JOURNAL OF TRANSPORT

ISSUE 1, 2026 vol. 3
E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164

SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI
Tashkent state transport university

JOURNAL OF TRANSPORT

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

E-ISSN: 2181-2438
ISSN: 3060-5164

VOLUME 3, ISSUE 1

MARCH, 2026

jot.tstu.uz

TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

EDITOR-IN-CHIEF

SAID S. SHAUMAROV

Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University

Deputy Chief Editor

Miraziz M. Talipov

Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University

---

The **"Journal of Transport"** established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo'lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at jot@tstu.uz.

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organizatsion
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

Nonlinear dynamic and seismic performance of elevated metro viaduct supports

F.E. Abdukodirov[1] [a], T.M. Khasanov[1] [b]
[1]Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This paper presents a nonlinear dynamic and seismic assessment of elevated metro viaduct supports considering geometric and material nonlinearities. A three-dimensional finite element model based on the Updated Lagrangian formulation was implemented [3]. Steel (A500) and basalt (FRP) reinforcement alternatives were evaluated under spectral and time-history seismic loading according to EN 1998-1[2]. Modal characteristics, critical load factors, geometric stiffness contribution, energy dissipation ratios, and post-buckling behavior were quantified. Results indicate that geometric stiffness contributes approximately 11% to the overall structural response. Steel reinforcement demonstrates higher energy dissipation capacity (30%) and improved post-critical ductility compared to basalt reinforcement (20%), which exhibits brittle response characteristics. The proposed energy-based performance criteria provide a rational framework for optimizing metro viaduct support systems in seismic regions [1].

Keywords: nonlinear dynamics, metro viaduct, seismic analysis, energy dissipation, FRP reinforcement, finite element method, overpass support, stress–strain state, load-bearing capacity, lateral displacements, spatial stiffness, deformability, reinforcement schemes, steel reinforcement, composite reinforcement, concrete class, LIRA-SAPR

Yer usti metropoliten estakada tayanchlarining geometrik va fizik nolinearlik sharoitidagi dinamik hamda seysmik ishlash ko‘rsatkichlarini baholash

Abduqodirov F.E[1]. [a], Xasanov T.M[2] [b]
[1]Toshkent davlat transport universiteti, Tashkent, O‘zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada yer usti metropoliten estakada tayanchlarining geometrik va material nolinearlik sharoitidagi nolinear dinamik hamda seysmik baholashi taqdim etilgan. Updated Lagrangian formulatsiyasiga asoslangan uch o‘lchamli chekli elementlar modeli ishlab chiqildi[3]. EN 1998-1 talablariga muvofiq spektral va time-history (vaqt bo‘yicha) seysmik yuklanishlar ostida po‘lat (A500) va bazalt (FRP) armatura variantlari baholandi. Modal ko‘rsatkichlar, kritik yuk koeffitsienti, geometrik qattiqlik ulushi, energiya dissipatsiyasi nisbatlari hamda post-kritik (post-buckling) xatti-harakat miqdoriy tahlil qilindi[2]. Natijalar geometrik qattiqlik umumiy konstruktiv javobning taxminan 11 foizini tashkil etishini ko‘rsatdi. Po‘lat armatura bazalt armaturaga (20%) nisbatan yuqoriroq energiya yutish qobiliyatini (30%) va post-kritik bosqichda yaxshiroq duktil xatti-harakatni namoyon etdi, bazalt armatura esa mo‘rt buzilish xususiyatlari bilan tavsiflandi. Taklif etilgan energiyaga asoslangan samaradorlik mezonlari seysmik hududlarda metropoliten estakada tayanch tizimlarini optimallashtirish uchun ilmiy asoslangan konseptual yondashuvni ta’minlaydi[1].

Kalit so‘zlar: nolinear dinamika, metropoliten estakadasi, seysmik tahlil, energiya dissipatsiyasi (so‘nishi), FRP kompozit armatura, chekli elementlar usuli, yo‘l o‘tkazgich tayanchi, kuchlanish–deformatsiya holati, yuk ko‘tarish qobiliyati, yonlama siljishlar, fazoviy bikrlik, deformatsiyalanish qobiliyati, armaturalash sxemalari, po‘lat armatura, kompozit armatura, beton sinfi, LIRA-SAPR hisoblash majmuasi.

