

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.10/2025.27.12.T.01.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI**

**G‘ULOMOV DOSTON INOMJON O‘G‘LI**

**TAYANHLARNING TURLI XILDAGI QO‘ZG‘ALISHLARIDA  
KO‘PRIKLARNI SEYSMIK TA‘SIRLARGA HISOBLASH USULLARINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

05.09.02 – “Geotexnika” (Ko‘priklar, transport tonnellari va metropolitenlar)

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA  
DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2026**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**G‘ulomov Doston Inomjon o‘g‘li**

Tayanchlarning turli xildagi qo‘zg‘alishlarida ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish..... 5

**Гуломов Достон Иномжон угли**

Совершенствование методов расчета мостов на сейсмические воздействия при различных возмущениях опор..... 23

**Gulomov Doston Inomjon ogli**

Improvement of methods for calculating bridges under seismic loads considering various support disturbances..... 45

**E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works ..... 49

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.10/2025.27.12.T.01.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI**

**G‘ULOMOV DOSTON INOMJON O‘G‘LI**

**TAYANHLARNING TURLI XILDAGI QO‘ZG‘ALISHLARIDA  
KO‘PRIKLARNI SEYSMIK TA‘SIRLARGA HISOBLASH USULLARINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

05.09.02 – “Geotexnika” (Ko‘priklar, transport tonnellari va metropolitenlar)

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA  
DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2026**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.4.PhD/T6269 raqami bilan ro‘yxatga olingan**

Dissertatsiya Toshkent davlat transport universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus va ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) va «ZiyoNet» axborot-ta’lim portalida ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Shermuxamedov Ulugbek Zabixullayevich**  
texnika fanlari doktori (DSc), professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Akramov Xusniddin Axrorovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Nishonov Ne’matilla Asatillayevich**  
texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD),  
katta ilmiy xodim

**Yetakchi tashkilot:**

**“O‘zog‘irsanoatloyiha” AJ instituti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi DSc.10/2025.27.12.T.01.01 raqamli ilmiy kengashning 2026 yil «2» mayda soat 11<sup>00</sup> dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100067, Toshkent sh., Temiryo‘lchilar-1, tel: (+99871) 299-00-01, 299-02-43, faks: 293-57-54; e-mail: [rektorat@tstu.uz](mailto:rektorat@tstu.uz), [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 341 raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100167, Toshkent sh., Temiryo‘lchilar-1, tel: (+99871) 299-00-01)

Dissertatsiya avtoreferati 2026 yil «15» aprel kuni tarqatildi.  
(2026 yil «15» apreldagi 36-raqamli reyestr bayonnomasi).

**A.I. Adilxodjayev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash raisi,  
texnika fanlari doktori, professor

**N.R. Muxammadiyev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash ilmiy kotibi,  
texnika fanlari doktori, dotsent

**A.A. Ishanxodjayev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash huzuridagi  
ilmiy seminar raisi, texnika fanlari doktori, professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda seysmik faol hududlarda joylashgan avtomobil yo‘llaridagi ko‘prik inshootlarini loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida seysmik ta’sirlarni hisobga olgan holda zizilabardoshlikni ta’minlash, zilzila oqibatida hosil bo‘ladigan yuqori chastotali tebranishlarning ko‘prik inshootiga ta’sirini kamaytirish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda dunyoning Yaponiya, Turkiya, Xitoy, AQSH, Germaniya, Italiya, Fransiya, Ispaniya, Shvetsiya, Eron, Meksika, Rossiya, Koreya Respublikasi kabi rivojlangan mamlakatlarida avtomobil yo‘llaridagi ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini ularning tayanchlari turli xildagi qo‘zg‘alishlarini hisobga olgan holda takomillashtirish orqali ta’minlanmoqda. Shu jihatdan avtomobil yo‘llaridagi uzlukli va uzluksiz tizimdagi ko‘prik inshootlarining loyihalash, qurish va ekspluatatsiya bosqichlarida harakat xavfsizligini ta’minlashga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Jahonda seysmik faol hududlarda joylashgan avtomobil yo‘llari ko‘prik inshootlarini loyihalashda konstruktiv parametrlarni asoslash, seysmik himoya qurilmalaridan samarali foydalanish orqali ko‘prik inshootlarining seysmik xavfsizligini ta’minlovchi yangi texnik parametrlarni ishlab chiqish hamda seysmik yuklar ta’sirini ishonchli baholash usullarini takomillashtirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, avtomobil yo‘llaridagi ko‘p tayanchli to‘sinli ko‘prik inshootlarining tayanchlari turli grunt va relyef sharoitlarida joylashganligini hisobga olgan holda ulardagi zilzila ta’sirini baholash usulini takomillashtirish, qurilish maydonini mikroseysmik rayonlashtirish asosida ko‘prik inshootining sonli modellarini shakllantirish, tayanchlar orasidagi korrelyatsiyani aniqlash hamda uzlukli to‘sinli ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga chiziqli spektral usul asosida hisoblash yondashuvlarini takomillashtirish dolzarb ilmiy-amaliy vazifalardan hisoblanadi.

Respublikamizning avtomobil yo‘llaridagi transport inshootlari qurilishi jarayonida kuchli zilzilaviy ekstremal sharoitlarda ko‘prik inshootlarining zizilabardoshligini ta’minlashga qaratilgan keng ko‘lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. “2022–2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida, jumladan 192-197 bandlarida “... keyingi 5 yil davomida Toshkent va yirik shaharlar orasida avtomobil yo‘llari tarmoqlarini tezkorlik bilan rivojlantirish maqsadida avtomobil yo‘llarini rivojlantirish ...” yuzasidan vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda, O‘zbekiston Respublikasi seysmik hududlaridagi temirbeton ko‘prik inshootlarning tayanchlari har xil seysmogeologik sharoitlarda joylashgan va ularda zilzila ta’siri har xil bo‘lishini hisobga olib ularning samaradorligini asoslash, har xil kuchga ega seysmik ta’sirlarda tayanchlarning nosinxron tebranishini hisobga olgan holda seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish masalalarining sonli hisoblash usullarini takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 30-maydagi PF-144-sonli “O‘zbekiston Respublikasining seysmik xavfsizligini ta’minlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni, 2017-yil 4-oktabrdagi

PQ-3309-sonli “Avtomobil yo‘llari ko‘priklari, yo‘l o‘tkazgichlar va boshqa sun‘iy inshootlarni qurish hamda ulardan foydalanish tizimini takomillashtirish to‘g‘risida” gi, 2020-yil 30-iyuldagi PQ-4794-sonli hamda 2023-yil 16-maydagi PQ-158-sonli Qarorlarida seysmik xavfsizlikni ta‘minlash, bino va inshootlarning zilzilabardoshligini oshirish, zamonaviy hisoblash usullarini joriy etish va qurilish jarayonlarining ishonchliligini ta‘minlash bo‘yicha muhim vazifalar belgilangan. Shuningdek, 2024-yil 17-apreldagi PQ-161-sonli hamda 2025-yil 20-oktabrdagi PF-184-sonli me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda seysmologiya sohasidagi ilmiy tadqiqotlar samaradorligini oshirish, hududlarning seysmik xavfini baholash aniqligini takomillashtirish hamda zilzilabardosh konstruktiv yechimlarni keng joriy etish ustuvor yo‘nalish sifatida belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda transport inshootlarini seysmik ta‘sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirishga qaratilgan ushbu tadqiqot ishi muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining XIV – “Seysmologiya, binolar va inshootlar seysmik xavfsizligi va qurilish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Avtomobil yo‘llaridagi transport inshootlarini seysmik himoyalash va zilzilabardoshlik nazariyasining rivojlanishiga ilmiy, nazariy va eksperimental tadqiqotlar bilan dunyoning yirik olimlari A.D. Abakarov, Ya.M. Ayzenberg, A.A. Amosov, M.F. Barshteyn, T.A. Belash, J. Lysmer, V.A. Bixovskiy, I.I. Goldenblat, A.B. Grossman, T.J. Junusov, K.N. Kartsivadze, B.G. Korenev, V.S. Kirillov, I.L. Korchinskiy, D.A. Kurbatov, E.N. Kurbatskiy, A.I. Martemyanov, S.V. Medvedev, Sh.G. Napetvaridze, N.A. Nikolayenko, M.M. Onishchenko, A.A. Petrov, A.Ter-Kyurigyan, V.T. Rasskazovskiy, L.M. Reznikov, O.A. Savinov, J.L. Bogdanov, A.M. Uzdin, E.E. Xachiyani, A.A. Sernant, G.S. Shestoporov, Z.G. Xuchbarov, I.O. Kuznetsova, S.A. Shulman, L.N. Dmitrovskaya, T.V. Sukonnikova, J.G. Ardila, T.Igusa, shuningdek, Sh. Okamoto, Tecchio, G. Nouri, K. Kubo, M. Mikoshiba, T. Nishiki, Omori, Y. Zaslavskiy, R. Skinner kabi xorijiy tadqiqotchilar va boshqa ko‘plab mutaxassislar o‘z xulosalari bilan hissa qo‘shdilar.

Mamlakatimizda transport inshootlarining seysmik mustahkamligini ta‘minlash hamda umrboqiyiligini oshirish bo‘yicha ushbu yo‘nalishlarda ko‘p yillik tadqiqotlar va ishlanmalar rivojiga yetakchi olimlardan M.T. Urazbaev, T.R. Rashidov, X.A. Raxmatulin, V.A. Pshenichnika, A.A. Ishanxodjayev, G.X. Xojmetov, A.X. Abdujabarov, M.X. Miralimov, I.Mirzayev, U.Z. Shermuxamedov, U. Raxmanov, N.A. Krasin, N.A. Nishonov, A.B. Karimova, Z.Q. Raximjonov va boshqalar o‘z hissalarini qo‘shdilar.

Ammo, avtomobil yo‘llaridagi temirbeton ko‘prik inshootlarning tayanchlari har xil seysmogeologik sharoitlarda joylashgan va ularda zilzila ta‘siri turli xil bo‘lishini hisobga olib ularning samaradorligini asoslash, har xil kuchga ega seysmik ta‘sirlarda tayanchlarning nosinxron qo‘zg‘alishini hisobga olgan holda seysmik ta‘sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish bo‘yicha muammolar yetarli darajada o‘rganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy – tadqiqot ishlari rejalari bilan o'zaro bog'liqligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II – “Energetika, energiya va resurslarni tejash”, XIV – “Seysmologiya, binolar va inshootlar seysmik xavfsizligi va qurilish” ustuvor yo‘nalishlari doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** ko‘prik tayanchlarining turli grunt sharoitlarida joylashganligini hisobga olib transport inshootlarining seysmik mustahkamligini oshirish va seysmik ta'sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

uzunligi katta bo‘lgan ko‘p oraliqli konstruksiyalarni hisoblash usulbarining tahlili;

ko‘prik inshooti uzunligi bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligini hisobga olish zaruratini ilmiy asoslash;

tayanchlarning turli xildagi qo‘zg‘alishlarida uzlukli to‘sinli ko‘priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish;

uzlukli to‘sinli ko‘priklarning tayanch qismlari siljishini baholash usulini ular orasidagi korrelyatsiyani hisobga olgan holda ishlab chiqish;

uzluksiz to‘sinli ko‘priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usullarini ularning tayanchlari nosinxron qo‘zg‘alishlarini hisobga olgan holda takomillashtirish.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida O‘zbekiston Respublikasi seysmik faol hududlarida loyihalalanayotgan to‘sinli temirbeton ko‘prik inshootlari olingan.

**Tadqiqotning predmeti** sifatida O‘zbekiston Respublikasi seysmik sharoitlarida avtomobil yo‘llaridagi uzlukli va uzluksiz to‘sinli temirbeton ko‘prik inshootlari zilzilabardoshligini ta'minlash uchun konstruktiv elementlar, jumladan, oraliq qurilmalar, tayanchlar, poydevorlar va gruntni fizik-mexanik xususiyatlari olingan.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqotlarda qurilish mexanikasi usullari, tebranishlar nazariyasi, matematik modellashtirish, bino va inshootlarning seysmik mustahkamligi, seysmik ta'sirlarga chiziqli spektral hisoblash usullari qo‘llanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ko‘priklarni seysmik yuklarga hisoblashda qurilish maydoni relyefi va tezlanishlar maydonining nobirjinsligini hisobga olgan holda sonli mikroseymik rayonlashtirish asosida hisoblanayotgan inshoot uchun xavfli chastotali ta'sirlarda tayanchlar orasidagi korrelyatsiyani hisobga olish zarurligi asoslangan;

hudud relyefi va grunt sharoitlarining bir jinsli emasligi tufayli yuzaga keladigan ko‘prik tayanchlari qo‘zg‘alishlarining farqi bir-birini muvozanatlaydigan bo‘lib, ko‘prik o‘tish joyining uzunligi bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligi sezilarli bo‘lsa-da, natijada tezlanishlar farqi normalardagidek 2 baravar emas, balki atigi 20% ni tashkil etishi isbotlangan;

mavjud yondashuvlar doirasida tayanch qismining siljishini va oraliq qurilmalar tayanchlardan ehtimoliy tushib ketishining oldini olish uchun uzlukli to‘sinli ko‘priklarni hisoblashda ko‘prik uzunligi bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligini aniq hisobga olish imkonini beruvchi chiziqli spektral usulning takomillashtirilgan varianti ishlab chiqilgan;

uzluksiz to'sinli ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblashda kuchlanishlarni tebranish shakllari va har bir tayanchning qo'zg'alishi bo'yicha alohida taqsimlash usuli tayanchlar orasidagi korrelyatsiyani hisobga olish orqali takomillashtirilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usulini ularning tayanchlari turli xildagi grunt sharoitlarida joylashganligini hisobga olgan holda ishlab chiqish bo'yicha dasturiy ta'minot yaratilgan;

ko'prik uzunligi bo'ylab tevlanishlar maydoni sezilarli darajada nosinxronligiga grunt sharoitlari va joyning relyefi ta'sir ko'rsatishi aniqlanib, ko'prik tayanchlari ostidagi tevlanishlar farqi me'yorlardagidek bo'yicha 2 ball emas, balki atigi 20% ni tashkil etishi isbotlangan;

O'zbekiston Respublikasi sharoitlarida avtomobil yo'llaridagi ko'prik inshootlarini loyihalashda nosinxron seysmik tebranishlarni hisobga olgan holda ko'prik tayanchlarini hisoblashning iqtisodiy samaradorligini baholash amalga oshirildi.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi seysmik hisoblashning tasdiqlangan nazariy asoslari va mikroseysmik rayonlashtirish ma'lumotlariga tayangan holda bajarilgani, transport inshootlarining zilzilabardoshligi sohasida ishlaydigan boshqa mutaxassislar tomonidan olingan natijalarga mos kelishi, chiziqli spektral usulning takomillashtirilgan varianti asosida olib borilgan ko'p variantli sonli hisoblashlar, turli grunt sharoitlarida dinamik usulda real va sun'iy zilzila yozuvlari asosida uzlukli va uzluksiz temirbeton ko'prik inshootlarining kuchlanish-deformatsiyalanish holati, real loyihaviy ko'prik inshootlari misolida olingan natijalarning o'zaro taqqoslanishi nazariy va amaliy natijalarining yuqori darajada o'zaro mos kelganligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ko'prik inshooti uzunligi bo'ylab tevlanishlar maydonining nobirjinsligini hisobga olish nazariyasini qo'llagan holda qurilish maydonchasini mikroseysmik rayonlashtirish hamda uzlukli va uzluksiz to'sinli ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usullarini ularning tayanchlari nosinxron tebranishlarini hisobga olgan holda takomillashtirilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan hisoblash usullari va yondashuvlar ko'prik inshootlarini loyihalash, seysmik barqarorligini baholash, mikroseysmik rayonlashtirish, grunt va relyef sharoitlarini hisobga olish asosida konstruktiv yechimlarni optimallashtirish, ortiqcha zaxira koeffitsiyentlarini kamaytirish va materiallar sarfini qisqartirish imkoniyati yaratilganligi hamda taklif etilgan seysmohimoyaviy tayanch qismlardan loyihalash jarayonida foydalanish va qurilish xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirish orqali yuqori iqtisodiy samaradorlikni ta'minlashi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Tayanchlarning turli xildagi qo'zg'alishlarida ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish bo'yicha o'tkazilgan ilmiy-tadqiqot ishi natijalari asosida:

takomillashtirilgan chiziqli spektral hisoblash usuli asosida o'tkazilgan sonli tadqiqotlar natijasida uzlukli to'sinli ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblashda

tezlanishlar maydonining nosinxronligini hisobga olish zarurligi ilmiy jihatdan isbotlandi va “Sharof Rashidov tuman yo‘llardan foydalanish” davlat muassasasida loyihalashga joriy qilingan (“Sharof Rashidov tuman yo‘llardan foydalanish” davlat muassasasining 2025-yil 25-dekabrda ma‘lumotnomasi). Natijada, tezlanishlar farqi ShNQ 2.01.20-16 bo‘yicha 2 ball emas, balki atigi 20% ni tashkil etishi isbotlangan;

