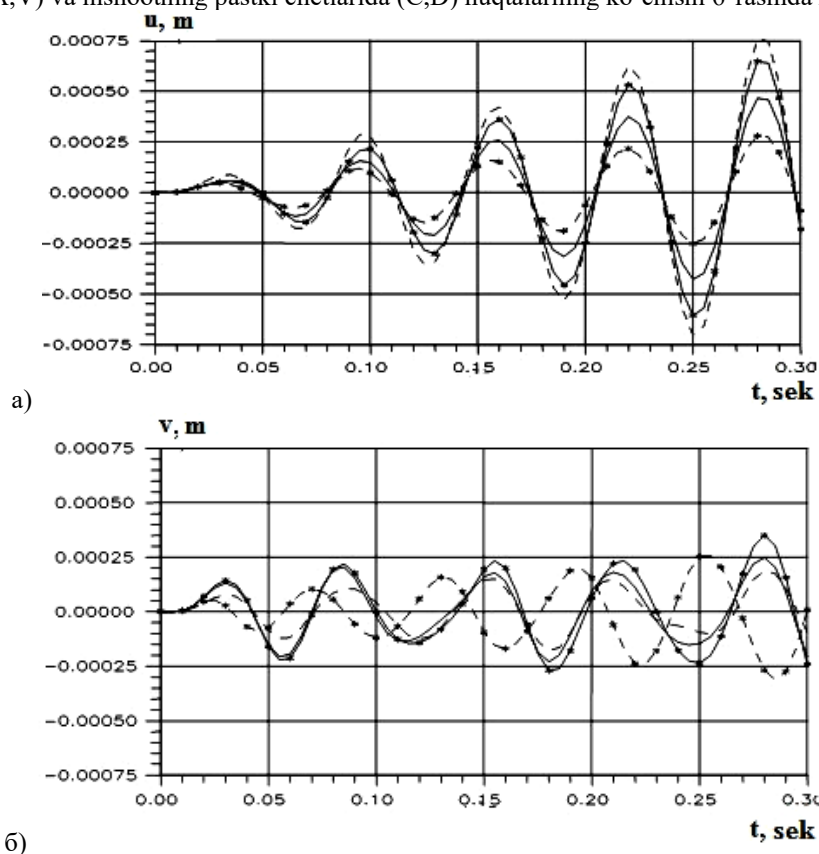
Olingan dinamik xarakteristikalar bo'yicha chastotali kinematik ta'sirlarda inshoot holati va kuchlanganlik-deformatsiya holatini bashorat qilish mumkin.

Demak, agar ta'sir tizimning xususiy tebranishlari chastotasiga mos keladigan chastotaga ega bo'lsa, u holda tizim rezonans tebranishlar rejimiga keladi: agar  $p=\omega_1$  bo'lsa, gorizontaal yoki  $p=\omega_2$  bo'lsa, vertikal tebranishlar rejimi.

Kinematik ta'sirda tizim nuqtalarining ko'chishi (2) tenglamalar tizimini yechish bilan aniqlanadi. Ushbu tadqiqotda ko'chish Nyumarkning bosqichma-bosqich usuli bilan aniqlanadi, bu usul  $u(t_i + \tau)$  va  $u(t_i + \tau)$  ni  $\tau$  integrallash qadamining darajalari bo'yicha qatorlarga yoyish asosida  $\alpha$  va  $\beta$  parametrlari bilan aniqlanadi, bu esa  $\beta \geq 0,5$ ;  $\alpha \geq 0,25(\beta+0,5)^2$  va nolinch boshlang'ich sharti bilan integrallash jarayonining shartsiz yaqinlashishini ta'minlaydi [11]:

$$u(t_i + \tau) = u_i + \tau \cdot u_i + \frac{\tau^2}{2} u_i + \alpha \cdot \tau^3 u_i; u(t_i + \tau) = q_i + \tau \cdot u_i + \beta \tau^2 u_i. \quad (9)$$

Tizimning birinchi xususiy tebranish chastotasi bilan gorizontaal ta'sirda zaiflashgan soha chetlarida (A,V) va inshootning pastki chetlarida (C,D) nuqtalarning ko'chishi 6-rasmda ko'rsatilgan.



