

**СТАТИК YUKLAMALAR TA'SIRIDAGI GRUNTLI TO'G'ONLARNING FAZOVIY  
KUCHLANGANLIK-DEFORMATSIYALANISH HOLATINI CHEKLI ELEMENTLAR  
USULIDAN FOYDALANIB TADQIQ QILISH**

**Matkarimov Paxridin Jo'rayevich<sup>1</sup>, Usmonxo'jayev Sanjar Ibroxim o'g'li<sup>1</sup>, Tadjiboyev  
Erkin Salaxidinovich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Namangan muhandislik-texnologiya instituti. Kosonsoy ko'chasi, 7, 160115, Namangan,  
O'zbekiston;

<sup>2</sup>O'zbekistozn milliy metralogiya instituti Namangan filiali

Email: [mpaxridin@gmail.com](mailto:mpaxridin@gmail.com), [sanjar.usmonxojayev@mail.ru](mailto:sanjar.usmonxojayev@mail.ru), [tadjibaeverkin1965@gmail.com](mailto:tadjibaeverkin1965@gmail.com).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14874496>

**Annotatsiya:** Maqolada Lagranj-Dalembert variatsion tamoyiliga asoslanib, murakkab geometrik parametrlarga ega bo'lgan Jidalisoy gruntli to'g'onlarining xususiy og'irligi va suvning gidrostatik bosimi ta'siridagi kuchlanish-deformatsiya holati (KDH)ni baholash bo'yicha masalalarni hal qilishning fazoviy hisoblash sxemasi, matematik modeli, hisoblash usuli hamda algoritmi keltirilgan. Abaqus universal dasturidan foydalanib, inshootning konstruktiv xususiyatlarini hisobga olgan holda, gruntli to'g'onning fazoviy kuchlanish-deformatsiya holatini o'rganish uchun raqamli hisob ishlari bajarilib, natijalari taqdim etilgan.

Olingan natijalar asosida murakkab geometrik parametrlarga ega bo'lgan Jidalisoy gruntli to'g'onining statik yuklamalar ta'siridagi KDHni o'rganish - faqat inshootning fazoviy modellari yordamida hisob ishlarini amalga oshirish kerakligi ko'rsatib berilgan.

**Kalit so'zlar:** gruntli to'g'on, fazoviy model, kuchlanish holati, massa kuchlari, gidrostatik bosim, deformatsiya va kuchlanishlar izomaydonlari.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННО-  
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА  
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Аннотация:** В статье представлены пространственная расчетная схема, математическая модель, метод расчета и алгоритм решения задач по оценке напряженно-деформированного состояния (НДС) земляных плотин Жидалисой со сложными геометрическими параметрами на основе вариационного принципа Лагранжа-Далебера под воздействием удельного веса и гидростатического давления воды. С использованием универсальной программы Abaqus выполнены численные расчеты по исследованию пространственного напряженно-деформированного состояния земляной плотины с учетом конструктивных особенностей сооружения и представлены результаты.

На основании полученных результатов показано, что исследование КДХ Жидалисойской земляной плотины под действием статических нагрузок, имеющей сложные геометрические параметры, следует проводить с использованием только пространственных моделей сооружения.

**Ключевые слова:** земляная плотина, пространственная модель, напряженное состояние, массовые силы, гидростатическое давление, изополя деформаций и напряжений.

## STUDY OF THE SPATIAL STRESS-STRAIN STATE OF EARTHEN DAMS UNDER THE INFLUENCE OF STATIC LOADS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

**Abstract:** The article presents a spatial calculation scheme, mathematical model, calculation method and algorithm for solving problems on assessing the stress-strain state (SST) of the Zhidalisoy earthen dams with complex geometric parameters, based on the Lagrange-Dalembert variational principle. Using the Abaqus universal program, numerical calculations were performed to study the spatial stress-strain state of the earthen dam, taking into account the structural features of the structure, and the results were presented.