“4P 40 avtomobil yo‘lining 181,278 km dan o‘tgan ko‘prik qurilishi” loyihasi bo‘yicha uzlukli to‘sinli ko‘prik inshootini hududning mikroseysmik rayonlashtirilishini, mahalliy relyef hamda grunt sharoitlarini hisobga olgan holda loyihalash va qurish jarayonida “Sharof Rashidov tuman yo‘llardan foydalanish” davlat muassasasida amaliyotga joriy qilingan (O‘zbekiston Respublikasi Transport vazirligining 2026-yil 21-yanvardagi №4/E91-sonli ma‘lumotnomasi). Natijada, konstruktiv elementlarda ortiqcha zaxira koeffitsiyentlarini kamaytirish va materiallar sarfini optimallashtirish imkoniyati yaratish hamda mazkur yondashuvdan foydalanish qurilish va loyihalash xarajatlarini an‘anaviy usullarga nisbatan 72,2 % ga, ya‘ni 419,0 mln so‘mgacha qisqartirish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Tadqiqot natijalari 7 ta ilmiy-amaliy konferensiyalar, shu jumladan 5 ta xalqaro (shulardan 2 tasi SCOPUS bazasida) va 2 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy konferensiyalarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e‘lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 19 ta ilmiy ish, ulardan 9 tasi xorijiy va mahalliy jurnallarda, shu jumladan 7 tasi O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy jurnallarida chop etilgan, shuningdek EHM dasturi uchun 3 ta guvohnoma mavjud.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish qismi, to‘rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 116 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida uning dolzarbligi va zarurati asoslab berilgan, tadqiqotning maqsadi hamda vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan. Shuningdek, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi ko‘rsatilgan. Ilmiy yangilik va amaliy natijalar bayon qilinib, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati yoritilgan. Tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, nashr etilgan ishlar hamda dissertatsiya tuzilishi haqida ma‘lumotlar taqdim keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“O‘rganilayotgan masala holatining tahlili”** nomli birinchi bobida ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga hisoblash va loyihalash bo‘yicha mahalliy hamda xorijiy tadqiqotlar tahlil qilinadi. Uzlukli va uzluksiz to‘sinli ko‘priklarning seysmodinamik ish holatini baholashda qo‘llaniladigan asosiy nazariy yondashuvlar, jumladan, chiziqli spektral usulning imkoniyatlari va cheklavlari ko‘rib chiqilgan.

Adabiyotlar tahlili natijasida ko‘p tayanchli va uzun ko‘prik inshootlari uchun seysmik ta’sirlarni sinxron qabul qilishga asoslangan mavjud hisoblash usullari tezlanishlar maydonining nosinxronligi, grunt sharoitlari va joy relyefining ta’sirini

yetarli darajada aks ettirmasligi aniqlangan. Shu asosda dissertatsiya ishining maqsadi, vazifalari va tadqiqot yo‘nalishlari shakllantirilib, tanlangan ilmiy muammoning dolzarbligi asoslab berilgan.

Olib borilgan tahlil natijalariga ko‘ra, hozirgi vaqtda O‘zbekistonda, Rossiyada, Yevrokod-8 va hattoki AQSh me‘yorlarida ham ko‘p oraliqli konstruksiyalarni zilzilabardoshlikka hisoblashda turli grunt sharoitlaridagi tayanchlarning nosinxron qo‘zg‘alishlarini hisobga oladigan, shuningdek, ta’sirlarning korrelyatsiya koeffitsiyentlari va spektral zichligini baholash uchun tegishli me‘yoriy tavsiyalar mavjud emasligi aniqlangan.

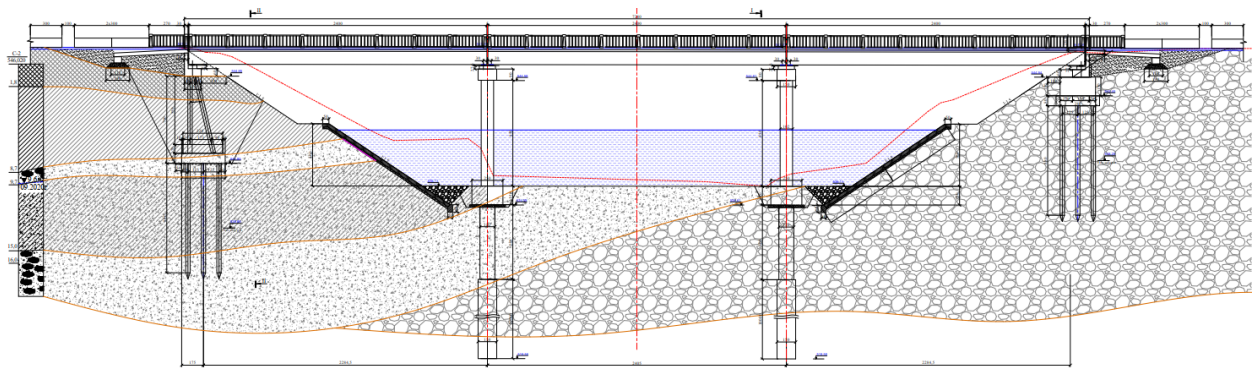
Dissertatsiyaning **“Inshoot uzunligi bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligini hisobga olish nazariyasi”** deb nomlangan ikkinchi bobida ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga hisoblashda tezlanishlar maydonining shakllanishi hamda uning nosinxronligini belgilovchi omillar tadqiq etilgan. Hududning mikroseysmik rayonlashtirilishi, grunt sharoitlari va joy relyefining seysmik tebranishlarga ta’siri tahlil qilinib, ko‘p tayanchli ko‘priklar bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligi shakllanish mexanizmlari aniqlangan. Sonli modellashtirish asosida relyef va grunt sharoitlarining qarama-qarshi ta’sir xususiyatiga ega ekanligi ko‘rsatilib, ularning o‘zaro kompensatsiyasi natijasida tezlanishlar farqi me‘yoriy hujjatlarda keltirilgan qiymatlarga nisbatan ancha kichik bo‘lishi ilmiy jihatdan asoslangan.

Bunda tezlanishlar maydoni nobirjinsligining dastlabki **ikkita muhim omilini** ko‘ramiz: ***birinchisi*** – grunt sharoitlarining bir xil emasligi; ***ikkinchisi*** – joyning murakkab relyefi. So‘nggi vaqtlarda olib borilayotgan tadqiqotlar yer yuzasi nuqtalari tebranishlarining korrelyatsiyasini hisobga olishda quyidagi 3 ta parametrlarni (***Turli masshtablilik, nosinxronlik va nokogerentlik***) hisobga olish zarur ekanligini ko‘rsatmoqda.

Ko‘prik o‘tish joyining uzunligi bo‘ylab haqiqiy tezlanishlar maydonini baholash maqsadida Jizzax viloyatidan o‘tuvchi 4P 40 “Dashtobod-Zomin-Baxmal-G‘allaorol” avtomobil yo‘lining 181.278 km qismidagi ko‘prik uchun maydonning raqamli mikroseysmik rayonlashtirilishi amalga oshirildi. Bunda quyidagi vazifalar belgilandi:

- ***Qurilish maydonidagi dastlabki seysmiklikni aniqlashtirish;***
- ***Seysmik ta’sirlarni aniqlash;***
- ***Tanlangan ta’sirlar uchun tezlanish maydonining nobirjinsligini hisoblash;***
- ***Loyihalash va qurish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqish.***

Mazkur ko‘prik uzunligi 24 m va og‘irligi har biri 33.4 tonna bo‘lgan 21 ta oraliq qurilmalardan iborat. Balandligi 8.50 m bo‘lgan temirbeton tayanchlar esa uzunligi 12.70 m, balandligi 1.50 m, kengligi 2.50 m bo‘lgan poydevorlarga birlashtirilgan. Ko‘prikda burg‘ilab kirgiziladigan uzunligi 16.0 m bo‘lgan qoziqlardan foydalanilgan. Ko‘prikning umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan.



**1-rasm. Ko'prikning umumiy ko'rinishi**

Ko'rib chiqilayotgan qurilish maydoni uchun o'ng qirg'oq tayanchi hisobiy seysmikligini 8 balldan 7 ballgacha pasaytirishga imkon beradigan yarim qoyasimon gruntlarda joylashganligi, maydonning o'rta qismi ikkita tayanchga ega ekanligi xosdir: o'ng o'zan tayanchi ham yarim qoyasimon gruntlarga asoslanadi, chap o'zan tayanchi esa zaif gruntlar qalinligini kesib o'tib, shartli mahkamlanish darajasi hisobiy seysmiklikni oshirishni talab qiladigan uchinchi toifadagi gruntlarda joylashgan. Chap tayanch ikkinchi toifali gruntlarda joylashgan. Qurilish maydoni turli gruntlarda joylashgan bo'lsa, qanday yo'l tutish kerakligi haqida savol tug'iladi. Shu munosabat bilan muallif tomonidan quyidagi yondashuvni ko'rib chiqamiz. Bu yerda ko'prik maydonchalarini mikroseysmik rayonlashtirishga umumiy yondashuv tasvirlangan bo'lib, zaif gruntli chuqurliklar, qirg'oq qiyaliklari va chetki tayanchlar mavjud, gruntlar qoyasimon, ammo qavariq yuza zonasida joylashgan.

Keyingi bosqichda qurilish maydoni uchun hisobiy ta'sirlarni tanlash vazifasi qo'yiladi. Quyida ta'sirning 5 ta varianti ko'rib chiqildi, bunda yarim qoyasimon gruntning erkin yuzasida 8 ballga mos keladigan tezlanish ta'minlandi:

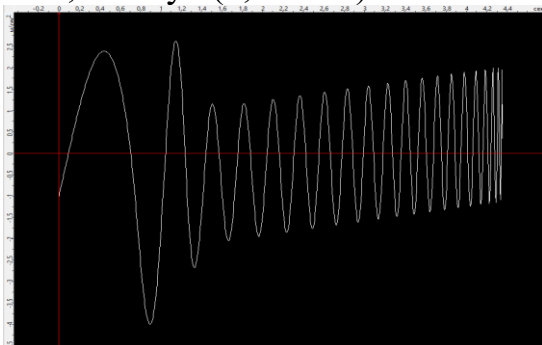
1. AES obyektlarini loyihalashda foydalanish uchun tavsiya etilgan, yakuniy tezlilar va tezlanishlar bo'yicha muvozanatlashgan CA-482 ning sintetik ta'siri (2-rasm);

2. 1976-yilgi Ninghe real zilzilasi yozuvining tebranish davri 1 soniya bo'lgandagi yozuvi (3-rasm);

3. 1995-yildagi Mexiko-sitida sodir bo'lgan zilzila real yozuvining, tebranish davri 2 soniya va  $PGA=1,7 \text{ m/s}^2$  (4-rasm);

4. Tebranish davri 1,2 soniya bo'lgan o'ng o'zan tayanchi uchun xavfli bo'lgan sun'iy zilzila ta'siri (5,a-rasm);

5. Chap o'zan tayanchi uchun xavfli bo'lgan sun'iy zilzila ta'siri, tebranish davri 1,8 soniya (5,b-rasm).



**2-rasm. CA-482 ga ko'ra AES obyektlarini loyihalashda tezlanishlar va siljishlar bo'yicha muvozanatni hisobga olgan holda qo'llash uchun tavsiya etilgan sintetik ta'sir**

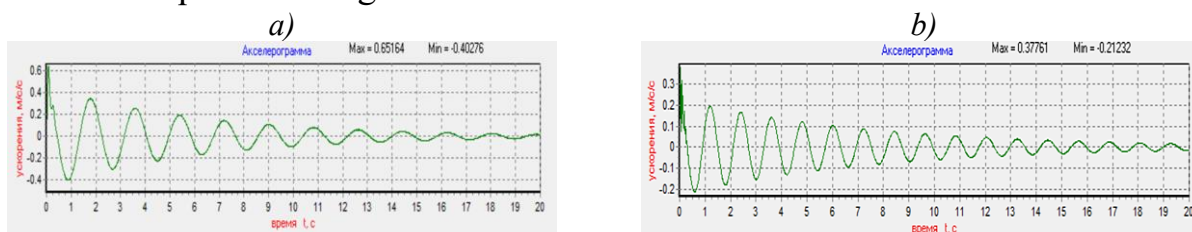


3-rasm. 1976-yildagi Ninghe zilzilasi haqiqiy ta'sirining yozuvi, tebranish davri 1 soniya



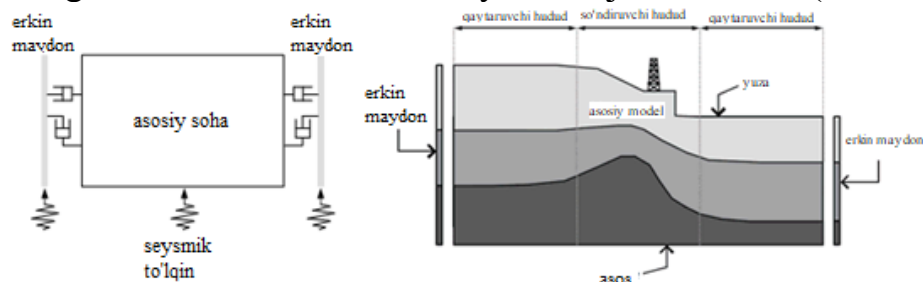
4-rasm. 1995-yilda Mexiko-sitida qayd etilgan, tebranish davri 2 soniya va  $PGA=1,58m/s^2$  bo'lgan haqiqiy ta'sirning yozuvi

Akselerogrammalarning absolyut tezlanish spektrlari shuni ko'rsatadiki, ular turli gruntlarda joylashganiga qaramay, juda o'xshash chiqdi va korrelyatsiya koeffitsiyenti kichik bo'lishi kerakdek tuyulsa-da, aslida shunday bo'lmadi. Kichik farqlar mavjud, masalan, 0,3 soniyada o'ng tayanchda kichik maksimumlar paydo bo'ladi, ammo chap tayanchda ular sezilmaydi. Bu esa mikroseysmik rayonlashtirishda seysmologlardan korrelyatsiya koeffitsiyentini albatta hisobga olishni talab qilish zarurligini ko'rsatadi.



5-rasm. O'ng o'zan tayanchi uchun xavfli bo'lgan sun'iy ta'sirlar va ularning spektrlari: (a) tebranish davri 1,8 soniya va (b) tebranish davri 1,2 soniya bo'lgan holatlarda

Tadqiqotlar o'tkazish uchun an'anaviy ravishda chekli elementlar usuli qo'llaniladi. Muammo shundaki, grunt bilan bog'liq masalalarda biz cheksiz maydon bilan ishlashimiz lozim, ammo amalda cheksiz asosdan muhandislik tilida "quti" deb ataladigan shartli chekli kichik maydonni ajratib olamiz (6-rasm).