**6-rasm.** Nuqtalarning gorizontaal (a) va vertikal (b) ko'chishlari: A (—), B (- - -), C (-x-x-), D (-x-x-x-) xususiy tebranishlarning asosiy chastotasi bilan ta'sirda

**Figure 6.** Horizontal (a) and vertical (b) movements of points: A (—), B (- - -), C (-x-x-), D (-x-x-x-) under the influence of the fundamental frequency of natural vibrations

Olingan natijalarni tahlili shuni ko'rsatadiki, xususiy tebranishlarning asosiy chastotasi bilan ta'sirlashganda gorizontaal ko'chishlar sinxron ravishda sodir bo'ladi va ularning amplitudasi chiziqli ravishda ortadi (6a-rasm). Vertikal tebranishlar amplitudasi gorizontaal tebranishlar amplitudasidan ikki marta kichik bo'ladi (6b-rasm), bunda inshoot yon qirralarining tebranishlari vaqt o'tishi bilan nosinxron bo'lib qoladi (D nuqta (-x-x-x-) va C nuqta (-x-x-)). Bunga sabab, inshoot ostidagi



zaiflashgan sohaning nosimmetrik joylashishi bilan izohlanadi. Rasmdagi natijalar gruntnda so'nishni hisobga olmagan holda faqat to'rtta nuqta uchun olingan: ikkitasi – zaiflashgan soha chetlarida va ikkitasi – chap va o'ng tomonda inshoot zaminida.

Shunday qilib, ko'rib chiqilayotgan tizimning birinchi, asosiy xususiy chastotasiga mos chastotali tashqi ta'sirda uning harakati gorizontal yo'nalishdagi amplitudasi vertikal yo'nalishdagi amplitudasidan ikki marta katta bo'lgan tebranishlar bilan ifodalanadi. Bunda elastik tizim asosan gorizontal yo'nalishda rezonans tebranishlar rejimiga o'tadi (6a-rasm). Ushbu natijalarni hisoblashning ishonchligini tasdiqlaydigan test natijalari sifatida ta'riflash mumkin, ya'ni ta'sir chastotasi va tizimning xususiy tebranish chastotasi teng bo'lganda rezonansning paydo bo'lishi.

#### 4. Xulosa (Conclusion)

Elastik holatdan shakli o'zgaruvchan plastik holatga o'tish mezonlari asosida eng yuqori ekvivalent kuchlanish qayd etilgan zaiflashgan sohasi bo'lgan xususiyatini o'zgartiradigan zona eng xavfli ekanligi aniqlandi. Ushbu o'zgarish tizimning eng katta deformatsiyasini taqdim etdi. Elastiklik moduli oshishi bilan zaiflashgan sohadagi ekvivalent kuchlanishlar kamayadi, bir jinsli zaminda esa ular tizim bo'ylab teng taqsimlanadi.

Asosiy shakllar bo'yicha tebranishlarni keltirib chiqaradigan ikki komponentli ta'sirlarda gruntning turli xususiyatlariga ega bo'lgan tizimning dinamik holati (gorizontal va vertikal ko'chishlar) tadqiq qilindi:

- tashqi ta'sir chastotasi inshootning birinchi xususiy chastotasiga to'g'ri kelganda, tizimda gorizontal tebranishlar ustunligi va ikkita asosiy chastotaning yaqinligi tufayli yuzaga kelgan vertikal tebranishlar bilan rezonans kuzatiladi;
- ta'sir chastotasi ikkinchi xususiy chastotaga teng bo'lganda vertikal tebranishlar ustunlik qiladi;
- gruntndagi ishqalanishni hisobga olish ta'sir to'xtatilgandan so'ng tizimning so'nuvchi tebranishlariga olib keladi;
- inshoot ostidagi zaiflashgan sohaning nosimmetrik joylashuvi inshootning vertikal tekislikda burilishiga olib keladi.