Based on the results obtained, it is shown that the study of the SST of the Zhidalisoy earthen dam with complex geometric parameters under the influence of static loads should be carried out using only spatial models of the structure.

**Keywords:** earth dam, spatial model, stress state, mass forces, hydrostatic pressure, deformation and stress isofields.

### KIRISH

Seysmikligi yuqori bo'lgan hududlarda qurilgan va ekspluatatsiya qilinayotgan yirik gidrotexnik inshootlari har xil turdagi statik va dinamik, shuningdek seysmik yuklamalarning ta'sirida mustahkam, ishonchli va xavfsiz bo'lishi kerak. O'z navbatida, suv muhiti bilan o'zaro ta'sir qiluvchi gidrotexnik inshootlarning mustahkam va ishonchli ishlaydigan konstruksiyalarini yaratish uchun ularning statik holatini baholash bo'yicha keng qamrovli tadqiqotlar o'tkazish, gruntlarning mexanik xususiyatlarini, shuningdek, inshootlarning haqiqiy geometriyasi va fazoviy ishlashini hisobga olish kerak bo'ladi.

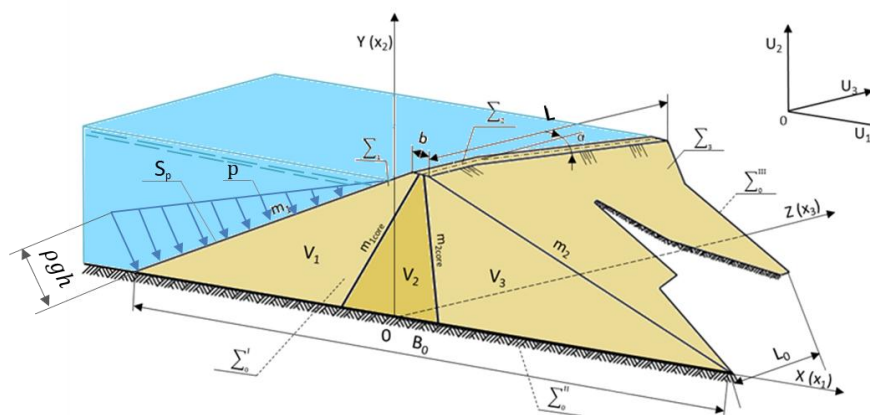
Yuqoridagi murakkab masalani ko'rsatilgan omillarni hisobga olgan holda chekli elementlar usuli (ChEU) yoki chekli ayirmalar usul (ChAU)i [1, 2] kabi sonli usullar yordamida to'liq va aniq hal qilish mumkin.

Ko'plab tadqiqotchilar tomonidan [3-15] gruntli to'g'onlarning kuchlanish-deformatsiya va dinamik holatlarini inshootlarning konstruktiv xususiyatlari, geometrik xarakteristikalarini va turli modellari yordamida atroflicha o'rganilgan va tegishli xulosalar berilgan.

Ilmiy adabiyotlar taxlili shuni ko'rsatadiki, konstruktiv xususiyatlar va haqiqiy ishlash sharoitini hisobga olgan holda gruntli to'g'onlarining kuchlanish - deformatsiya holatini yetarli darajada o'rganilmaganligi uchun bu yo'nalishda tadqiqotlar olib borish katta ilmiy qiziqish uyg'otadi. Bundan, gruntli to'g'onlarning konstruktiv xususiyatlarini, geometrik o'lchamlarini, gruntlarning fizik-mexanik xususiyatlarini hamda qurilish maydoni relefini hisobga olgan holda statik yuklamalar ta'siridan kuchlanish-deformatsiya holatini baholash uchun matematik model va hisoblash usullari ishlab chiqish tutash muxitlar mexanikasining dolzarb muammosi hisoblanadi.