[Quti elementlarining sxematik sharhi] Erkin maydon effekti (O), Qaytgan to'lqinning yutilishi (O)

6-rasm. Cheksiz chegara elementlari

Tadqiqotlarimizni amalga oshirish maqsadida Midas dasturiy majmuasida chekli elementlar usulidan foydalanib hisoblash modelini tahlil qildik. Buning uchun grunt massividan hisoblash modeli (7-rasm) - **shartli “quti”** ajratib olindi. Unda grunt massivining ajratilgan qismi hisoblash maydoni sifatida qo‘llaniladi. Ushbu “quti” hisob-kitoblar amalga oshiriladigan chegara sifatida xizmat qiladi va odatda to‘g‘ri to‘rtburchak, to‘g‘ri burchakli parallelepiped va boshqa shakllarda bo‘ladi. Amalda esa grunt massivi murakkab shaklga ega bo‘lishi mumkin. Chekli elementlarga ajratish aynan shu “quti” ichida amalga oshiriladi. Quti platforma sifatida ko‘riladigan qoyasimon poydevorda joylashgan. Hisobiy tezanish platformaning yuqori qismiga (quti ostiga) beriladi. Qutining yon tomonlarida “Free Field” (erkin maydon) turidagi maxsus chegaraviy shart o‘rnatilgan (6-rasm). Bu shart bir vaqtning o‘zida ham Lismerning (so‘ndiruvchi) qaytarmaydigan chegaralari vazifasini ado etadi, hamda tezanishlarning hisobiy soha chegarasi bo‘ylab tarqalishini cheklaydi. Bu esa hisobiy sxema chegaralarini kamaytirish va hisoblash vaqtini anchagina qisqartirishga imkon beradi. Lismer to‘lqinlarning qaytmaslik sharti:

Chap soha uchun:

$$\sigma_{xx} = c_p \rho \dot{u}_x - 2c_p \rho \dot{u}_{gx}; \quad \sigma_{xz} = c_s \rho \dot{u}_z - 2c_s \rho \dot{u}_{gz}; \quad \sigma_{yz} = c_s \rho \dot{u}_y - 2c_s \rho \dot{u}_{gy};$$

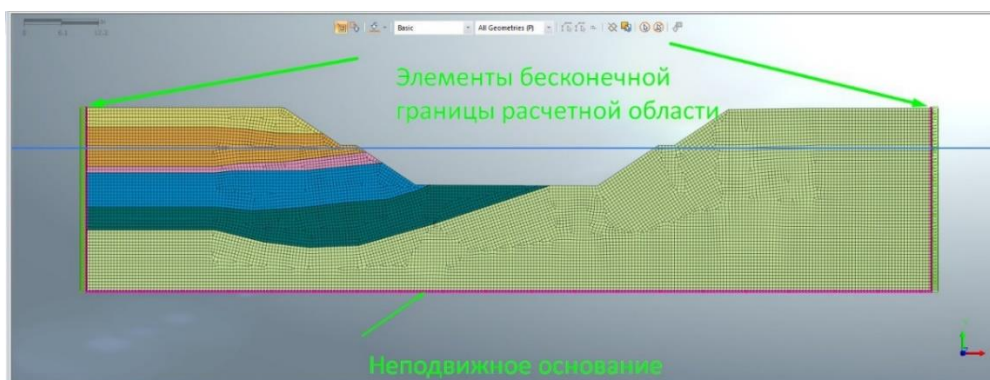
O‘ng soha uchun:

$$\sigma_{xx} = -c_p \rho \dot{u}_x; \quad \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_z; \quad \sigma_{yz} = -c_s \rho \dot{u}_y;$$

Asos uchun:

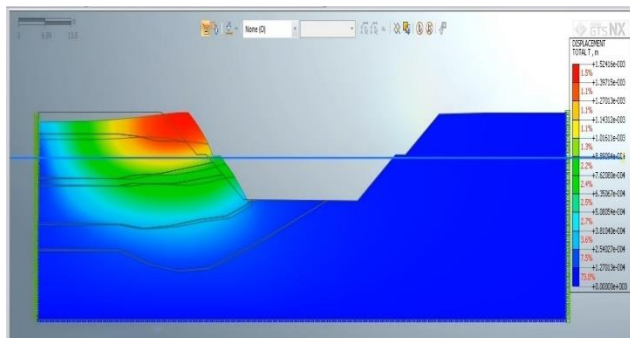
$$\dot{u}_x = 0; \quad \dot{u}_z = 0; \quad \dot{u}_y = 0. \quad (1)$$

Qutining yon tomonidagi bikrligi gruntning elastik qarshiligini modellashtiruvchi grunt prujinalari yordamida hisobga olingan. Gruntning tebranish modeli Kulon-Mor mustahkamlik modeli bilan yaqinlashtirilgan bo‘lib, uning bikrligi boshlang‘ich elastiklik (elastik ko‘chish) moduli orqali tavsiflanadi.

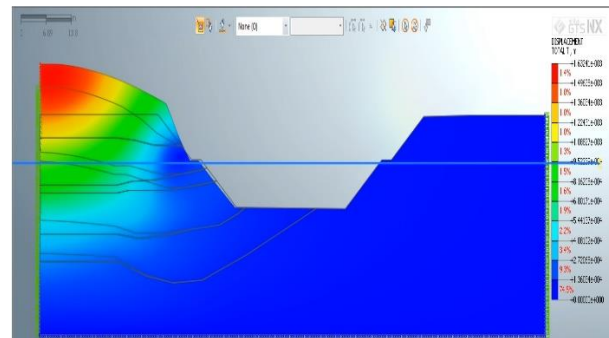


7-rasm. Platformaning umumiy ko‘rinishi

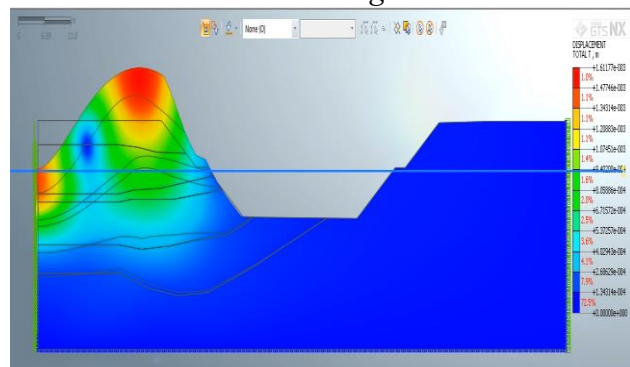
Dastlab, xususiy tebranishlar shakllarining hisoblari amalga oshirildi. Tebranishlarning davri va shakllari aniqlandi(8-rasm).



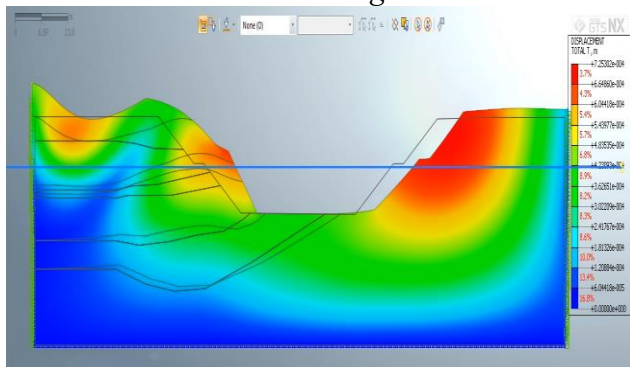
*Tebranishning 1-shakli*



*Tebranishning 2-shakli*



*Tebranishning 3-shakli*



*Tebranishning 4-shakli*

**8-rasm. Tebranish shakllari**

Yuqoridagi rasmlardan ko‘rinib turibdiki, katta tebranish davriga ega bo‘lgan 1-shakl chap tomondagi mustahkam bo‘lmagan grunt sohasining tebranishiga, 4-shakl esa o‘ng tomon biki grunt sohasining tebranishiga mos keladi. Biz avval tanlagan 1-, 4- va 5-ta sirlar uchun ko‘rib chiqilayotgan maydon bo‘yicha 100 va 500 yilda bir marta takrorlanadigan ikkita PGA qiymati tahlil qilindi.

Endi inshoot uchun xavfli hisoblangan yuqoridagi 5 ta ta’sir akselerogrammalari bo‘yicha hisoblash natijalarini keltiramiz. Hisoblashlar MIDAS dasturida bajarilgan.

CA-482 ning yuqori chastotali ta’sirida ko‘prik o‘tish joyining kuchsiz gruntlardan tashkil topgan chap qirg‘og‘i asosga nisbatan kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_L=1.31$  bo‘lgan  $a=5.25$  m/s<sup>2</sup> maksimum tezlanishga ega, Ninghe zilzilaning uzoq davrli ta’sirida esa kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_L=1.5$  bo‘lgan  $a=4.19$  m/s<sup>2</sup> maksimum tezlanishga ega. Loyihalashtirilayotgan o‘rtacha intensivlikdagi tayanchlar uchun xavfli bo‘lgan ta’sirlarda, ko‘rib chiqilayotgan qiymatlar chap tayanch uchun kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_L=1.5$  bo‘lgan  $a=0.22$  m/s<sup>2</sup> va o‘ng tayanch uchun kuchaytirish koeffitsiyenti  $K_L=1.4$  bo‘lgan  $a=0.29$  m/s<sup>2</sup> ni tashkil etdi. Yuqorida bayon etilganlardan kelib chiqadiki, qurilish maydonidagi tezlanishlar maydonining nobirjinsligi qurilayotgan konstruksiya uchun xavfli bo‘lgan ta’sirlarning spektral tarkibi asosida baholanishi lozim. Ko‘rib chiqilgan misolda tezlanishlar maydonining nosinxronligiga grunt sharoitlari va joyning relyefi ta’sir ko‘rsatgan. Ta’kidlash joizki, ularning ta’siri qarama-qarshi xususiyatga ega. Zaif grunt sharoitida, ayniqsa qazilmalarda, gruntlar tezlanishlarning ortishiga olib kelishi kerak, amalda esa qazilmalarning mavjudligi tezlanishlarning kamayishiga olib keladi. Natijada, tezlanishlar farqi ShNQ bo‘yicha 2 ball emas, balki atigi 20% ni tashkil etdi.

Dissertatsiyaning “Uzluqli to‘sinli ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini ularning tayanchlari nosinxron qo‘zg‘alishlarini hisobga olgan holda takomillashtirish” nomli uchinchi bobida uzluqli to‘sinli ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga hisoblash uchun chiziqli spektral usulning takomillashtirilgan varianti ishlab chiqilgan. Ushbu bobda seysmik ta’sirlarni sinxron va nosinxron qabul qilish holatlari o‘rtasidagi farqlar sonli hisoblashlar asosida tahlil qilinib, tezlanishlar maydonining nosinxronligini hisobga olish tayanchlarda hosil bo‘ladigan ichki kuchlar va siljishlarning sezilarli darajada ortishiga olib kelishi ko‘rsatib berilgan. Olingan natijalar uzluqli to‘sinli ko‘prik uchun seysmik hisoblashda nosinxron qo‘zg‘alishlarni inobatga oluvchi yondashuvlardan foydalanish zarurligini ilmiy jihatdan asoslaydi.

Ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga hisoblashda hisobiy sxema elementlarida turli xil so‘nishlarning mavjudligi chiziqli spektral usul (ChSU)ni qo‘llashda muayyan murakkabliklarni keltirib chiqaradi. Xususan, oraliq qurilmalar, tayanchlar hamda grunt qatlamlarida energiya so‘nish xususiyatlari bir-biridan farq qiladi va ularni yagona so‘nish koeffitsiyenti orqali ifodalash hisoblash aniqligini pasaytiradi. Shu munosabat bilan Rossiya Federatsiyasining Sankt-Peterburg shahrida joylashgan “Ko‘priklar ilmiy-tadqiqot instituti” (НИИ Мостов) da chiziqli spektral usulning modifikatsiyalangan varianti ishlab chiqilgan bo‘lib, ushbu yondashuv tebranish shakllari bo‘yicha turli xil so‘nishlarni hisobga olish imkonini beradi. Unga ko‘ra seysmik yuklar quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$s_{ij} = K_1 \cdot m_i \cdot A_k \cdot g \cdot \beta_j \cdot K_{\psi}(\gamma_j) \cdot \eta_{ij}, \quad (2)$$

bunda  $k$  – tayanch raqami,  $j$  – tebranish shakli raqami,  $K_1$  – chegaraviy holatlar koeffitsiyenti,  $m_i$  –  $i$ - to‘plangan massa;  $A_k$  – “ $k$ ” tayanch ostidagi maksimal hisobiy tezlanishning og‘irlik kuchi tezlanishi ( $g$ ) ulushlaridagi qiymati;  $\beta_j$  – ShNQ 2.01.20-16 ga muvofiq qabul qilinadigan va grunt toifasiga qarab o‘zgaradigan xususiy tebranishlarning  $j$ -toniga mos keladigan dinamiklik koeffitsiyenti.

Ushbu usulning an’anaviy usuldan farqli jihati shundaki, bunda  $K_{\psi}$  koeffitsiyenti tebranish shakllarining so‘nishiga bevosita bog‘liq.

Endi ChSU dan foydalanib uzluqli to‘sinli ko‘prik tayanchlari turli grunt sharoitlarida joylashgan holatda ularning seysmik tebranishlarga javobi va nisbiy ko‘chishlarining shakllanish mexanizmini tahlil qilamiz. Bunda ikkita tasodifiy funksiyaning farqi bilan ish ko‘rdik: ***birinchisi*** – birinchi tayanch yuqori qismining tebranishi, ***ikkinchisi*** – ikkinchi tayanch yuqori qismining tebranishi.

Ma’lumki, zilzilalarda tayanch yuqori qismining harakati matematik jihatdan nolga teng, chunki bir tomonga va boshqa tomonga tebranish ehtimolligi bir xil bo‘lib, ko‘chishlar asosan bu kattalik dispersiyasi, ya’ni boshlang‘ich holatga nisbatan ko‘chishlarning tarqoqligi bilan aniqlanadi. ChSUDA tebranish shakllari bo‘yicha ko‘chishlar va kuchlarni qo‘shishda, qo‘shilayotgan kattaliklar (ko‘chishlar, tezlanishlar) matematik kutilmasi nolga teng bo‘lgan tasodifiy

funksiyalar deb faraz qilinadi. Hisoblangan kuch esa bu kattalikning o'rtacha kvadratik og'ishi bilan aniqlanadi.

Keyingi tahlil uchun tayanchning ko'chishida ko'chma (asosning ko'chishi) va nisbiy qismlarni ajratib olamiz, so'ngra izlanayotgan ko'chishni quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$\Delta(t) = U_i - U_j \quad (3)$$

bu yerda,  $U_i = u_i + y_i$  -  $i$ -tayanch yuqori qismining to'la ko'chishi, bunda  $u_i$  -  $i$ -tayanchning keltirilgan ko'chishi (asosning ko'chishi),  $y_i$  -  $i$ -tayanchning nisbiy ko'chishi,  $U_j = u_j + y_j$  -  $j$ -tayanch yuqori qismining to'la ko'chishi.

Ko'chishlar maksimumi  $\Delta_{max}$  :

$$\Delta_{max} \leq |U_i| + |U_j| = |u_i + y_i| + |u_j + y_j| \quad (4)$$

Tayanchlarning ko'chishlari o'zaro bog'liq bo'lmagan holda, ya'ni  $M[U_i U_j] = 0$  bo'lganda, o'zaro ko'chishni baholash (5) formula bo'yicha aniqlanadi.

$$\Delta = \sqrt{U_i^2 + U_j^2} \quad (5)$$

bu yerda  $M[a]$  -  $a$  miqdorning belgilangan matematik kutilmasi.

Agar tayanchlarning ko'chishlari o'zaro bog'liq bo'lsa, ya'ni ( $M[U_i \cdot U_j] \neq 0$ ), u holda korrelyatsiya koeffitsiyentini hisobga olgan holda ko'chishlar farqini hisoblash kerak. Umuman olganda,  $n$  ta tasodifiy jarayonlar yig'indisi  $\Phi_i$  omilining hisobiy qiymati quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Phi_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \cdot \phi_{ik} \cdot \varepsilon_{kj}} \quad (6)$$

bu yerda  $\phi_{ik}$  -  $k$ -yukdan hosil bo'lgan  $i$ -faktor qiymati,  $\varepsilon_{kj}$  - jarayonning korrelyatsiya koeffitsiyenti.

Ko'chish tebranishlarning birinchi shakli bilan aniqlangani uchun, tebranish shakllari bo'yicha yig'indini hisoblash zarurati yo'qoladi. Natijada quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2(\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j} \cdot \varepsilon_{u_i u_j} + \sigma_{u_i} \cdot \sigma_{y_j} \cdot \varepsilon_{u_i y_j} + \sigma_{u_j} \cdot \sigma_{y_i} \cdot \varepsilon_{u_j y_i} + \sigma_{y_i} \cdot \sigma_{y_j} \cdot \varepsilon_{y_i y_j}) \quad (7)$$

bu yerda  $\sigma_i$  orqali  $U_i$  to'liq ko'chishning o'rtacha kvadratik chetlanishi ifodalangan.