#### ADABIYOT

1. Paluanov D.T., Tajenov B.M. Iqtisodiyot tarmoqlarida IV sinf gidrotexnika inshootlaridan foydalanish // Qurilish va ta'lim ilmiy jurnali. – Namangan, 2025. – №1(13). – B. 23-29.
2. Палуанов Д.Т. Исследование системы «низконапорная плотина-неоднородное основание» при сейсмических воздействиях // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2016. – № 1. – С. 8-14.
3. Палуанов Д.Т., Жураев С.Р. Динамическая задача о системе «низконапорная плотина-неоднородное основание» // Вестник Прикаспия. – Астрахань, 2016. – № 1(16). – С. 40-45.
4. Палуанов Д.Т., Абдураимов У.К. Расчет системы «плотина-неоднородное основание» при динамических воздействиях /Республиканская научно-техническая конференция “Проблемы улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель и эффективного использования водных ресурсов”. – Ташкент, 2015. – Б. 342-347.
5. Мирсаидов М.М., Султанов Т.З. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин с учетом нелинейного деформирования материала и конечных деформаций // Инженерно-строительный журнал. – СПб, 2014. - № 5(49). – С. 73-82.
6. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
7. Постнов В.А., Хархурим И.Я. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1974. – 342 с.
8. Салямова К.Д., Руми Д.Ф. Трансформация напряженно-деформированного основания сооружения при неравномерном увлажнении грунта // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – Белгород, 2016. - № 5. – С. 94-99.
9. Салямова К.Д., Руми Д.Ф. Численный анализ напряженно-деформированного состояния системы «грунтовое сооружение-основание» // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – М., 2016. – Т.9. – № 4. – С. 536-545.
10. Кульмач П.П. Сейсмостойкость портовых гидротехнических сооружений. – М.: Транспорт, 1970. – 310 с.
11. SHNQ 2.06.11-04. Seysmik tumanlarda qurilish. Gidrotexnika inshootlari. – Т.: Arxitektura va qurilish qo'mitasi, 2006.
12. Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов) (к СНиП II-A.12-75) – Л.: ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, 1977. – 316 с.

#### REFERENCES

1. Paluanov D.T., Tazhenov B.M. Use of hydraulic structures of class IV in economic sectors //



- Scientific Journal of Construction and Education. - Namangan, 2025. – №1(13). – P. 23-29.
2. Paluanov D.T. Research of the "low-pressure dam-non-uniform foundation" system under seismic influences // Bulletin of Tashkent State Technical University. – Tashkent, 2016. - №1. - P. 8-14.
  3. Paluanov D.T., Juraev S.R. Dynamic problem on the system "low-head dam-non-uniform foundation" // Bulletin of the Caspian Region. – Astraxan, 2017. - №1 (16). - P. 40-45.
  4. Paluanov D.T., Abduraimov U.K. Calculation of the "dam-non-uniform foundation" system under dynamic influences /Republican scientific and technical conference "Problems of improving the melioration state of irrigated lands and efficient use of water resources." - Tashkent, 2015. - P. 342-347.
  5. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Assessment of the stress-strain state of earth dams, taking into account nonlinear deformation of the material and finite deformations // Engineering and Construction Journal. - Saint Petersburg, 2014. - №5 (49). - P. 73-82.
  6. Zenkevich O. The Method of Finite Elements in Engineering. - M.: Mir, 1975. - 541 p.
  7. Postnov V.A., Kharkhurim I.Ya. The Method of Finite Elements in Calculations of Ship Structures. - L.: Shipbuilding, 1974. - 342 p.
  8. Saliyamaova K.D., Rumi D.F. Transformation of the stress-strain base of a structure with uneven soil moisture // Bulletin of BGTU named after V.G. Shukhov. - Belgorod, 2016. - №5. - P. 94-99.
  9. Salamova K.D., Rumi D.F. Numerical analysis of the stress-strain state of the "soil structure-foundation" system // Journal of the Siberian Federal University. Series: Equipment and Technology. - M., 2016. - Vol.9. - №4. - P. 536-545.
  10. Kulmach P.P. Seismic Resistance of Port Hydraulic Structures. - M.: Transport, 1970. - 310 p.
  - 11 SHNK 2.06.11-04. Construction in seismic districts. Hydraulic Structures. - T.: Architecture and Construction Committee, 2006.
  12. Guide for Determining Loads and Impacts on Hydraulic Structures (Wave, Ice, and Ships) (SNiP II-A.12-75) - L.: VNIIG named after B.E. Vedeneyev, 1977. - 316 p.