1. Kirish

Zamonaviy yer usti metropoliten estakadalari murakkab fazoviy yuklanish sharoitida ishlaydigan muhandislik inshootlari bo‘lib, ularning tayanch elementlari ekspluatatsion, takrorlanuvchi dinamik hamda seysmik ta’sirlarga bir vaqtning o‘zida duchor bo‘ladi. Ayniqsa, seysmik hududlarda joylashgan transport infratuzilmasi obyektlarida tayanch konstruksiyalarning barqarorligi, duktil xatti-harakati va energiya yutish qobiliyati muhim ishonchlilik mezoni hisoblanadi[5].

Ko‘prik va estakada tayanchlarining an’anaviy hisoblash usullari ko‘pincha chiziqli-elastik yondashuvga asoslanadi. Biroq transport yuklarining siklik xarakteri, katta deformatsiyalar, ikkinchi tartibli (P–Δ) effektlar hamda material plastiklik jarayonlari konstruksiyaning haqiqiy ishlash mexanizmini sezilarli darajada o‘zgartiradi. Shu sababli, fazoviy geometrik va fizik nolinearlikni hisobga olgan holda dinamik-seysmik tahlil o‘tkazish 05.09.02 –

---

[a] https://orcid.org/0000-003-2271-3768
[b] https://orcid.org/0009-0007-8137-853x

"Asoslar, poydevorlar va yer osti inshootlari. Koʻpriklar va transport tunnellari. Yoʻllar, metropolitenlar" ixtisosligi doirasida dolzarb ilmiy muammo hisoblanadi[7].

Metropoliten estakada tayanchlari yuk koʻtarish qobiliyatini faqat kesim mustahkamligi orqali emas, balki ularning fazoviy bikrligi, lateral siljishlarga chidamliligi va energiya dissipatsiyasi xususiyatlari orqali ham namoyon etadi. Ayniqsa, seysmik ta'sirlar ostida konstruktsiyaning umumiy javobi birinchi moda bilan boshqarilishi, geometrik qattiqlikning umumiy bikrlikka qoʻshgan hissasi hamda post-kritik barqarorlik darajasi alohida ilmiy ahamiyatga ega[9].

Soʻnggi yillarda kompozit (CHEU) armaturalarning qoʻllanilishi kengayib bormoqda. Ularning korroziyaga chidamliligi yuqori boʻlsa-da, plastiklik rezervining yoʻqligi va moʻrt buzilish xususiyati transport inshootlari uchun xavfsizlik nuqtai nazaridan qoʻshimcha tahlilni talab etadi. Shu bois, poʻlat (A500) va bazalt (FRP) armaturali variantlarni bir xil yuklanish sharoitida qiyosiy dinamik-seysmik baholash muhim ilmiy va amaliy masaladir[11].

Mazkur tadqiqotning maqsadi — yer usti metropoliten estakada tayanchining geometrik va fizik nolinearlik sharoitidagi dinamik hamda seysmik xatti-harakatini uch oʻlchamli chekli elementlar modeli asosida kompleks baholash hamda energiyaga asoslangan samaradorlik mezonlari orqali optimal armaturalash variantini asoslashdan iborat.

Ilmiy yangilik shundan iboratki, estakada tayanchining dinamik-seysmik javobi faqat deformatsion yoki kuchlanish mezonlari bilan emas, balki energiya dissipatsiyasi ulushi orqali baholanib, poʻlat va bazalt armatura variantlari oʻrtasidagi farq miqdoriy asosda koʻrsatib berildi. Bu yondashuv transport inshootlari uchun energiyaga asoslangan ishonchlilik mezonini shakllantirish imkonini beradi.

Natijalar seysmik hududlarda joylashgan yer usti metropoliten estakada tayanchlari uchun konstruktiv parametrlarni tanlash va optimallashtirishda ilmiy-amaliy ahamiyatga ega[8,13]

2. Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot obyekti sifatida yer usti metropoliten estakadasining oraliq tayanchi qabul qilindi. Konstruktsiya fazoviy uch oʻlchamli kontinuum tizim sifatida chekli elementlar usuli (CHEU) asosida modellashtirildi. Hisobiy modelda beton va armatura elementlari kompozit ishlash sharti asosida birgalikda qaraldi[4].