Odatda  $\varepsilon$  korrelyatsiya koeffitsiyentlari jarayonlarning statsionarligi (turg'unligi) taxmin qilingan holda aniqlanadi. Bunda har bir jarayon o'zining spektral zichligi bilan tavsiflanadi. Bizning holda u tayanch ostidagi tebranishlarning spektral zichliklari  $S_{u_i}(\omega) = S_i(\omega)$ ,  $S_{u_j}(\omega) = S_j(\omega)$  hamda o'zaro spektral zichlik  $S_{u_i u_j}(\omega) = S_{ij}(\omega)$  belgilanadi.

$\varepsilon_{u_i u_j}$ ,  $\varepsilon_{u_i y_j}$  va  $\varepsilon_{y_i y_j}$  korrelyatsiya koeffitsiyentlari  $K(\tau)$  korrelyatsiya funksiya orqali yoki o'zaro spektral zichlik  $S(\omega)$  orqali ifodalanadi. Masalan,  $y_0$  va  $y_j$  jarayonlar uchun korrelyatsiya koeffitsiyentlari:

$$\varepsilon_{y_0 y_j} = \frac{K_{y_0 y_j}(0)}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_{y_0 y_j}(\omega) d\omega}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} \quad (8)$$

Bizning holatimizda, o‘zaro spektral zichlik j-tayanch ostidagi asos ko‘chishining Fure spektri  $W_{y_{0j}}(\omega)$  va tayanch yuqori qismi ko‘chishining Fure spektri  $W_{y_j}(\omega)$  o‘rtasidagi bog‘liqlikni ko‘rsatadi.

j-tayanch yuqori qismi ko‘chishining Fure spektri  $W_{y_j}(\omega)$  ni aniqlash uchun  $y(t)$  funksiyasi differensial tenglamaning yechimi ekanligini va tebranishlarning birinchi shakli bilan aniqlanishini hisobga olamiz, ya’ni:

$$\ddot{y} + \gamma k \dot{y} + k^2 y = \eta \ddot{y}_0, \quad (9)$$

bu yerda  $k$  – tebranishning birinchi shakli bo‘yicha tayanchning tebranish chastotasi,  $\gamma$  – tebranishlarning birinchi shakli bo‘yicha noelastik qarshilik koeffitsiyenti,  $\eta$  – tebranishlarning birinchi shakli bo‘yicha yuklarning taqsimlanish koeffitsiyenti.

$y_j$  funksiya uchun Fure spektri quyidagi ko‘rinishga ega:

$$W_{y_j} = \frac{W_{\ddot{y}_0} \cdot \eta}{k_j^2 - \omega^2 + i\gamma_j k_j \omega} = \frac{\omega^2 W_{y_{0j}} \cdot \eta}{H_j}; \quad (10)$$

bu yerda  $H_j = k_j^2 - \omega^2 + i\gamma_j k_j \omega$ ;

Shuni ham ta’kidlash kerakki, chiqish signali spektri  $S_y$  kirish signali spektri  $S_{\ddot{y}_0}$  bilan bizga ma’lum bo‘lgan munosabat orqali bog‘langan.

$$S_y(\omega) = |\Phi(\omega)|^2 \cdot S_{\ddot{y}_0}(\omega) \cdot \eta = A(\omega) \cdot S_{y_0}(\omega) \cdot \omega^4 \cdot \eta \quad (11)$$

bu yerda  $\Phi(\omega) = \frac{1}{H}$  - (11) ifodaning asos tezlanishlaridan uzatilishdagi o‘tkazish funksiyasi; asos ko‘chishidan uzatishda  $\Phi(\omega) = \frac{\omega^2}{H}$ ;

$A(\omega) = \frac{1}{(k_j^2 - \omega^2)^2 + (\gamma_j k_j \omega)^2}$  – j- tayanch uchun (11) tenglamaning amplituda-chastota xarakteristikasi.

Shu bilan birga o‘zaro spektral zichlik  $S_{y_0 y_j}$  quyidagicha aniqlanadi:

$$S_{y_0 y_j}(\omega) = S_{y_0}(\omega) \cdot \bar{\Phi}_j(\omega) \quad (12)$$

(12) ifodani (8) ga qo‘yganda:

$$\varepsilon_{y_0 y_j} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{y_0} \omega^2 \cdot \eta}{H_j} d\omega}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} \quad (13)$$

(7) formuladan ko‘rinib turganidek, quyidagi to‘rtta korrelyatsiya koeffitsiyentlarini hisoblash zarur: tayanchlar osti yer yuzasidagi nuqtalar tebranishlari orasidagi  $\varepsilon_{u_i u_j}$ , tayanchlar yuqori qismidagi tebranishlar orasidagi  $\varepsilon_{y_i y_j}$ , yer yuzasidagi nuqtalar tebranishlari bilan bitta tayanch yuqori qismining tebranishlari orasidagi  $\varepsilon_{u_i y_j}$  hamda bir tayanch ostidagi yer yuzasi nuqtalarining tebranishlari bilan boshqa tayanch yuqori qismining tebranishlari orasidagi  $\varepsilon_{u_j y_i}$ .

Tayanchlar ostidagi yer yuzasi nuqtalarining tebranishlari o'rtasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti  $\varepsilon_{u_i u_j}$ :

$$\varepsilon_{u_i u_j} = \frac{K_{u_i u_j}(0)}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_{u_i u_j}(\omega) d\omega}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j}} \quad (14)$$

Qo'shni tayanchlar yuqori qismining tebranishlari orasidagi korrelyatsiya koeffitsiyenti  $\varepsilon_{y_i y_j}$ :

$$\varepsilon_{kj} = \frac{2\sqrt{\gamma_k \cdot \gamma_j \cdot (K_k)^3 \cdot (K_j)^3 \cdot (K_k \cdot \gamma_k + K_j \cdot \gamma_j)}}{(K_k + K_j)^2 \cdot (K_k - K_j)^2 + (K_k \cdot K_j) \cdot \left[ (K_k)^2 + (K_j)^2 \right] \cdot \gamma_k \cdot \gamma_j + (K_k \cdot K_j) \cdot \left[ (\gamma_k)^2 + (\gamma_j)^2 \right]} \quad (15)$$

Asos va tayanch yuqori qismi tebranishlari korrelyatsiya koeffitsiyentlari  $\varepsilon_{u_i y_j}$  va  $\varepsilon_{y_i u_j}$ :

$$\varepsilon_{u_i y_j} = \frac{K_{u_i y_j}(0)}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{y_j}} = \frac{\sigma_0^2 \cdot \eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sigma_0^2 \sqrt{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} x^4 dx}} = \frac{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} x^4 dx}}$$

$$= \frac{\eta \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} x^4 dx}} = \frac{\eta \cdot \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot (x_2 - x_1) \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} x^4 dx}} \quad (16)$$

Hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Uzluqli to'sinli ko'priklar tayanchlarining ko'chishini baholash

Hisoblab aniqlangan ko'chish	Tayanch raqami	Ko'chish qiymati, sm
Asos ko'chishi	N <sub>1</sub>	10,3
	N <sub>2</sub>	10,8
Tayanch yuqori qismining nisbiy ko'chishi	N <sub>1</sub>	26,8
	N <sub>2</sub>	2,3
To'la ko'chish	N <sub>1</sub>	36,1
	N <sub>2</sub>	20,0
Yuqori qismni baholash	-	56,1
$\varepsilon=0$ bo'lganda korrelyatsiyalanmagan holatda asos nuqtalarining o'zaro ko'chishi	-	14,92
$\varepsilon=0$ bo'lganda korrelyatsiyalanmagan holatda tayanch yuqori qismlarining o'zaro ko'chishi	-	28,33
Oq shovqin holatida korrelyatsiyani hisobga olganda asos nuqtalarining o'zaro ko'chishi	-	4,033
Oq shovqin holatida korrelyatsiyani hisobga olganda tayanch yuqori qismlarining o'zaro ko'chishi	-	27,93

Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, seysmik ta'sirlar sinxron qabul qilinganda tayanchlardagi ichki kuchlar va siljishlar real holatga nisbatan kam baholanadi. Oraliq qurilmalarning tayanchlardan qulab ketishi aynan shuning natijasida yuzaga keladi. Shu bilan birga, tayanchlarning gorizont siljishlari kuchli zilzilalarda 0,50 m gacha (tayanch asosining siljishi 10,3–10,8 sm), 8 balldan ortiq seysmik ta'sirlarda esa 0,70 m gacha yetishi mumkinligi aniqlandi.

Dissertatsiyaning “Uzluksiz to‘sinli ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini ularning tayanchlari nosinxron qo‘zg‘alishlarini hisobga olgan holda takomillashtirish” to‘rtinchi bobida uzluksiz to‘sinli ko‘prik inshootlarining seysmodinamik ish holati bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan. Bunda tayanch qismining katta miqdordagi siljishi muammosini yechish uchun tayanchlarni yagona rama tizimiga birlashtiruvchi rezina metall tayanch qismlari (RMTQ) dan foydalanilgan. Sonli hisoblashlar natijasida seysmik ta’sirlar vaqtida tezlanishlar maydonining nosinxronligi tayanchlar va oraliq qurilmalarda ichki kuchlar hamda siljishlarning notekis taqsimlanishiga olib kelishi aniqlangan. Taklif etilgan hisoblash yondashuvi yordamida an’anaviy usullar bilan aniqlanmaydigan xavfli kesimlar va maksimal siljishlar yuzaga keladigan zonalarni aniqlash imkoniyati yaratilgan. Shuningdek, ishlab chiqilgan usullarning loyihalash amaliyotiga joriy etilishi natijasida konstruktiv yechimlarni optimallashtirish va sezilarli iqtisodiy samaradorlikka erishish mumkinligi asoslab berilgan.

*Me’yoriy va taklif etilayotgan usullar o‘rtasidagi muhim farq* shundaki, **me’yoriy usulda** asos ko‘chishi vektoridan inshoot yaxlit biki jism sifatida ko‘chadi va unda zo‘riqishlar yuzaga kelmaydi, **taklif etilayotgan usulda** esa ko‘chishlar bir xil bo‘lmaydi va tayanchlarning statik ko‘chishidan qo‘shimcha zo‘riqishlar paydo bo‘ladi.

2-jadvalda uzluksiz to‘sinli ko‘priklarni seysmik yuklarga hisoblashning an’anaviy usuli va taklif etilayotgan usul o‘rtasidagi farqli jihatlar keltirilgan:

2-jadval

**Ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga hisoblashning an’anaviy va taklif etilayotgan usulini solishtirish**

Omil nomi	An’anaviy usul	Omil nomi	Taklif etilayotgan usul
Tebranishlar tenglamasi	$M\ddot{Z} + RZ + CZ = 0$ bu yerda $M$ – inersiya matritsasi; $R$ – bikiqlik matritsasi; $Z$ – tizimning to‘liq ko‘chishi (10-rasm); $C - U$ asos tugunlarining siljishi natijasida hosil bo‘lgan umumlashgan koordinatalar yo‘nalishi bo‘yicha kuchlar matritsasi	Tebranishlar tenglamasi	$M\ddot{Z} + RZ + CY_0 = 0$ bu yerda $Y_0$ – tayanch tugunlar ko‘chishining vektori. Bizning holatimizda, (4.3) tenglamadagi $U$ vektordan farqli ravishda, u uch elementdan tashkil topgan
Tizimning ko‘chishi	$Z = Y + U$ bu yerda $Y$ – inshoot nuqtalarining nisbiy ko‘chishi; $U$ – asosning harakati hisobiga inshootning keltirilgan ko‘chishi	Tizimning ko‘chishi	$Z = Y + W$ bu yerda $Y$ – yuzaga kelgan vaznsiz tizimning ko‘chishlariga nisbatan nisbiy siljish yoki ko‘chish. $W$ – tayanchning ko‘chishi, $Y_0$ ta’siridan vaznsiz konstruksiya uchun statik harakat

Omil nomi	An'anaviy usul	Omil nomi	Taklif etilayotgan usul
asos tugunlarining ko'chishlari	$\mathbf{U} = V_p \cdot u_0$ bu yerda $V_p$ – umumlashgan koordinatalar yo'nalishi bo'yicha ta'sir vektorining proyeksiyasi; $u_0$ – barcha tayanch tugunlar uchun bir xil bo'lgan asosning ko'chishi	Vaznsiz konstruksiya uchun statik ko'chish	$\mathbf{W} = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0$
asos tugunlarida kuchlanishlar yuzaga kelmaganda, ya'ni $\mathbf{R}\mathbf{Y}=\mathbf{0}$ va $\mathbf{C}\mathbf{U}=\mathbf{0}$ bo'lsa	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}$ $= -\mathbf{M}V_p\ddot{u}_0$	Vaznsiz konstruksiya uchun statik ko'chish ifodasini tizimning ko'chishi ifodasiga qo'yusak	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} - \mathbf{R}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0 + \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 = 0$ $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} - \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 + \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} = 0$ $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0$ $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\ddot{\mathbf{E}}$
Ichki so'nish mavjud bo'lganda	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}}$ $= -\mathbf{M}V_p\ddot{u}_0$		
Hisoblashlar uchun spektral usuldan (ChSU) foydalanilganda	$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\ddot{\mathbf{E}}$ bu yerda $\mathbf{X} - \mathbf{M}^{-1}\mathbf{R}$ matritsa vektorlarining xususiy matritsasi; $\ddot{\mathbf{E}}$ – yangi (bosh) koordinatalar vektori	Material ichidagi ishqalanish kuchini hisobga olganda	$\ddot{\mathbf{E}} + \mathbf{\Gamma}\mathbf{K}\dot{\mathbf{E}} + \mathbf{K}^2\ddot{\mathbf{E}} = -\mathbf{X}^{-1}\ddot{\mathbf{U}}$ $= \mathbf{X}^{-1}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0$
Materialdagi ichki ishqalanish hisobga olinganda	$\ddot{\mathbf{E}} + \mathbf{\Gamma}\mathbf{K}\dot{\mathbf{E}} + \mathbf{K}^2\ddot{\mathbf{E}} = -\mathbf{X}^{-1}\ddot{\mathbf{U}}$ bu yerda $\mathbf{K} = \sqrt{\mathbf{\Lambda}}$ – tebranish chastotasi; $\mathbf{\Gamma} = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n]$ – dempferlash spektri; $\gamma_j$ – so'nishning modal qiymati	Taklif etilayotgan usul	$\mathbf{X}^{-1}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 = (\dots d_j \dots)^T$

Quyida taklif etilayotgan usulda qurilishni amalga oshirishning iqtisodiy samaradorligi keltirilgan.

3-jadvalda an'anaviy yondashuv asosida loyihalangan ko'priknining qurilish sarf-xarajatlari keltirilgan.

3-jadval

#### Inshoot tayanch qoziq poydevorlarini barpo etish sarf - xarajatlari

Xarajatlarning turlari	Inshoot oraliq tayanch poydevorida qoziq obolochkalardan foydalanish xarajatlari, so'm		
	1 dona uchun	Rostverkda joylashgan uchun	2 oraliq tayanch poydevori uchun
Ishchilarning mehnat sarfi	8110085	40550425	81100850
Mashina-mexanizmlar	26193573.98	130967869.9	261935739.8
Material	60430970	302154850	604309700
Transport	3021548.5	15107742.5	30215485
Omborxonaxarajatlari	1208619.4	6043097	12086194
Qurilish tashkilotining xarajatlari	17091220.42	85456102.11	170912204.2
<b>Jami umumiy xarajatlar</b>	<b>116056017.3</b>	<b>580280086.5</b>	<b>1160560173</b>

4-jadvalda taklif etilayotgan usul asosida loyihalangan ko‘prikning qurilish sarf-xarajatlari keltirilgan.

4P 40 Dashtobod-Zomin-Baxmal-G‘allaorol avtomobil yo‘lining 181,278 km qismida joylashgan ko‘priq inshootining tayanchlari orasidagi nosinxron seysmik qo‘zg‘alishlarni hisobga olgan holda tanlangan konstruktiv yechimlarning iqtisodiy samaradorligi quyidagicha baholanadi.

*Iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:*

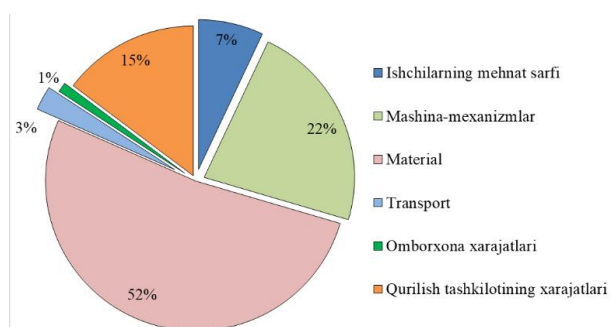
$$E = (1 - (\Delta C / C_0)) \cdot 100\% \quad (17)$$

bu yerda  $C_0$  - bazaviy loyiha bo‘yicha umumiy qurilish qiymati, ming so‘m;  $\Delta C$  - takomillashtirilgan loyiha (nosinxron tebranishlarni inobatga olgan yechim) natijasida erishilgan iqtisodiy tejash miqdori, ming so‘m.

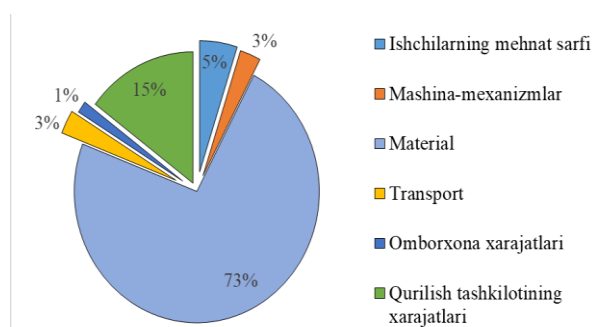
4-jadval

#### Mikroseysmik rayonlashtirish natijasida erishilgan iqtisodiy samaradorlik

Xarajatlarning turlari	Poydevorlarini qurishdagi xarajatlar miqdori, so‘m		
	Qoziq obolochkalar bilan	Sayoz joylashgan poydevorlar bilan	Sarf xarajatlar farqi
Ishchilarning mehnat sarfi	40550425	7992461.27	32557963.73
Mashina-mexanizmlar	130967869.9	4428023.4	126539846.5
Material	302154850	118022157	184132693
Transport	15107742.5	4720886.28	10386856.22
Omborxonaxarajatlari	6043097	2360443.14	3682653.86
Qurilish tashkiloti xarajatlari	85456102.11	23750389.8	61705712.3
<b>Jami</b>	<b>580280086.5</b>	<b>161274361</b>	<b>419005725.6</b>



**9-rasm. An‘anaviy usulda loyihalangan ko‘priq qurilishi uchun ketadigan sarf-xarajatlarning taqsimlanishi**



**10-rasm. Taklif etilayotgan usulda loyihalangan ko‘priq qurilishi uchun ketadigan sarf-xarajatlarning taqsimlanishi**

Natijada, loyihalash jarayonida turli grunt sharoitlarini tayanchlar uchun individual inobatga olish orqali 4P40 Dashtobod-Zomin-Baxmal-G‘allaorol avtomobil yo‘lining 181,278 km qismida joylashgan ko‘priq inshooti oraliq tayanch poydevorlarini loyihalash orqali 419.0 mln. so‘mgacha moddiy resurslarni iqtisod qilish mumkin.

### XULOSA

“Tayanchlarning turli xildagi qo‘zg‘alishlarida ko‘priklarni seysmik ta’sirlarga hisoblash usullarini takomillashtirish” mavzusidagi falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar keltirilgan:

1. Ko‘prik inshootlarini seysmik yuklarga hisoblashda qurilish maydoni relyefi va tezlanishlar maydonining nobirjinsligini hisobga olgan holda sonli mikroseysmik rayonlashtirish asosida hisoblanayotgan inshoot uchun xavfli chastotali ta’sirlarda tayanchlar orasidagi korrelyatsiyani hisobga olish zarurligi asoslandi. Shu bilan birga, hisoblarda eng yuqori nosinxronlik keltirib chiqaradigan ta’sirlar emas, inshoot uchun eng xavfli spektral holatlarni hisobga olish zarurligi aniqlandi.

2. Ko‘prik o‘tish joylarida tezlanishlar maydonining nobirjinsligi grunt sharoitlarining xilma-xilligi va seysmik to‘lqinlarning cheklangan tarqalish tezligi bilan bog‘liq. Grunt xususiyatlari va relyef omillari bilan bog‘liq ta’sirlar bir-biriga ko‘pincha qarama-qarshi ta’sir ko‘rsatadi. Ko‘rib chiqilayotgan holatda **maksimal tezlanishlardagi farq 20%dan oshmasligi isbotlandi**. Vaholanki, rasmiy me‘yorlarga ko‘ra grunt sharoitiga qarab bu ko‘rsatkich **ikki baravargacha** o‘zgarishi mumkin.

3. Uzlukli to‘sinli ko‘priklar uchun tezlanishlar maydonining nobirjinsligi muhim ahamiyatga ega. Har bir tayanchdagi kuchlanishlarni alohida hisoblash yetarli bo‘lishi mumkin, biroq kuchli zilzilalarda ko‘prikning buzilishi asosan tayanch qismlarining o‘zaro katta siljishlari natijasida yuzaga keladi. Shu sababli, tayanch qismining ko‘chishini baholashda tezlanishlar maydonining nosinxronligini hisobga olish zarur.

4. Tayanch qismining siljishini va oraliq qurilmalar tayanchlardan ehtimoliy tushib ketishining oldini olish uchun uzlukli to‘sinli ko‘prikni hisoblashda ko‘prik uzunligi bo‘ylab tezlanishlar maydonining nobirjinsligini aniq hisobga olish imkonini beruvchi chiziqli spektral usulning takomillashtirilgan varianti ishlab chiqildi. Bunda, **8 ballgacha** bo‘lgan seysmik ta’sirlarda ko‘chishlar qiymati **20 sm** dan oshmasligi (bunda tayanch asosining siljishi **10,3-10,8 sm** atrofida bo‘ladi) tufayli tebranishlarning statistik mustaqillik haqidagi gipoteza qabul qilinishi mumkin bo‘lsa-da, 9 balli ta’sirlarda tayanchlarning o‘zaro siljishi ortib ketishi mumkin.

5. Uzluksiz yoki birlashtirilgan ko‘priklar uchun yagona maksimal tezlanishlar va yagona spektral egri chiziqning mavjud emasligi asosiy muammodir. Uzluksiz to‘sinli ko‘prikni seysmik ta’sirlarga hisoblashda inshootdagi kuchlanishlarni tebranish shakllari va **har bir tayanchning qo‘zg‘alishi bo‘yicha alohida taqsimlash usuli tayanchlar orasidagi korrelyatsiyani hisobga olish orqali takomillashtirildi**. Ayniqsa, 9 balli seysmik ta’sirlar uchun bu masalani seysmologik asosda aniqlash zarurligi ilmiy asoslandi.

6. Taklif etilgan usul hududning mikroseysmik rayonlashtirilishi va grunt sharoitlarini hisobga olgan holda materiallar sarfini optimallashtirish imkonini beradi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, mazkur yondashuvdan foydalanish qurilish va loyihalash xarajatlarini an’anaviy usullarga nisbatan **419,0 mln.** so‘mgacha qisqartirish imkonini beradi. Bu esa ishlab chiqilgan usulning amaliy jihatdan yuqori iqtisodiy samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.10/2025.27.12.T.01.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ГУЛОМОВ ДОСТОН ИНОМЖОН УГЛИ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОСТОВ НА  
СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ  
ВОЗМУЩЕНИЯХ ОПОР**

05.09.02 – “Геотехника” (Мосты, транспортные тоннели и метрополитены)

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2026**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.4.PhD/T6269.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного Совета ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** **Шермухамедов Улугбек Забихуллаевич**  
доктор технических наук (DSc), профессор

**Официальные оппоненты:** **Акрамов Хусниддин Ахрорович**  
доктор технических наук, профессор

**Нишонов Неъматилла Асатиллаевич**  
доктор философии (PhD) по техническим наукам,  
старший научный сотрудник

**Ведущая организация:** **Институт АО “Узогирсаноатлойиха”**

Защита диссертации состоится «2» мая 2026 года в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.10/2025.27.12.T.01.01 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, 1. Тел: (+99871) 299-00-01; факс: (99871) 293-57-54; e-mail: rektorat@tstu.uz., tashiit@exat.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (зарегистрирована № 341). (Адрес: 100167., г. Ташкент, ул. Темирийўлчилар, 1. Тел.: (+99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан «15» апреля 2026 года.  
(реестр Протокола рассылки № 36 от «15» апреля 2026 года).

**А.И. Адилходжаев**  
Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Н.Р. Мухаммадиев**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

**А.А. Ишанходжаев**  
Председатель Научного семинара при Научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется вопросам обеспечения сейсмостойкости мостовых сооружений на автомобильных дорогах, расположенных в сейсмически активных районах, с учетом сейсмических воздействий на этапах проектирования, строительства и эксплуатации, а также снижению воздействия высокочастотных колебаний, возникающих в результате землетрясений. В настоящее время в развитых странах мира, таких как Япония, Турция, Китай, США, Германия, Италия, Франция, Испания, Швеция, Иран, Мексика, Россия и Республика Корея, обеспечивается совершенствование методов расчета мостовых сооружений на автомобильных дорогах на сейсмические воздействия с учетом различных видов возмущений их опор. В связи с этим особое внимание уделяется обеспечению безопасности движения на этапах проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений разрезной и неразрезной систем на автомобильных дорогах.

В мировой практике ведутся научные исследования, направленные на обоснование конструктивных параметров при проектировании мостовых сооружений автомобильных дорог, расположенных в сейсмически активных регионах, разработку новых технических параметров, обеспечивающих сейсмическую безопасность мостовых конструкций за счёт эффективного применения устройств сейсмической защиты, а также на совершенствование методов достоверной оценки воздействия сейсмических нагрузок. В данном направлении, в частности, к числу актуальных научно-практических задач относятся совершенствование методов оценки сейсмического воздействия на многопролётные балочные мостовые сооружения автомобильных дорог с учётом размещения их опор в различных грунтовых и рельефных условиях, формирование численных моделей мостовых сооружений на основе микросейсмического районирования строительной площадки, определение корреляции между опорами, а также совершенствование подходов к расчёту неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия на основе линейно-спектрального метода.

В процессе строительства транспортных сооружений на автомобильных дорогах республики осуществляются широкомасштабные мероприятия, направленные на обеспечение сейсмостойкости мостовых сооружений в условиях сильных землетрясений. В «Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», в частности в пунктах 192–197, определены задачи по «...ускоренному развитию сети автомобильных дорог между Ташкентом и крупными городами в течение следующих 5 лет с целью развития автомобильных дорог...». При реализации этих задач важное значение приобретают вопросы обоснования эффективности опор железобетонных мостовых сооружений в сейсмических районах Республики Узбекистан с учетом их расположения в различных сейсмогеологических

условиях и различного воздействия на них землетрясений, а также совершенствования методов численного расчета сейсмических воздействий с учетом асинхронных возмущений опор при сейсмических воздействиях различной силы.

В Указе Президента Республики Узбекистан № УП-144 от 30 мая 2022 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности Республики Узбекистан», а также в постановлениях № ПП-3309 от 4 октября 2017 года «О совершенствовании системы строительства и эксплуатации мостов автомобильных дорог, путепроводов и других искусственных сооружений», № ПП-4794 от 30 июля 2020 года и № ПП-158 от 16 мая 2023 года определены важные задачи по обеспечению сейсмической безопасности, повышению сейсмостойкости зданий и сооружений, внедрению современных методов расчета и обеспечению надежности строительных процессов. Кроме того, в нормативно-правовых документах № ПП-161 от 17 апреля 2024 года и № УП-184 от 20 октября 2025 года приоритетными направлениями определены повышение эффективности научных исследований в области сейсмологии, совершенствование методов оценки сейсмической опасности территорий, а также широкое внедрение конструктивных решений, обеспечивающих сейсмостойкость сооружений. В реализации указанных задач настоящее исследование, направленное на совершенствование методов расчета транспортных сооружений на сейсмические воздействия, имеет важное научно-практическое значение.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий республики XIV – “Сейсмология, сейсмическая безопасность зданий и сооружений и строительство.”

**Степень изученности проблемы.** В развитие теории сейсмозащиты и сейсмостойкости транспортных сооружений на автомобильных дорогах внесли вклад своими научными, теоретическими и экспериментальными исследованиями такие крупные ученые мира, как М.Т. Уразбаев, А.Д. Абакаров, Я.М. Айзенберг, А.А. Амосов, М.Ф. Барштейн, Т.А. Белаш, J. Lysmer, В.А. Биховский, И.И. Голденблат, А.Б. Гроссман, Т.Ж. Жунусов, К.Н. Карцивадзе, Б.Г. Коренев, В.С. Кириллов, И.Л. Корчинский, Д.А. Курбатов, Э.Н. Курбацкий, А.И. Мартемьянов, С.В. Медведев, Ш.Г. Напетваридзе, Н.А. Николаенко, М.М. Онищенко, А.А. Петров, А.Тер-Кюригян, В.Т. Рассказовский, Т.Р. Рашидов, Л.М. Резников, О.А. Савинов, Ж.Л. Богданов, А.М. Уздин, Э.Е. Хачиян, А.А. Сернант, Г.С. Шестоперов, З.Г. Хучбаров, И.О. Кузнецова, С.А. Шульман, Л.Н. Дмитриовская, Т.В. Суконникова, J.G. Ardila, T. Igusa, а также зарубежные исследователи Ш. Окамото, Tecchio, G. Nouri, K. Kubo, M. Mikoshiba, T. Nishiki, Otori, Y. Zaslavsky, R. Skinner и многие другие специалисты своими выводами.

В нашей стране ведущие ученые М.Т. Уразбаев, Т.Р. Рашидов, Х.А. Рахматулин, В.А. Пшеничкин, А.А. Ишанходжаев, Г.Х. Хожметов,

А.Х. Абдужабаров, М.Х. Миралимов, И. Мирзаев, У.З. Шермухамедов, У. Рахманов, Н.А. Красин, Н.А. Нишонов, А.Б. Каримова, З.К. Рахимжонов и другие внесли свой вклад в развитие многолетних исследований и разработок в области обеспечения сейсмостойкости и повышения долговечности транспортных сооружений.

Однако недостаточно изучены проблемы обоснования эффективности опор железобетонных мостовых сооружений на автомобильных дорогах с учетом их расположения в различных сейсмогеологических условиях и различного воздействия на них землетрясений, а также совершенствования методов расчета на сейсмические воздействия с учетом асинхронных возмущений опор при сейсмических воздействиях различной силы.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Данное исследование выполнено в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий республики: II – “Энергетика, энерго - и ресурсосбережение” и XIV – “Сейсмология, сейсмическая безопасность зданий и сооружений и строительство.”

**Целью исследования** является повышение сейсмостойкости транспортных сооружений и совершенствование методов расчета на сейсмические воздействия с учетом расположения опор мостов в различных грунтовых условиях.

**Задачи исследования:**

анализ методов расчета многопролетных конструкций большой протяженности;

научное обоснование необходимости учета неоднородности поля ускорений по длине мостового сооружения;

совершенствование методов расчета разрезных балочных мостов на сейсмические воздействия при различных видах перемещений опор;

разработка метода оценки смещений опорных частей разрезных балочных мостов с учетом корреляции между ними;

совершенствование методов расчета неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия с учетом асинхронных перемещений их опор.

**Объектом исследования** являются железобетонные балочные мостовые сооружения, проектируемые в сейсмически активных районах Республики Узбекистан.

**Предметом исследования** являются конструктивные элементы разрезных и неразрезных железобетонных балочных мостовых сооружений на автомобильных дорогах в сейсмических условиях Республики Узбекистан, а также физико-механические характеристики пролетных строений, опор, фундаментов и грунтов для обеспечения их сейсмостойкости.

**Методы исследования.** В исследованиях применялись методы строительной механики, теории колебаний, математического моделирования, сейсмостойкости зданий и сооружений, методы линейного спектрального расчета на сейсмические воздействия.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

обоснована необходимость учета корреляции между опорами при опасных частотных воздействиях для сооружения, рассчитываемого на основе численного микросейсмического районирования с учетом неоднородности поля ускорений и рельефа строительной площадки при расчете мостов на сейсмические нагрузки;

доказано, что разность возмущений опор моста, вызванная неоднородностью рельефа местности и грунтовых условий, уравнивает друг друга, и хотя неоднородность поля ускорений по длине мостового перехода значительна, в результате разность ускорений составляет не 2 раза, как в нормах, а всего 20%.