### METODOLOGIYA

Murakkab geometriyaga ega bo'lgan (1-rasm)  $V = V_1 + V_2 + V_3$  hajmli gruntli to'g'onning fazoviy modelini ko'rib chiqamiz. Bu yerda;  $V_1$ ,  $V_3$  va  $V_2$  - yuqori, pastki prizmalar va yadroning hajmi. To'g'on asos va yon qirg'oq nishablik maydoni  $\Sigma_0$ ,  $\Sigma_0''$ ,  $\Sigma_0'''$  bilan biki mahkamlangan bo'lib, to'g'onning tepa qismi  $\Sigma_2$  va quyi nishabligi sirti  $\Sigma_3$  yuklanishdan ozod bo'lib, yuqori nishabligi  $S_p$  ga suvning gidrostatik bosimi ta'sir qiladi. To'g'on asosining relefi notekis bo'lib, to'g'on tepasining o'qi  $\alpha$  burchakka burilgan. Ko'rib chiqilayotgan sistema xususiy og'irlik  $\vec{f}$  va suvning gidrostatik bosimi  $\vec{p}$  ta'sirida bo'ladi.



**1 –rasm. Jidalisoy gruntli to‘g‘onining gidrostatik suv bosimi ta‘siridagi fazoviy hisob modeli chizmasi.**

Bu yerda:  $L$  – to‘g‘on grebenining uzunligi;  $L_o$  – asosning uzunligi;  $b$  – greben kengligi;  $B_o$  – to‘g‘on asosining ko‘ndalang yo‘nalishdagi kengligi;  $m_1$  va  $m_2$  – yuqori va quyi qiyaliklari koeffitsenti;  $m_{1yadro}$  va  $m_{2yadro}$  – to‘g‘on yadrosining qiyaliklari koeffitsenti.

Bunday holda, variatsion tenglama, Lagranjning mumkin bo‘lgan ko‘chishlari printsipiga asoslanib, quyidagicha yoziladi [1, 16]:

$$\delta A = - \int_V \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \int_V \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

va to‘g‘on asosidagi chegaraviy shartlar quyidagicha bo‘ladi:

$$\vec{x} \in \sum_o = \sum_0' + \sum_0'' + \sum_0''' : \vec{u} = 0. \quad (2)$$

Materialning fizik xususiyatlarini yozish uchun kuchlanish va deformatsiya komponentlari o‘rtasidagi munosabatlar quyidagi shaklda qabul qilinadi:

$$\sigma_{ij} = \lambda_n \theta \delta_{ij} + 2 \mu_n \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

va Koshi munosabatlari

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right). \quad (4)$$

Bu yerda  $\delta \vec{u}$ ,  $\delta \varepsilon_{ij}$  ko‘chish vektori va kuchlanish tensorlari komponentlarining izoxron o‘zgarishlari;  $\vec{u}$ ,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  - ko‘chish vektorlari, deformatsiya va kuchlanish tensorlarining komponentlari;  $\vec{f}$  - massa kuchlari vektori;  $\lambda_n$  va  $\mu_n$  - to‘g‘onning  $n$  - elementi uchun Lamé doimiylari;  $\theta = \varepsilon_{kk}$  - fazoviy deformatsiya;  $\{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}$  - inshoot nuqtasining ko‘chish vektorining komponentlari;  $\{x\} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$  - inshoot nuqtasining koordinatalari  $i, j, k = 1, 2, 3$ .

To‘g‘onning  $S_p$  bosim yuzasidagi gidrostatik suv bosimi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$p = \rho g(h - y) \quad (5)$$

Har qanday mumkin bo‘lgan ko‘chish  $\vec{u}$  uchun (1) - (4) tenglamalarni qanoatlantiruvchi  $\vec{p}$  va  $\vec{f}$  yuklamalar ta'sirida to‘g‘on tanasida hosil bo‘ladigan ko‘chish va kuchlanishlar komponentlarini aniqlash kerak bo‘ladi.