Geometrik nolinearlikni hisobga olish maqsadida Updated Lagrangian formulatsiyasi qoʻllanildi. Bu yondashuv katta siljishlar va ikkinchi tartibli (P–Δ) effektlarni aniqlash imkonini beradi. Umumiy nolinear dinamik muvozanat tenglamasi quyidagicha yozildi:

$$M\,\ddot{u} + C\,\dot{u} + K\_T(u)\,u = F(t)$$

bu yerda:

M– massa matritsasi;

C– Rayleigh dempfirlash matritsasi;

$\mathbf{K}_T = \mathbf{K}_M + \mathbf{K}_G$– tangensial bikrlik matritsasi;

$\mathbf{K}_G$– geometrik qattiqlik matritsasi.

Geometrik qattiqlik ulushi quyidagi nisbat orqali baholandi:

$$\eta\_G = \|K\_G\| / \|K\_M\|$$

Hisob natijalariga koʻra, geometrik nolinearlik umumiy konstruktiv javobning sezilarli qismini tashkil etadi.

Beton materiali

Betonning uch oʻqli kuchlanish holatidagi xatti-harakati Drucker–Prager plastiklik mezoni asosida ifodalandi:

$$F = \sqrt{(J\_2)} + \alpha\, I\_1 - k = 0$$

bu yerda J_2– deviatorik kuchlanish invarianti, I_1– kuchlanishlar yigʻindisi invarianti, αva k– material parametrlaridir.

Beton sinfi B35 uchun ichki ishqalanish burchagi, yopishish koeffitsienti va dilatatsiya parametrlari Eurocode 2 talablariga muvofiq qabul qilindi. Bu model tayanch elementlarida siqilish, kesish va uch oʻqli kuchlanish holatini adekvat aks ettiradi.

Poʻlat armatura (A400) uchun elasto-plastik bilinear model qoʻllanildi:

$$\sigma = \{ E\_s\,\varepsilon, \varepsilon \le \varepsilon\_y;\ f\_y + E\_t(\varepsilon - \varepsilon\_y),\ \varepsilon > \varepsilon\_y \}$$

bu yerda E_t– qattiqlashuv moduli.

Qattiqlashuv modulining kiritilishi plastiklik zonasida energiya dissipatsiyasini va post-kritik barqarorlikni modellashtirish imkonini berdi[6].

Bazalt armatura elastik–moʻrt model asosida qaraldi. Plastiklik rezervining yoʻqligi energiya yutilish mexanizmining cheklanganligini koʻrsatadi. Bu jihat seysmik ishonchlilik nuqtai nazaridan alohida baholandi.

Konstruktsiyaning xos qiymat masalasi quyidagicha ifodalandi:

$$(K - \omega^2 M)\,\varphi = 0$$

Birinchi xos chastota va tabiiy period aniqlanib, modal mass ishtiroki quyidagicha hisoblandi:

$$\Gamma\_i = (\varphi\_i^{\mathrm{T}} M\, r) / (\varphi\_i^{\mathrm{T}} M\, \varphi\_i)$$

Kumulativ mass ishtiroki 90% dan ortiq qiymatga yetkazildi, bu seysmik hisobning yetarliligini ta'minlaydi.

Barqarorlik tahlili eigenvalue usuli orqali bajarildi va kritik yuk koeffitsienti aniqlashtirildi:

$$(K + \lambda\, K\_G)\,\varphi = 0$$

Spektral hisob EN 1998-1 talablariga muvofiq amalga oshirildi[7]. Dizayn spektri quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$S\_d(T) = S\_a(T)\, T^2 / (4\pi^2)$$

bu yerda $S_a(T)$– spektral tezlanish.

Tuproq kategoriyasi va pik tezlanish qiymatlari normativ hujjatlarga asosan qabul qilindi.

Harakat tenglamasi vaqt boʻyicha integratsiya qilindi:

$$M\,\ddot{u} + C\,\dot{u} + K\,u = -M\,r\,a\_g(t)$$

Integratsiya uchun Newmark–β sxemasi qoʻllanildi:

$$\beta = 0.25,\ \gamma = 0.5$$

Dinamik kuchayish koeffitsienti (DAF) maksimal siljish nisbatlari orqali baholandi.

Seysmik energiya balansi quyidagicha ifodalandi:

$$E\_k + E\_s + E\_d = E\_{input}$$

bu yerda:

E_k– kinetik energiya;

https://doi.org/10.56143/2181-2438-2026-1-276-279 Research, Innovation, Results

E_s– elastik energiya;
E_d– dissipativ energiya.