в рамках существующих подходов разработан усовершенствованный вариант линейного спектрального метода, позволяющий точно учитывать неоднородность поля ускорений по длине моста при расчете разрезных балочных мостов для предотвращения хода опорной части и возможного падения пролетных строений с опор.

усовершенствован методика разделения напряжений в сооружении отдельно по формам колебаний и по возмущениям каждой опоры при расчете неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия с учетом корреляции между опорами.

**Практические результаты исследования заключаются в следующем:**

разработано программное обеспечение для создания метода расчета мостов на сейсмические воздействия с учетом расположения их опор в различных грунтовых условиях;

установлено, что грунтовые условия и рельеф местности оказывают существенное влияние на значительную асинхронность поля ускорений по длине моста, и доказано, что разница в ускорениях под опорами моста составляет не 2 балла, как предусмотрено нормами, а всего 20%;

проведена оценка экономической эффективности расчета опор мостов с учетом асинхронных сейсмических колебаний при проектировании мостовых сооружений на автомобильных дорогах в условиях Республики Узбекистан.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обусловлена тем, что оно выполнено на основе подтвержденных теоретических основ сейсмических расчетов и данных микросейсмического районирования, соответствием результатам, полученным другими специалистами в области сейсмостойкости транспортных сооружений, многовариантными численными расчетами, проведенными на основе усовершенствованного варианта линейного спектрального метода, анализом напряженно-деформированного состояния разрезных и неразрезных железобетонных мостовых сооружений на основе реальных и искусственных записей землетрясений динамическим методом в различных грунтовых условиях, а также сопоставлением результатов, полученных на примере реальных проектируемых мостовых сооружений, что демонстрирует высокую степень соответствия теоретических и практических результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в усовершенствовании методов микросейсмического районирования строительной площадки с применением теории учета неоднородности поля ускорений по длине мостового сооружения, а также методов расчета разрезных и неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия с учетом асинхронных колебаний их опор.

Практическая значимость результатов исследования обусловлена тем, что разработанные методы расчета и подходы позволяют оптимизировать конструктивные решения на основе проектирования мостовых сооружений, оценки их сейсмостойкости, микросейсмического районирования, учета грунтовых и рельефных условий, снижения коэффициентов избыточного запаса и расхода материалов, а также обеспечивают высокую экономическую эффективность за счет использования предложенных сейсмозащитных опорных частей в процессе проектирования и значительного снижения затрат на строительство.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов проведенных научно-исследовательских работ по совершенствованию методов расчета мостов на сейсмические воздействия с учетом различных возмущений их опор:

В результате численных исследований, выполненных на основе усовершенствованного линейно-спектрального метода расчета, научно обоснована необходимость учета несинхронности поля ускорений при расчете разрезных балочных мостов на сейсмические воздействия. Разработанный подход внедрен в практику проектирования в государственном учреждении «Шароф Рашидов туман йўллардан фойдаланиш» (справка данного учреждения от 25 декабря 2025 года). Установлено, что различие ускорений составляет не 2 балла по нормам ШНК 2.01.20-16, а лишь около 20 %;

При проектировании и строительстве разрезного балочного мостового сооружения на участке км 181,278 автомобильной дороги 4Р 40 с учетом микросейсмического районирования территории, особенностей местного рельефа и инженерно-геологических условий результаты исследования внедрены в практическую деятельность государственного учреждения «Sharof Rashidov tuman yo'llardan foydalanish» (справка Министерства транспорта Республики Узбекистан № 4/E91 от 21 января 2026 года). В результате обеспечена возможность снижения избыточных коэффициентов запаса в конструктивных элементах и оптимизации расхода материалов, что позволило сократить затраты на проектирование и строительство по сравнению с традиционными методами на 72,2 %, то есть до 419,0 млн сумов.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования были обсуждены на 7 научно-практических конференциях, в том числе на 5 международных (из них 2 в базе SCOPUS) и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** Всего по теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 9 в зарубежных и отечественных журналах, в том числе 7 в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, а также имеются 3 свидетельства на программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 116 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** обоснованы актуальность и необходимость исследования, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования. Также показано соответствие темы исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Изложены научная новизна и практические результаты, освещены научная и практическая значимость полученных результатов. Представлена информация о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ состояния изучаемого вопроса»** анализируются отечественные и зарубежные исследования по расчету и проектированию мостовых сооружений на сейсмические воздействия. Рассмотрены основные теоретические подходы, применяемые при оценке сейсродинамического состояния разрезных и неразрезных балочных мостов, в том числе возможности и ограничения линейного спектрального метода.

В результате анализа литературы установлено, что существующие методы расчета, основанные на синхронном восприятии сейсмических воздействий многоопорными и протяженными мостовыми сооружениями, недостаточно отражают влияние асинхронности поля ускорений, грунтовых условий и рельефа местности. На этой основе сформулированы цель, задачи и направления исследования диссертационной работы, обоснована актуальность выбранной научной проблемы.

По результатам проведенного анализа установлено, что в настоящее время в Узбекистане, России, в Еврокоде 8 и даже в нормах США отсутствуют соответствующие нормативные рекомендации по расчету сейсмостойкости многопролетных конструкций, учитывающие асинхронные возмущения опор в различных грунтовых условиях, а также по оценке коэффициентов корреляции и спектральной плотности воздействий.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Теория учета неоднородности поля ускорений по длине сооружения»**, исследованы факторы, определяющие формирование поля ускорений и его асинхронность при расчете мостовых сооружений на сейсмические воздействия. Проанализировано влияние микросейсмического районирования территории, грунтовых условий и рельефа местности на сейсмические колебания, определены механизмы формирования неоднородности поля ускорений вдоль многоопорных мостов. На основе численного моделирования показано,

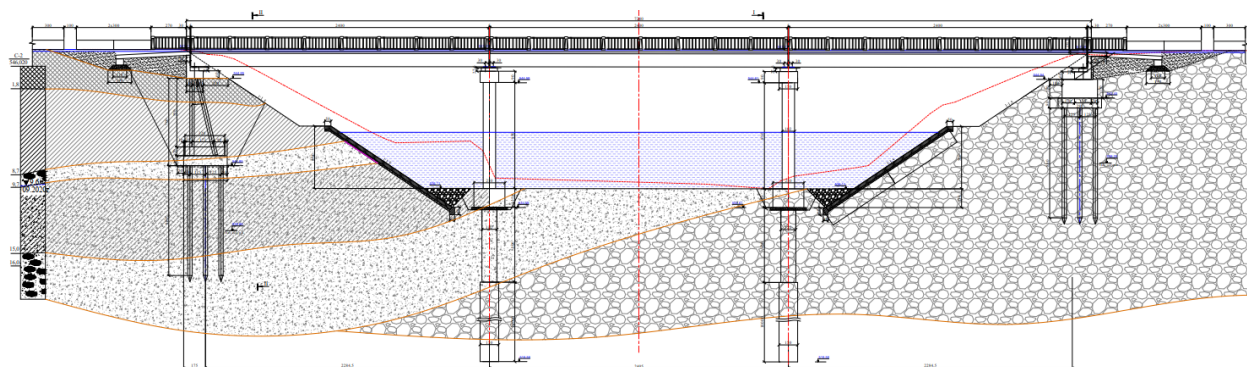
что рельеф и грунтовые условия оказывают противоположное влияние, и в результате их взаимной компенсации разница ускорений оказывается значительно меньше значений, приведенных в нормативных документах.

При этом рассматриваются **два первых важных фактора неоднородности поля ускорений: первый** — неоднородность грунтовых условий; **второй** — сложный рельеф местности. Недавние исследования показывают, что при учете корреляции колебаний точек земной поверхности необходимо принимать во внимание следующие три параметра: разномасштабность, асинхронность и некогерентность.

С целью оценки поля реальных ускорений по длине мостового перехода было проведено цифровое микросейсмическое районирование участка моста на 181,278 км автомобильной дороги 4П 40 «Даштобод–Зомин–Бахмал–Галляорол», проходящей через Джизакскую область. При этом были определены следующие задачи:

- **Уточнение исходной сейсмичности строительной площадки;**
- **Определение параметров сейсмических воздействий;**
- **Расчет неоднородности поля ускорений для выбранных воздействий;**
- **Разработка рекомендаций по проектированию и строительству.**

Данный мост состоит из 21 пролетного строения длиной 24 м и массой 33,4 т каждое. Железобетонные опоры высотой 8,50 м закреплены на фундаментах длиной 12,70 м, высотой 1,50 м и шириной 2,50 м. При строительстве моста использовались буронабивные сваи длиной 16,0 м. Общий вид моста представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1. Общий вид моста**

Для рассматриваемой строительной площадки характерно, что правобережная опора расположена на грунтах I категории по сейсмическим свойствам (скальные и полускальные грунты), что позволяет снизить расчетную сейсмичность площадки строительства с 8 до 7 баллов.

В средней части мостового перехода предусмотрены две опоры: опора правого русла также основана на грунтах I категории по сейсмическим свойствам, тогда как опора левого русла расположена на грунтах III категории по сейсмическим свойствам с наличием толщи слабых грунтов, что требует повышения расчетной сейсмичности с учетом инженерно-

геологических условий площадки. Левая береговая опора размещена на грунтах II категории по сейсмическим свойствам.

При расположении строительной площадки в различных грунтовых условиях возникает необходимость дифференцированного учета сейсмических характеристик основания при расчетах. В связи с этим рассмотрен следующий авторский подход. Представлен общий методический подход к микросейсмическому районированию мостовых площадок, включающих участки со слабыми грунтами в понижениях рельефа, береговые склоны и крайние опоры, расположенные на скальных грунтах в зоне выпуклых форм рельефа.

На следующем этапе решается задача выбора расчетных сейсмических воздействий для рассматриваемой строительной площадки. Ниже приведены пять вариантов воздействий, при которых на свободной поверхности основания обеспечивается пиковое ускорение грунта, соответствующее интенсивности 8 баллов по шкале MSK-64:

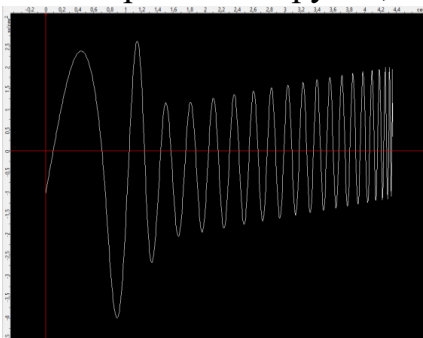
1. Синтетическое воздействие СА-482, сбалансированное по конечным скоростям и ускорениям, рекомендованное к применению при проектировании объектов атомных электростанций (рис. 2);

2. Запись реального землетрясения Нинхэ 1976 года с периодом колебаний 1 с (рис. 3);

3. Реальная запись землетрясения, произошедшего в Мехико в 1995 году, с периодом колебаний 2 с и пиковым ускорением грунта (PGA) 1,7 м/с<sup>2</sup> (рис. 4);

4. Воздействие искусственно сгенерированного землетрясения, опасного для опоры правого русла, с периодом колебаний 1,2 с (рис. 5, а);

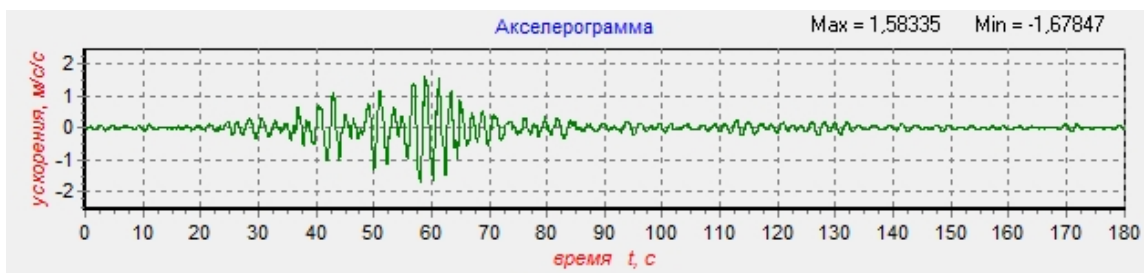
5. Воздействие искусственно сгенерированного землетрясения, опасного для опоры левого русла, с периодом колебаний 1,8 с (рис. 5, б).



**Рисунок 2. Синтетическое воздействие, рекомендуемое для применения при проектировании объектов АЭС с учетом баланса ускорений и смещений согласно СА-482**

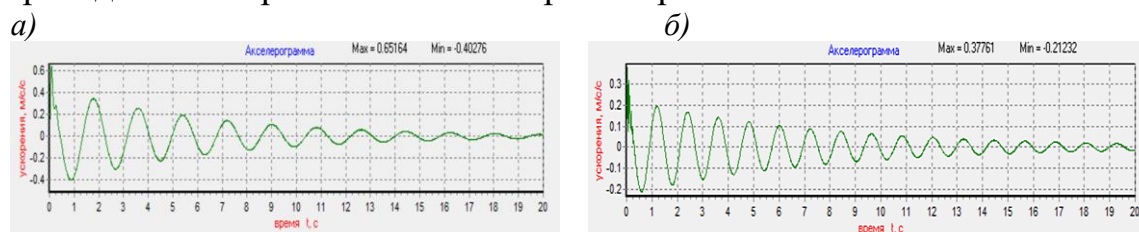


**Рисунок 3. Запись реального воздействия землетрясения Нинхэ 1976 года, период колебаний 1 секунда**



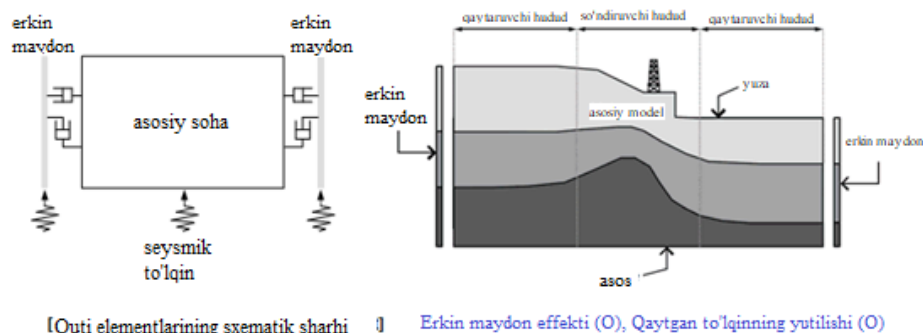
**Рисунок 4. Запись реального воздействия, зарегистрированного в Мехико-Сити в 1995 году, с периодом колебаний 2 секунды и пиковым ускорением грунта (PGA) 1,58 м/с<sup>2</sup>**

Спектры абсолютных ускорений акселерограмм показывают, что, несмотря на их расположение в различных грунтовых условиях, они оказались весьма схожими, и, хотя ожидалось, что коэффициент корреляции будет небольшим, на практике этого не подтвердилось. Наблюдаются незначительные различия: например, при периоде 0,3 с на правой опоре появляются небольшие максимумы, тогда как на левой они не выражены. Это указывает на необходимость обязательного учета коэффициента корреляции при проведении микросейсмического районирования.



**Рисунок 5. Искусственные воздействия, представляющие опасность для опоры правого русла, и их спектры: (а) при периоде колебаний 1,8 секунды и (б) при периоде колебаний 1,2 секунды**

Для проведения исследований традиционно применяется метод конечных элементов. Проблема заключается в том, что в задачах, связанных с грунтовым массивом, необходимо рассматривать бесконечную среду, однако на практике из бесконечного основания выделяется условно конечная ограниченная область, называемая в инженерной практике «ящиком» (рис. 6).



**Рисунок 6. Элементы бесконечной границы**

Для проведения исследования была проанализирована расчетная модель с использованием метода конечных элементов в программном комплексе Midas. С этой целью из грунтового массива была выделена расчетная область (рис. 7) — условный «ящик». Выделенная часть грунтового массива

используется в качестве расчетной области. Этот «ящик» служит границей выполнения вычислений и, как правило, имеет форму прямоугольника, прямоугольного параллелепипеда и т.д. В реальных условиях грунтовый массив может иметь сложную форму. Разбиение на конечные элементы осуществляется внутри данного «ящика».