Chekli elementlar usuli (ChEU) tartibini qo‘llash natijasida fazoviy sistema egallagan sohalar uchun (1) - (4) variatsion tenglama va munosabatlardan yuqoridagi matematik modelga ekvivalent bo‘lgan yuqori tartibli bir jinsiz algebraik tenglamalar sistemasiga keltiriladi:

$$[K]\{u\} = \{F\}, \quad (6)$$

Bu yerda,  $[K]$  - qaralayotgan sistema (1-rasm) uchun bikrlilik matritsasi;  $\{u\}$  - chekli elementlar tugunlardagi izlanayotgan noma‘lum ko‘chishlar;  $\{F\}$  - chekli elementlar tugunlariga ta’sir qiluvchi tashqi kuchlar (massa kuchlari va h.k.). Kinematik chegara shartlari (2) hisobga olinadi. Agar ma‘lum bir tugunning ko‘chish komponentlari nolga teng bo‘lsa, u holda (2) tenglamadagi mos keladigan qatorlar hosil bo‘lmaydi. Fazoviy ko‘rinishdagi masalani echishda universal Abaqus dasturidan foydalanildi.

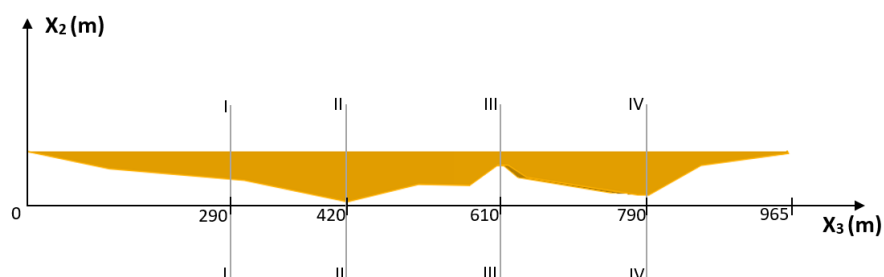
### NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

Maqolada Farg‘ona vodiysi hududida qurilgan Jidalisoy suv ombori gruntli to‘g‘onining KDHni uning statik kuchlar ta’sirida va suv ombori suvining gidrostatik bosimi ostida fazoviy ishlashini hisobga olgan holda ko‘rib chiqilgan. Yuqoridagi matematik model, usul va algoritmdan foydalanib, gruntning real fizik-mexanik xususiyatlari, konstruktiv jixatlari, geometrik parametrlari, relyefi va to‘g‘onning egri o‘qini hisobga olgan holda to‘g‘onning kuchlanish-deformatsiya holati o‘rganilgan.

Ko‘rib chiqilayotgan Jidalisoy gruntli to‘g‘oni tanasining grundi shag‘aldan tashkil topgan bo‘lib gruntni to‘kib, shibbalab yotqizilgan. To‘g‘onning yuqori nishabligi qalinlikdagi  $t=0,20$  m beton bilan qoplangan. To‘g‘on 1 va 3- yuqori va pastki prizmalar shag‘aldan, yadro 2 esa suglonik gruntedan yotqizilgan bo‘lib, balandligi  $H=62,8$  m, qiyalik koeffitsientlari  $m_1=2,35$ ,  $m_2=2,1$  ga teng. To‘g‘on tepasining kengligi  $b=10$  m, uzunligi  $L=965$ m. Asosining bo‘ylama uzunligi  $L_0=364$  m dan iborat.

Sonli hisoblash natijasida inshootning barcha nuqtalari uchun  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  ko‘chish vektorlari va kuchlanish tensorlari  $\sigma_{ii}$  komponentlari aniqlanadi.

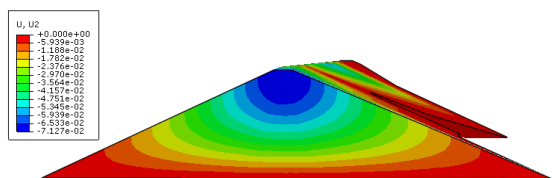
Olingan natijalarni tahlil qilish qulay bo‘lishi uchun to‘g‘onning xarakterli bo‘ylama va ko‘ndalang kesimlarida ko‘chish komponentlari va kuchlanish tensorlari uchun izomaydonlar qurildi. Bunda, to‘g‘onning bo‘ylama o‘qi bo‘ylab bir nechta 2- rasmda keltirilgan xarakterli kesimlar tanlab olindi.