Ekvivalent dempfirlash koeffitsienti energiya nisbatlari asosida aniqlanadi:

$$\xi\_eq = E\_d / (4\pi E\_s)$$

Mazkur mezon konstruktiv variantlarni energetik samaradorlik nuqtai nazaridan qiyoslash imkonini beradi.

Post-buckling barqarorlik Euler formulasi va nolinear yuk–siljish egri chizig‘i asosida baholandi:

$$P\_cr = \pi^2 E I / (k L)^2$$

Plastiklik mavjud variantda duktil post-kritik javob, mo‘rt modelda esa keskin yuk yo‘qotilishi kuzatildi[10].

3. Natija va muhokamalar

Hisob natijalari tangensial bikrlik tarkibidagi geometrik qattiqlikning ulushi:

$$\eta\_G = ||K\_G|| / ||K\_M|| \approx 0.11$$

ekanligini ko‘rsatdi. Bu qiymat ikkinchi tartibli (P–Δ) effektlar estakada tayanchi uchun sezilarli ekanligini bildiradi [2]. Agar chiziqli-elastik model qo‘llanilganda, umumiy siljish qiymatlari quyidagi nisbatda kam baholanadi:

$$\Delta\_lin = \Delta\_nl / (1 + \eta\_G)$$

bu yerda Δ_{nl}— nolinear siljish.

Demak, geometrik nolinearlikni hisobga olmaslik taxminan 10–12% aniqlik yo‘qotilishiga olib keladi[1]. Transport estakada tayanchlari uchun bu farq seysmik ishonchlilik koeffitsientiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi.

Birinchi xos chastota:

$$f_1 = 2.175\, Hz$$
$$T_1 = 0.46\, s$$

Modal mass ishtiroki:

$$M_1 = 72\%$$

Bu natija konstruktsiyaning dinamik javobi asosan birinchi egilish rejimi bilan boshqarilishini ko‘rsatadi[13].

Rezonans nisbat:

$$r = f\_load / f_1 = 0.69$$

$r < 0.8 \Rightarrow$ Rezonans xavfi mavjud emas

Biroq $r$qiymati 0.5–0.8 oralig‘ida bo‘lgani sababli dinamik kuchayish sezilarli bo‘lishi mumkin.

Dinamik kuchayish koeffitsienti:

$$DAF = \Delta\_dyn / \Delta\_stat$$

Hisob natijalari:

Po‘lat variant: $DAF\_steel = 1.21$

Bazalt variant: $DAF\_basalt = 1.26$

Bazalt armatura pastroq bikrlik va plastiklik rezervining yo‘qligi sababli yuqoriroq dinamik javob namoyon etadi[9].

Eigenvalue tahlil natijasi:

$$\lambda\_cr = 2.18$$

ya’ni:

$$P\_cr = 2.18\, P\_design$$

Bu qiymat konstruktsiya ekspluatatsion yuklarga nisbatan yetarli barqarorlik zaxirasiga ega ekanligini bildiradi.

Post-kritik xatti-harakatni baholashda yuk–siljish egri chizig‘ining tangensial qiyaligi muhim rol o‘ynaydi:

$$k\_t = dP / d\Delta$$

Po‘lat armatura mavjud bo‘lgan holatda $k_t$nolga silliq yaqinlashadi (duktil javob), bazalt variantda esa keskin kamayadi (mo‘rt buzilish).

Bu farq transport inshootlarining seysmik xavfsizligi nuqtai nazaridan prinsipial ahamiyatga ega.

4. Xulosa

Mazkur tadqiqotda yer usti metropoliten estakada tayanchining geometrik va fizik nolinearlik sharoitidagi dinamik hamda seysmik xatti-harakati fazoviy uch o‘lchamli chekli elementlar modeli asosida kompleks tahlil qilindi. Olingan natijalar quyidagi ilmiy xulosalarni shakllantirish imkonini berdi:

1. Geometrik nolinearlikning ahamiyati. Hisob natijalari geometrik qattiqlikning umumiy konstruktiv javobdagi ulushi taxminan 11% ni tashkil etishini ko‘rsatdi. Bu esa estakada tayanchlari uchun ikkinchi tartibli (P–Δ) effektlarni hisobga olish majburiyligini ilmiy asosda tasdiqlaydi. Chiziqli modeldan foydalanish siljish va ichki kuchlarni kam baholashga olib kelishi mumkin[5].
2. Dinamik boshqaruv rejimi. Konstruktsiyaning seysmik javobi asosan birinchi egilish modasi bilan boshqarilishi (≈72% mass ishtiroki) aniqlanib, tabiiy period qiymati dinamik sezgirlikni belgilovchi asosiy parametr ekanligi ko‘rsatildi. Rezonans xavfi aniqlanmadi, biroq dinamik kuchayish koeffitsienti sezilarli bo‘lishi mumkinligi qayd etildi[3].
3. Kritik yuk va barqarorlik zaxirasi. Kritik yuk koeffitsienti $\lambda_{cr} > 2$ bo‘lishi konstruktsiyaning ekspluatatsion yuklarga nisbatan yetarli barqarorlik rezerviga ega ekanligini ko‘rsatdi. Post-kritik bosqichda po‘lat armatura mavjud variant duktil xatti-harakat namoyon etdi, bu esa seysmik xavfsizlikni oshiradi[2].
4. Energiya dissipatsiyasi mezoni. Seysmik energiya balansining tahlili po‘lat armaturalivariantda yuqori energiya yutilish qobiliyati (≈30%) mavjudligini ko‘rsatdi, bazalt armatura esa pastroq dissipativ samaradorlikka (≈20%) ega. Energiya asosidagi samaradorlik ko‘rsatkichi konstruktiv variantlarni tanlashda muhim indikator sifatida taklif etildi[1].
5. Armaturalash turining konstruktiv samaradorligi. Po‘lat armatura yuqori duktil xatti-harakat, post-kritik barqarorlik va energiya dissipatsiyasi bo‘yicha ustun natija ko‘rsatdi. Bazalt armatura korroziyaga chidamlilik afzalligiga ega bo‘lsa-da, mo‘rt buzilish xususiyati sababli seysmik hududlarda qo‘llanilishi qo‘shimcha konstruktiv asoslashni talab etadi[13].

Umuman olganda, tadqiqot natijalari yer usti metropoliten estakada tayanchlarini loyihalashda nolinear dinamik yondashuvni qo‘llash zarurligini tasdiqlaydi hamda energiyaga asoslangan samaradorlik mezonlari asosida optimal armaturalash variantini tanlash uchun ilmiy-metodik asos yaratadi[12].

Foydalangan adabiyotlar / References

[1] ШНҚ 2.05.03-12 «Кўприклар ва қувурлар» ЎзбекистонРеспубликаси “Даварxитекткурилиш”, Тошкент ш., 2012 й., 418 бет.
[2] SP 63.13330.2018. Beton va temirbeton konstruksiyalar.
[3] SP 20.13330.2016. Yuklar va ta’sirlar.
[4] GOST 27751–2014. Qurilish konstruksiyalarining ishonchliligi.
[5] GOST 31938–2012. Kompozit armaturalar.
[6] LIRA-SAPR 2022. Foydalanuvchi qo‘llanmasi.
[7] Карпов В. И., Коробейников А. В. Математические модели задач строительного профиля и численные методы их исследования.- М.: СПб., 1999.
[8] Bathe, K.J., Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996.
[9] David V. Hutton, Pullman W. A. Fundamentals of finite element analysis. New York: The McGraw-Hill companies, 2004.
[10] A.K. Chopra, Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, 5th ed., Pearson, 2017.
[11] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, and J.Z. Zhu, The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, 7th ed., Elsevier, 2013.
[12] Абдукадиров Ф.Э. Компьютерная реализация расчета эстакада–ригеля на стойки с применением ANSYS // “Experimental and theoretical research in modern science” K
[13] Шермухамедов У.З. Гашение продольных сейсмических колебаний опор балочных мостов с сейсмоизолирующими опорными частями / Ташкент: Издательство «Complex Print», 2020. – 260 стр.

Mualliflar to‘g‘risida ma’lumot/ Information about the authors

Abduqodirov Farxod / Farkhod Abdukadirov	Toshkent davlat transport universiteti “Amaliy maxanika” kafedrasi dotsentti. t.f.f.d (PhD) E-mail: farkhod.erkinovich@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-2271-3768
Xasanov Temurbek / Temurbek Khasanov	Toshkent davlat transport universiteti “Amaliy maxanika” kafedrasi doktaranti E-mail: tima.maksudovich.1991@mail.ru Tel: +998974552979 https://orcid.org/0009-0007-8137-853x

CONTEXT / MUNDARIJA