«Ящик» расположен на скальном основании, рассматриваемом как расчетная платформа. Расчетное ускорение задается на верхней поверхности платформы (под «ящиком»). На боковых границах «ящика» задано специальное граничное условие типа «Free Field» (свободное поле) (рис. 6). Данное условие одновременно выполняет функцию неотражающих (демпфирующих) границ Лисмера и ограничивает распространение ускорений за пределы расчетной области. Это позволяет уменьшить размеры расчетной схемы и существенно сократить время вычислений.. Условие неотражения волн Лисмера:

Для левого участка:

$$\sigma_{xx} = c_p \rho \dot{u}_x - 2c_p \rho \dot{u}_{gx}; \quad \sigma_{xz} = c_s \rho \dot{u}_z - 2c_s \rho \dot{u}_{gz}; \quad \sigma_{yz} = c_s \rho \dot{u}_y - 2c_s \rho \dot{u}_{gy};$$

Для правого участка:

$$\sigma_{xx} = -c_p \rho \dot{u}_x; \quad \sigma_{xz} = -c_s \rho \dot{u}_z; \quad \sigma_{yz} = -c_s \rho \dot{u}_y;$$

Для основания:

$$\dot{u}_x = 0; \quad \dot{u}_z = 0; \quad \dot{u}_y = 0. \quad (1)$$

Боковая жесткость «ящика» учитывалась с помощью грунтовых пружин, моделирующих упругое сопротивление основания. Модель деформирования грунта принята в соответствии с критерием прочности Кулона–Мора, при этом жесткость характеризуется модулем начальной деформации (модулем упругости).

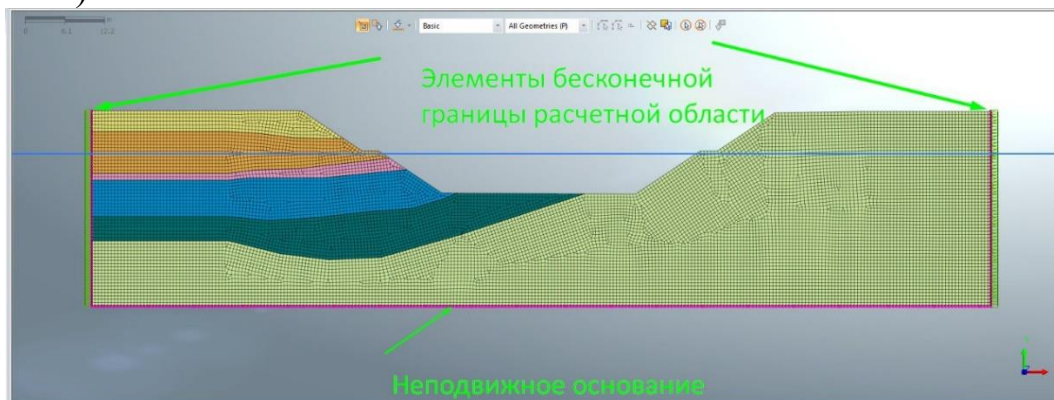
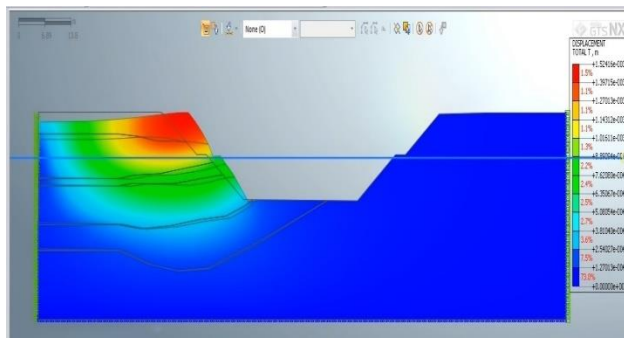
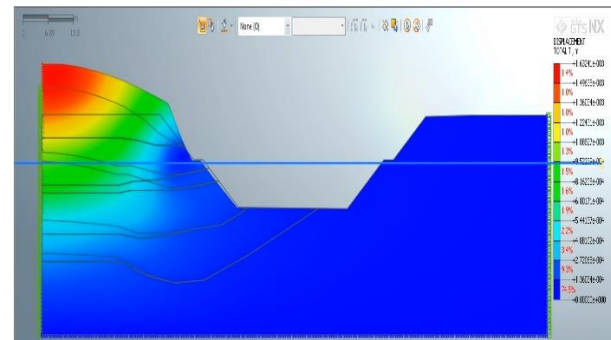


Рисунок 7. Общий вид платформы

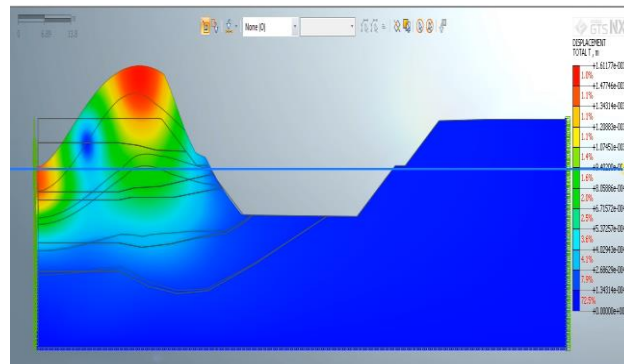
На первом этапе были выполнены расчеты собственных форм колебаний. Определены периоды и формы собственных колебаний (рис. 8).



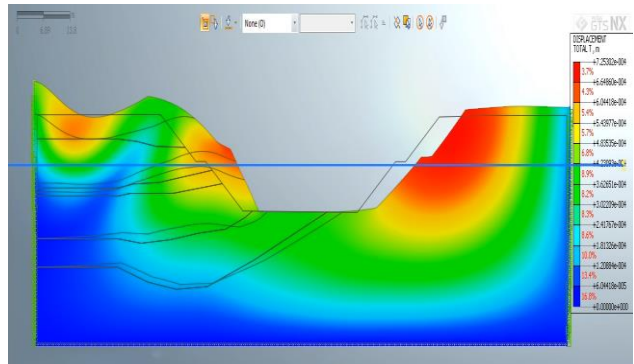
1-я форма колебаний



2-я форма колебаний



3-я форма колебаний



4-я форма колебаний

**Рисунок 8. Формы колебаний**

Как видно из приведенных выше рисунков, форма 1 с наибольшим периодом колебаний соответствует колебаниям области слабых грунтов слева, а форма 4 — колебаниям области жестких грунтов справа. Для ранее выбранных 1-го, 4-го и 5-го воздействий были проанализированы два значения PGA с повторяемостью 100 и 500 лет для рассматриваемой площадки.

Далее приведены результаты расчетов по вышеуказанным пяти акселерограммам воздействий, рассматриваемым как опасные для сооружения. Расчеты выполнены в программном комплексе MIDAS.

При высокочастотном воздействии SA-482 левый берег мостового перехода, сложенный слабыми грунтами, имеет максимальное ускорение  $a = 5,25 \text{ м/с}^2$  с коэффициентом усиления  $K_L = 1,31$  относительно основания, а при длительном воздействии землетрясения Нинхэ — максимальное ускорение  $a = 4,19 \text{ м/с}^2$  с коэффициентом усиления  $K_L = 1,5$ . При воздействиях средней интенсивности, опасных для проектируемых опор, получены следующие значения:  $a = 0,22 \text{ м/с}^2$  с коэффициентом усиления  $K_L = 1,5$  для левой опоры и  $a = 0,29 \text{ м/с}^2$  с коэффициентом усиления  $K_L = 1,4$  для правой опоры.

Из вышеизложенного следует, что неоднородность поля ускорений на строительной площадке должна оцениваться с учетом спектрального состава воздействий, опасных для проектируемой конструкции. В рассмотренном примере на асинхронность поля ускорений влияют грунтовые условия и рельеф местности. Следует отметить, что их влияние носит противоположный характер. В условиях слабых грунтов, особенно в выемках, следовало бы ожидать увеличения ускорений, однако на практике

наличие выемок приводит к их снижению. В результате различие ускорений составило не 2 балла по ШНК, а лишь около 20 %.

В третьей главе диссертации под названием «Совершенствование методов расчета разрезных балочных мостов на сейсмические воздействия с учетом асинхронных возмущений их опор» разработан усовершенствованный вариант линейного спектрального метода расчета разрезных балочных мостовых сооружений на сейсмические воздействия. В данной главе на основе численных расчетов проанализированы различия между случаями синхронного и асинхронного восприятия сейсмических воздействий; показано, что учет асинхронности поля ускорений приводит к значительному увеличению внутренних усилий и перемещений, возникающих в опорах. Полученные результаты научно обосновывают необходимость применения подходов, учитывающих асинхронные колебания, при сейсмическом расчете разрезных балочных мостов.

Наличие различных видов затухания в элементах расчетной схемы при расчете мостовых сооружений на сейсмические воздействия создает определенные трудности при применении линейного спектрального метода (ЛСМ). В частности, характеристики затухания энергии в пролетных строениях, опорах и грунтовых слоях различаются, и их представление через единый коэффициент затухания снижает точность расчета. В связи с этим в Научно-исследовательском институте мостов (НИИ Мостов), расположенном в Санкт-Петербурге (Российская Федерация), разработан модифицированный вариант линейного спектрального метода, позволяющий учитывать различные виды затухания по формам колебаний. Согласно данному подходу, сейсмические нагрузки определяются по следующей формуле:

$$s_{ij} = K_1 \cdot m_i \cdot A_k \cdot g \cdot \beta_j \cdot K_{\Psi}(\gamma_j) \cdot \eta_{ij}, \quad (2)$$

Здесь  $k$  – номер опоры,  $j$  – номер формы колебаний,  $K_1$  – коэффициент предельных состояний,  $m_i$  –  $i$ -я сосредоточенная масса;  $A_k$  – значение максимального расчетного ускорения под опорой “ $k$ ” в долях ускорения силы тяжести ( $g$ );  $\beta_j$  – Коэффициент динамичности, соответствующий  $j$ -му тону собственных колебаний, принимаемый согласно ШНК 2.01.20-16 и изменяющийся в зависимости от категории грунта.

Отличие этого метода от традиционного заключается в том, что коэффициент  $K_{\Psi}$  напрямую зависит от затухания форм колебаний.

Теперь с использованием ЛСМ проанализируем механизм формирования реакции на сейсмические колебания и относительных перемещений опор разрезных балочных мостов, расположенных в различных грунтовых условиях. При этом рассматривается разность двух случайных функций: первая — колебание верхней части первой опоры, вторая — колебание верхней части второй опоры.

Известно, что при землетрясениях математическое ожидание перемещений верхней части опоры равно нулю, поскольку вероятность

колебаний в противоположных направлениях одинакова, а величина перемещений в основном определяется дисперсией данной случайной функции, то есть рассеянием перемещений относительно исходного положения. При суммировании перемещений и усилий по формам колебаний в ЛСМ предполагается, что складываемые величины (перемещения, ускорения) являются случайными функциями с нулевым математическим ожиданием. Расчетная сила при этом определяется среднеквадратическим отклонением данной величины.

Для дальнейшего анализа выделим переносную составляющую (смещение основания) и относительную часть перемещения опоры; тогда искомое перемещение может быть выражено следующим образом:

$$\Delta(t) = U_i - U_j, \quad (3)$$

Здесь,  $U_i = u_i + y_i$  – полное смещение верхней части  $i$ -й опоры,  $u_i$  – приведенное перемещение  $i$ -й опоры (перемещение основания),  $y_i$  – относительное смещение  $i$ -й опоры,  $U_j = u_j + y_j$  – полное смещение верхней части  $j$ -опоры.

Максимум смещений  $\Delta_{max}$  :

$$\Delta_{max} \leq |U_i| + |U_j| = |u_i + y_i| + |u_j + y_j| \quad (4)$$

При независимых перемещениях опор, то есть когда  $M[U_i U_j] = 0$ , оценка взаимного перемещения определяется по формуле (5).

$$\Delta = \sqrt{U_i^2 + U_j^2} \quad (5)$$

Здесь,  $M[a]$  – заданное математическое ожидание величины  $a$ .

Если перемещения опор взаимосвязаны, то есть ( $M[U_i \cdot U_j] \neq 0$ ), то необходимо вычислить разность перемещений с учетом коэффициента корреляции. В общем случае, расчетное значение фактора  $\Phi_i$  для суммы  $n$  случайных процессов определяется по следующей формуле:

$$\Phi_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \cdot \phi_{ik} \cdot \varepsilon_{kj}} \quad (6)$$

Здесь,  $\phi_{ik}$  – значение  $i$ -фактора, образованного от  $k$ -й нагрузки,  $\varepsilon_{kj}$  – Коэффициент корреляции процесса.

Поскольку перемещение определяется первой формой колебаний, отпадает необходимость вычислять сумму по формам колебаний. В результате мы получаем следующее:

$$\sigma_{\Delta}^2 = \sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2(\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j} \cdot \varepsilon_{u_i u_j} + \sigma_{u_i} \cdot \sigma_{y_j} \cdot \varepsilon_{u_i y_j} + \sigma_{u_j} \cdot \sigma_{y_i} \cdot \varepsilon_{u_j y_i} + \sigma_{y_i} \cdot \sigma_{y_j} \cdot \varepsilon_{y_i y_j}) \quad (7)$$

Здесь через  $\sigma_i$  выражено среднеквадратичное отклонение полного смещения  $U_i$ .

Обычно коэффициенты корреляции  $\varepsilon$  определяются при предположении стационарности (устойчивости) процессов. При этом каждый процесс характеризуется своей спектральной плотностью. В нашем случае

спектральные плотности колебаний под опорой  $S_{u_i}(\omega) = S_i(\omega)$ ,  $S_{u_j}(\omega) = S_j(\omega)$  и взаимную спектральную плотность  $S_{u_i u_j}(\omega) = S_{ij}(\omega)$ .

Коэффициенты корреляции  $\varepsilon_{u_i u_j}$ ,  $\varepsilon_{u_i y_j}$  и  $\varepsilon_{y_i y_j}$  выражается через корреляционную функцию  $K(\tau)$  ли через спектральную плотность  $S(\omega)$ . Например, коэффициенты корреляции для процессов  $y_0$  и  $y_j$ :

$$\varepsilon_{y_0 y_j} = \frac{K_{y_0 y_j}(0)}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_{y_0 y_j}(\omega) d\omega}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} \quad (8)$$

В нашем случае взаимная спектральная плотность показывает связь между спектром Фурье смещения основания под j-ой опорой  $W_{y_{0j}}(\omega)$  и спектром Фурье  $W_{y_j}(\omega)$  смещения верхней части опоры. Для определения спектра Фурье смещения верхней части j-й опоры  $W_{y_j}(\omega)$  учитываем, что функция  $y(t)$  является решением дифференциального уравнения и определяется первой формой колебаний, то есть:

$$\ddot{y} + \gamma k \dot{y} + k^2 y = \eta \ddot{y}_0, \quad (9)$$

Здесь  $k$  – частота колебаний опоры по первой форме колебаний,  $\gamma$  – коэффициент неупругого сопротивления по первой форме колебаний,  $\eta$  – коэффициент распределения нагрузок по первой форме колебаний.

Спектр Фурье для функции  $y_j$  имеет следующий вид:

$$W_{y_j} = \frac{W_{\ddot{y}_{0j}} \cdot \eta}{k_j^2 - \omega^2 + i\gamma_j k_j \omega} = \frac{\omega^2 W_{y_{0j}} \cdot \eta}{H_j}; \quad (10)$$

Здесь  $H_j = k_j^2 - \omega^2 + i\gamma_j k_j \omega$ ;

Следует также подчеркнуть, что спектр выходного сигнала  $S_y$  связан со спектром входного сигнала  $S_{\ddot{y}_0}$  известным нам соотношением.

$$S_y(\omega) = |\Phi(\omega)|^2 \cdot S_{\ddot{y}_0}(\omega) \cdot \eta = A(\omega) \cdot S_{y_0}(\omega) \cdot \omega^4 \cdot \eta \quad (11)$$

Здесь  $\Phi(\omega) = \frac{1}{H}$  - Передаточная функция от ускорений основания при передаче выражения (11); при передаче от смещения основания  $\Phi(\omega) = \frac{\omega^2}{H}$ ;

$A(\omega) = \frac{1}{(k_j^2 - \omega^2)^2 + (\gamma_j k_j \omega)^2}$  – Амплитудно-частотная характеристика уравнения (11) для j-й опоры.