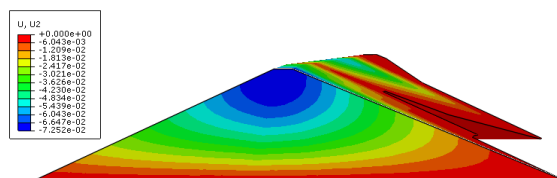
2-rasm. Jidalisoy to‘g‘onining  $X_3$  - bo‘ylama o‘qi bo‘ylab ko‘ndalang kesimlarining joylashuv sxemasi.

Sonli olingan natijalar tahlilidan ko‘rinadiki, Jidalisoy suv omborining 420 m masofadagi (II-II kesm) kesimida to‘g‘onning xususiy og‘irligini hisobga olgan holda olingan natijalar to‘g‘on balandligi oshishi bilan  $u_2$  - vertikal ko‘chishlar qiymatlari mos ravishda oshib boradi (3 a -rasmga qarang). Bu holat asosan to‘g‘onning tepa qismida kuzatiladi. Bunda vertikal ko‘chishlarning maksimal qiymati to‘g‘onning eng yuqori qismida kuzatiladi. Bunda, to‘g‘onning kesimlaridagi deformatsiyalarning xarakteri tanlangan uchastkaning joylashishiga sezilarli darajada bog‘liq bo‘ladi. Ko‘rib chiqilgan barcha kesimlarda to‘g‘on tanasidagi nuqtalarning vertikal ko‘chishlari vertikal o‘qqa nisbatan taxminan simmetrik xarakterga ega bo‘ladi (3 b – rasm).

a)  $u_2$ , m



b)  $u_2$ , m



**3-rasm Jidalisoy gruntli to‘g‘onining xususiy og‘irligi (a) va suv omborining to‘la (H) to‘ldirilishi (b) natijasida II-II kesimida hosil bo‘ladigan  $u_2$  – vertikal ko‘chishlarning teng taqsimlanish izomaydonlari**

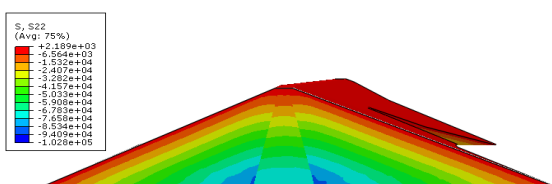
Suv sathining oshishi bilan to‘g‘on kesimining ko‘chish izomaydoni ham o‘zgaradi: suv ombori to‘g‘on balandligining yarmigacha to‘ldirilganda faqatgina yuqori tayanch prizmasining ko‘chish izomaydoni o‘zgaradi; suvning sathi asta-sekin ortishi bilan ko‘chish izomaydoni asta-sekin yadroda, keyin esa pastki tayanch prizmasida o‘zgaradi.

Tadqiqotning keyingi bosqichida to‘g‘onning kuchlanish holati inshootning xususiy og‘irligi va suvning gidrostatik bosimi ta'sirida fazoviy holatda o‘rganildi va kuchlanish komponentlari  $\sigma_{ij}$  ning teng taqsimlanish izomaydonlari quriladi (4a,b-rasmga qarang).

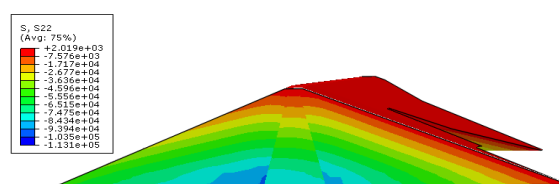
To‘g‘onning suv ombori bo‘sh bo‘lgan holatdagi olingan natijalar (4 a-rasm) taxlili qaralayotgan kesimdagi nuqtalarning kuchlanish komponentlari qiymatlari to‘g‘on balandligi va kesimning qirg‘oqdan qancha masofada joylashishiga bog‘liqligini ko‘rsatadi. Shuningdek, barcha tanlangan kesimlarda to‘g‘onning vertikal o‘qiga nisbatan kuchlanish holati deyarli simmetrik xarakterda bo‘lishini ko‘rsatadi.

Suvning gidrostatik bosimini hisobga olinishi, to‘g‘on tanasidagi vertikal kuchlanish  $\sigma_{22}$  larning qiymatlarini yuqori tayanch prizmada ortishiga olib keladi va to‘g‘onning tepa qismida kuchlanishlar qiymatining ortib borishi natijasida kuchlanishlarni to‘g‘on tanasi bo‘yicha qayta taqsimlaydi va simmetrik xarakterini to‘la yo‘qotishiga olib keladi (4 b-ram). Olingan natijalar taxlilidan xulosa qilish mumkinki, Jidalisoy kabi murakkab geometriyaga ega bo‘lgan gruntli to‘g‘onlarning kuchlanish-deformatsiya holatlarini faqatgina fazoviy (uch o‘lchovli) modellar yordamida tadqiqot ishlarini bajarish mumkin bo‘ladi.

a)  $\sigma_{22}$ , ( $\times 10^{-5}$  MPa)



b)  $\sigma_{22}$ , ( $\times 10^{-5}$  MPa)



**4-rasm. Jidalisoy gruntli to‘g‘onining xususiy og‘irligi (a) va suv omborining to‘la (H) to‘ldirilishi (b) natijasida II-II kesimida hosil bo‘ladigan  $\sigma_{22}$ - vertikal normal kuchlanishlarning teng taqsimlanish izomaydonlari**



## XULOSALAR

1. Fazoviy hisoblash sxemalari yordamida murakkab geometrik parametrlarga ega bo'lgan gruntli to'g'onlarning KDHni tadqiq qilish uchun inshootning haqiqiy ishlash sharoitlarini hisobga olgan holda Lagranj-Dalembertning variatsion tamoyiliga asoslangan matematik model ishlab chiqildi.

2. Olingan natijalar taxlili to'g'onning kuchlanish-deformatsiya holati tanlangan kesimning joylashuvi va uning geometrik parametrlariga sezilarli darajada bog'liq bo'lishini ko'rsatdi. Bunda, kesim nuqtalarining ko'chish komponentlari va kuchlanish tensorlarining qiymatlari to'g'on balandligiga va kesimlarning qirg'oqlargacha bo'lgan masofaga bog'liq bo'lishi aniqlandi. Suv ombor bo'sh bo'lganda, to'g'onning barcha uchastkalarda kuchlanish holati vertikal o'qqa nisbatan deyarli simmetrik bo'ladi. Bunday holda, har bir kesimda bir-biridan farq qiladigan turli xil kuchlanish holati kuzatiladi.

3. Suvning gidrostatik bosimi to'g'onning barcha kesimlaridagi kuchlanishlarni to'g'on tanasi bo'yicha qayta taqsimlab, simmetrik xarakterini to'la yo'qotishiga olib keladi. Bu holatda  $\sigma_{11}$  kuchlanishlar qiymati to'g'on yuqori prizmasida 2.0 barobargacha, tepqa qismida esa 1.5 barobargacha ortishi kuzatildi. Vertikal  $\sigma_{22}$  kuchlanishlarning qiymatlari esa yuqori tayanch prizmada 1.3 barobargacha oshadi. Mazkur aniqlangan mexanik jarayonlar, to'g'onning ushbu qismida joylashgan gruntning murakkab deformatsiyalanish holatida ishlashidan dalolat beradi.

4. Har qanday balandlikdagi gruntli to'g'onlarning KDHLarini o'rganishda suv bosimi ta'sirini hisobga olish kerakligi aniqlandi. Suvning gidrostatik bosimi to'g'on konstruksiyalari va yon bag'irlarining barqarorligiga, shuningdek, umuman inshootning mustahkamligiga sezilarli ta'sir qilgan ekan.

### Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Mirsaidov M. Strength of earth dams considering the elastic-plastic properties of soils. E3S Web of Conferences 365, 03001 (2023). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503001>
2. Juraev D., Matkarimov P., Mirziyod M. Three-Dimensional Stress State of Earth Dams Under Static Loads. Lecture Notes in Civil Engineering Proceedings of MPCPE 2022, 2023, Pp. 1-11. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-30570-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-30570-2_1)
1. 3. Juraev D.P., Matkarimov P.J. Stress-strain state and strength of earth dams under static loads. IV International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering", Tashkent, Uzbekistan, E3S Web of Conferences, 2023, Volume 365, id.03008 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336503008>
3. Kholboev Z., Matkarimov P., Mirzamakhmudov A. Investigation of dynamic behavior and stress-strain state of soil dams taking into account physically Non-linear properties of soils //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 452. – C. 02009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345202009>
4. Il'ichev, V. A., Yuldashev, S. S., Matkarimov, P. Z. Forced vibrations of an inhomogeneous planar system with passive vibrational insulation. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1999. 36(2), 50-54. <https://doi.org/10.1007/BF02469084>
5. Juraev D., Matkarimov P., Usmonkhuzhaev S. Stress-strain state of soil dams under the action of static loads. // Scientific and Technical Journal NamIET, Vol. 8, Issue 2, 2023, pp. 221-228
6. Ahmad R.M., Mostafa Z.R., Behrang B. Quasi-static and dynamic analysis of vertical and horizontal displacements in earth dams (case study: Azadi earth dam). Journal of Civil Engineering and Materials Application. 2020 (December); 4(4): P.p 223-232

7. Sultanov K.S., Khusanov B.E., Loginov P.V., Normatov Sh. Method for Assessing the Reliability of Earth Dams in Irrigation Systems. 2020, Construction of Unique Buildings and Structures, Volume (4)89 Article No 8901. pp 49. [doi:10.18720/CUBS.89.1](https://doi.org/10.18720/CUBS.89.1)
8. Kong X., Liu J., Zou D. Numerical simulation of the separation between concrete face slabs and cushion layer of Zipingpu dam during the Wenchuan earthquake // Science China Technological Sciences. 2016. Vol. 59. No. 4. Pp. 531–539. [DOI: 10.1007/s11431-015-5953-6](https://doi.org/10.1007/s11431-015-5953-6)
9. Ahmet Can Altunişik, Murat Günaydin, BarışSevim, AlemdarBayraktar, Süleyman Adanur (2015). CFRP composite retrofitting effect on the dynamic characteristics of arch dams. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 74, Pp.1-9. [DOI:10.1016/j.soildyn.2015.03.008](https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.03.008)
10. Ravindra Vipparthy. Static and free vibration analysis of gravity dam under the influence of hydrostatic pressure using ANSYS finite element models. GMRIT JNTUK. 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1823407/v1>
11. J .C.Galván, et al. Boundary element model for the analysis of the dynamic response of the Soria arch dam and experimental validation from ambient vibration tests. Engineering Analysis with Boundary Elements. 2022, Vol.144. Pp.67-80. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2022.08.008>
12. Hongqi Ma Fudon Chi. Major Technologies for Safe Construction of High Earth-Rockfill Dams. Engineering. Vol. 2, Iss. 4, 2016, Pp. 498-509. [https://doi.org /10.1016/ J.ENG. 2016.04.001](https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.04.001)[Get rights and content](#)
13. G.L.Kozinetc, P.V.Kozinetc. The calculation of the dynamic characteristics of the spillway of the dam. Magazine of Civil Engineering. 2022, 113(5), Pp.1-8. [DOI: 10.34910\MCE.113.12](https://doi.org/10.34910/MCE.113.12)
14. M.M.Mirsaidov, P.J.Matkarimov, D. Juraev. Assessment of stress-strain state of earth dams considering the spatial operation of structures. International Conference: Mechanics, Earthquake Engineering, Machinery Building, May 27-29, 2024. Tashkent, Volume II, pp, 232-238.
15. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с.