При этом взаимная спектральная плотность  $S_{y_0 y_j}$  определяется следующим образом:

$$S_{y_0 y_j}(\omega) = S_{y_0}(\omega) \cdot \bar{\Phi}_j(\omega) \quad (12)$$

Подставляя (12) в (8):

$$\varepsilon_{y_0 y_j} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_{y_0} \omega^2 \cdot \eta}{H_j} d\omega}{\sigma_{y_0} \cdot \sigma_{y_j}} \quad (13)$$

Как видно из формулы (7), необходимо вычислить следующие четыре коэффициента корреляции:  $\varepsilon_{u_i u_j}$ - между колебаниями точек земной поверхности под опорами,  $\varepsilon_{y_i y_j}$ - между колебаниями верхних частей опор,  $\varepsilon_{u_i y_j}$ - между колебаниями точек земной поверхности и колебаниями верхней части одной опоры, а также  $\varepsilon_{u_j y_i}$ - между колебаниями точек земной поверхности под одной опорой и колебаниями верхней части другой опоры.

$\varepsilon_{u_i u_j}$ - Коэффициент корреляции между колебаниями точек земной поверхности под опорами:

$$\varepsilon_{u_i u_j} = \frac{K_{u_i u_j}(0)}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S_{u_i u_j}(\omega) d\omega}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{u_j}} \quad (14)$$

$\varepsilon_{y_i y_j}$ - Коэффициент корреляции между колебаниями верхних частей соседних опор:

$$\varepsilon_{kj} = \frac{2\sqrt{\gamma_k \cdot \gamma_j \cdot (K_k)^3 \cdot (K_j)^3 \cdot (K_k \cdot \gamma_k + K_j \cdot \gamma_j)}}{(K_k + K_j)^2 \cdot (K_k - K_j)^2 + (K_k \cdot K_j) \cdot \left[ (K_k)^2 + (K_j)^2 \right] \cdot \gamma_k \cdot \gamma_j + (K_k \cdot K_j) \cdot \left[ (\gamma_k)^2 + (\gamma_j)^2 \right]} \quad (15)$$

$\varepsilon_{u_i y_j}$  и  $\varepsilon_{y_i u_j}$ - Коэффициенты корреляции колебаний основания и верхней части опоры:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{u_i y_j} = \frac{K_{u_i y_j}(0)}{\sigma_{u_i} \cdot \sigma_{y_j}} &= \frac{\sigma_0^2 \cdot \eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sigma_0^2 \sqrt{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} \cdot x^4 dx}} = \frac{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot \frac{k_j}{(\omega_2 - \omega_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} \cdot x^4 dx}} \\ &= \frac{\eta \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)} \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} \cdot x^4 dx}} = \frac{\eta \cdot \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^2(1-x^2)}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} dx}{\sqrt{\eta \cdot (x_2 - x_1) \int_{\frac{\omega_1}{k_j}}^{\frac{\omega_2}{k_j}} \frac{x^4}{[(1-x^2)^2 + (\gamma_j x)^2]} \cdot x^4 dx}} \quad (16) \end{aligned}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Оценка перемещений опор разрезных балочных мостов

Расчетное смещение	Номер опоры	Величина перемещения, см
Смещение основания	N <sub>1</sub>	10,3
	N <sub>2</sub>	10,8
Относительное смещение верхней части опоры	N <sub>1</sub>	26.8
	N <sub>2</sub>	2.3
Полное смещение	N <sub>1</sub>	36.1
	N <sub>2</sub>	20.0
Оценка верхней части	-	56.1
взаимное смещение точек основания в некоррелированном состоянии при $\epsilon=0$	-	14,92
Взаимное перемещение верхних частей опор в некоррелированном состоянии при $\epsilon=0$	-	28,33
Взаимное смещение точек основания с учетом корреляции в случае белого шума	-	4.033
Взаимное смещение верхних частей опоры с учетом корреляции в случае белого шума	-	27.93

Расчеты показали, что при синхронном восприятии сейсмических воздействий внутренние усилия и перемещения в опорах недооцениваются по сравнению с реальным состоянием. Это может приводить к сходу пролетных строений с опор. При этом установлено, что горизонтальные смещения опор при сильных землетрясениях могут достигать 0,50 м (при смещении основания опоры 10,3–10,8 см), а при сейсмических воздействиях интенсивностью более 8 баллов — до 0,70 м.

В четвертой главе диссертации «Совершенствование методов расчета неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия с учетом асинхронных возмущений их опор» проведены исследования сейсродинамического состояния неразрезных балочных мостовых сооружений. Для решения проблемы значительных смещений опорных частей использованы резинометаллические опорные части (РОЧ), объединяющие опоры в единую рамную систему.

В результате численных расчетов установлено, что асинхронность поля ускорений при сейсмических воздействиях приводит к неравномерному распределению внутренних усилий и перемещений в опорах и пролетных строениях. С применением предложенного расчетного подхода обеспечена возможность определения опасных сечений и зон возникновения максимальных перемещений, которые не выявляются традиционными методами.

Также обоснована возможность оптимизации конструктивных решений и достижения значительного экономического эффекта в результате внедрения разработанных методов в практику проектирования.

В таблице 2 приведены различия между традиционным методом расчета неразрезных балочных мостов на сейсмические нагрузки и предлагаемым методом:

Сравнение традиционного и предлагаемого методов расчёта мостов на сейсмические воздействия

Наименование фактора	Нормативный метод	Наименование фактора	Предлагаемый метод
Уравнение колебаний	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Z}} + \mathbf{R}\mathbf{Z} + \mathbf{C}\mathbf{U} = 0$ <p>Здесь <math>\mathbf{M}</math> – матрица инерции; <math>\mathbf{R}</math> – матрица жесткости; <math>\mathbf{Z}</math> – полное смещение системы; <math>\mathbf{C}</math> – <math>\mathbf{U}</math> – матрица сил по направлению обобщенных координат, образованная в результате смещения основных узлов</p>	Уравнение колебаний	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Z}} + \mathbf{R}\mathbf{Z} + \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 = 0$ <p>Здесь <math>\mathbf{Y}_0</math> – Вектор перемещения опорных узлов. В нашем случае, в отличие от вектора <math>\mathbf{U}</math>, он состоит из трех элементов</p>
Перемещение системы	$\mathbf{Z} = \mathbf{Y} + \mathbf{U}$ <p>Здесь <math>\mathbf{Y}</math> – относительное смещение точек сооружения; <math>\mathbf{U}</math> – приведенное смещение сооружения за счёт смещения основания</p>	Перемещение системы	$\mathbf{Z} = \mathbf{Y} + \mathbf{W}$ <p>Здесь <math>\mathbf{Y}</math> – относительное смещение или перемещение относительно возникших перемещений невесомой системы; <math>\mathbf{W}</math> – Перемещение опоры, статическое смещение невесомой конструкции под воздействием <math>\mathbf{Y}_0</math></p>
перемещения узлов основания	$\mathbf{U} = \mathbf{V}_p \cdot \mathbf{u}_0$ <p>Здесь <math>\mathbf{V}_p</math> – проекция вектора воздействия в направлении обобщённых координат; <math>\mathbf{u}_0</math> – смещение основания, одинаковое для всех опорных узлов</p>	Статическое смещение для невесомой конструкции	$\mathbf{W} = -\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0$
при отсутствии напряжений в узлах основания, т.е. при $\mathbf{R}\mathbf{Y}=\mathbf{0}$ и $\mathbf{C}\mathbf{U}=\mathbf{0}$	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} = -\mathbf{M}\mathbf{V}_p\ddot{\mathbf{u}}_0$	Если подставить выражение для статического смещения для невесомой конструкции в выражение для смещения системы	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} - \mathbf{R}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\mathbf{Y}_0 + \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 = 0$ $\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} - \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 + \mathbf{C}\mathbf{Y}_0 = \mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} - \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 + \mathbf{R}\mathbf{Y} = 0$
При наличии внутреннего затухания	$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{Y}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} = -\mathbf{M}\mathbf{V}_p\ddot{\mathbf{u}}_0$		$\mathbf{M}\dot{\mathbf{Y}} + \mathbf{R}\mathbf{Y} = \mathbf{M}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\dot{\mathbf{Y}}_0$ $\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{\Xi}$
При использовании спектрального метода (ЛСМ) для вычислений	$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{\Xi}$ <p>Здесь <math>\mathbf{X}</math> –собственная матрица векторов матрицы <math>\mathbf{M}^{-1}\mathbf{R}</math>; <math>\mathbf{\Xi}</math> –</p>	С учётом силы трения внутри материала	$\ddot{\mathbf{\Xi}} + \mathbf{G}\mathbf{K}\dot{\mathbf{\Xi}} + \mathbf{K}^2\mathbf{\Xi} = \mathbf{X}^{-1}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0$

Наименование фактора	Нормативный метод	Наименование фактора	Предлагаемый метод
	вектор новых (основных) координат		
С учётом силы трения внутри материала	$\ddot{\mathbf{E}} + \mathbf{G}\dot{\mathbf{E}} + \mathbf{K}^2\mathbf{E} = -\mathbf{X}^{-1}\ddot{\mathbf{U}}$ <p>Здесь <math>\mathbf{K} = \sqrt{\Lambda}</math> – частота колебаний; <math>\mathbf{G} = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n]</math> – спектр демпфирования; <math>\gamma_j</math> – модальное значение затухания</p>	Предлагаемое уравнение колебаний	$\mathbf{X}^{-1}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}\ddot{\mathbf{Y}}_0 = (\dots d_j \dots)^T$

Существенное различие между нормативным и предлагаемым методами заключается в том, что в нормативном методе сооружение перемещается под действием вектора смещения основания как единое жесткое тело, и при этом в нем не возникают дополнительные напряжения, тогда как в предлагаемом методе перемещения носят неравномерный характер и возникают дополнительные напряжения, обусловленные статическим смещением опор.

Ниже приведены данные об экономической эффективности строительства предлагаемым способом. В таблице 3 представлены затраты на строительство моста, спроектированного на основе традиционного подхода.

Таблица 3

#### Расходы на устройство свайных фундаментов сооружений

Виды затрат	Затраты на использование свайных оболочек в промежуточном опорном фундаменте сооружения, сум		
	за 1 штуку	расположенный в ростверке	для 2 промежуточных опорных фундаментов
Затраты труда рабочих	8110085	40550425	81100850
Машины и механизмы	26193573.98	130967869.9	261935739.8
Материал	60430970	302154850	604309700
Транспорт	3021548.5	15107742.5	30215485
Расходы на хранение	1208619.4	6043097	12086194
Затраты строительной организации	17091220.42	85456102.11	170912204.2
<b>Итого</b>	<b>116056017.3</b>	<b>580280086.5</b>	<b>1160560173</b>

В таблице 4 приведены затраты на строительство моста, спроектированного на основе предлагаемого метода.

Экономическая эффективность выбранных конструктивных решений с учетом асинхронных сейсмических колебаний между опорами мостового сооружения, расположенного на участке 181,278 км автомобильной дороги 4П 40 Даштабад-Зомин-Бахмал-Галляарал, оценивается следующим образом.

*Показатель экономической эффективности определяется следующим выражением:*

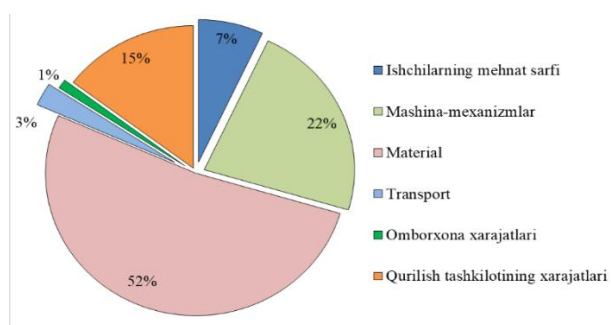
$$E = (1 - (\Delta C / C_0)) \cdot 100\% \quad (17)$$

Здесь  $C_0$  - Общая стоимость строительства по базовому проекту, тыс. сумов;  $\Delta C$  - Сумма экономии, достигнутая в результате усовершенствованного проекта (решения с учетом асинхронных возмущений), тыс. сумов.

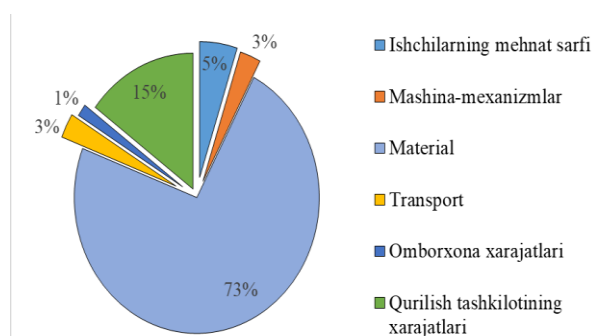
Таблица 4

**Экономическая эффективность, достигнутая в результате микросейсмического районирования**

Виды затрат	Сумма затрат при строительстве фундаментов, сум		
	С свайными оболочками	С неглубокими фундаментами	Разница расходов
Затраты труда рабочих	40550425	7992461.27	32557963.73
Машины и механизмы	130967869.9	4428023.4	126539846.5
Материал	302154850	118022157	184132693
Транспорт	15107742.5	4720886.28	10386856.22
Расходы на хранение	6043097	2360443.14	3682653.86
Затраты строительной организации	85456102.11	23750389.8	61705712.3
<b>Итого</b>	<b>580280086.5</b>	<b>161274361</b>	<b>419005725.6</b>



**Рисунок 9. Распределение затрат на строительство моста, спроектированного традиционным методом**



**Рисунок 10. Распределение затрат на строительство моста, спроектированного по предлагаемому методу**

В результате индивидуального учета различных грунтовых условий под опорами в процессе проектирования возможно сэкономить до 419,0 млн сумов материальных ресурсов за счет оптимизации проектирования фундаментов промежуточных опор мостового сооружения, расположенного на участке 181,278 км автомобильной дороги 4Р40 «Даштобод–Зомин–Бахмал–Галляарал».

## ВЫВОДЫ

На основе результатов проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему: “Совершенствование методов расчета мостов на сейсмические воздействия при различных возмущениях опор” представлены следующие выводы:

1. При расчете мостовых сооружений на сейсмические нагрузки с учетом рельефа строительной площадки и неоднородности поля ускорений на основе численного микросейсмического районирования обоснована необходимость учета корреляции между опорами при воздействиях, опасных

по частотным характеристикам для рассматриваемого сооружения. При этом установлено, что в расчетах следует учитывать не воздействия, вызывающие наибольшую асинхронность, а спектральные состояния, представляющие наибольшую опасность для сооружения.

2. Неоднородность поля ускорений в пределах мостового перехода обусловлена разнообразием грунтовых условий и конечной скоростью распространения сейсмических волн. Воздействия, связанные с характеристиками грунтов и факторами рельефа, как правило, оказывают взаимно противоположное влияние. В рассматриваемом случае доказано, что **различие максимальных ускорений не превышает 20%**. В то время как согласно действующим нормативным документам, в зависимости от грунтовых условий данный показатель может изменяться до **двухкратной величины**.

3. Для разрезных балочных мостов учет неоднородности поля ускорений имеет существенное значение. Раздельный расчет напряжений в каждой опоре может оказаться достаточным, однако разрушения мостов при сильных землетрясениях в основном происходят вследствие значительных взаимных смещений опорных частей. В связи с этим при оценке хода опорных частей необходимо учитывать **асинхронность поля ускорений**.

4. Для предотвращения чрезмерных смещений опорных частей и возможного падения пролетных строений с опор разработан усовершенствованный вариант линейно-спектрального метода расчета разрезных балочных мостов, позволяющий точно учитывать неоднородность поля ускорений по длине моста. Установлено, что при сейсмических воздействиях интенсивностью **до 8 баллов** величина взаимных смещений не превышает **20 см** (при этом смещение основания опоры составляет порядка **10,3–10,8 см**), что допускает принятие гипотезы о статистической независимости колебаний. Однако при воздействиях интенсивностью **9 баллов** взаимные смещения опор могут существенно возрасти.

5. Для неразрезных или объединенных мостов основной проблемой является отсутствие единого значения максимальных ускорений и единой расчетной спектральной кривой. При расчете неразрезных балочных мостов на сейсмические воздействия **усовершенствован метод распределения напряжений в сооружении отдельно по формам колебаний и движениям каждой опоры с учетом корреляции между опорами**. Особенно для сейсмических воздействий интенсивностью 9 баллов научно обоснована необходимость определения указанных параметров на сейсмологической основе.

6. Предложенный метод с учетом микросейсмического районирования территории и грунтовых условий позволяет оптимизировать расход строительных материалов. Согласно расчетам, применение данного подхода обеспечивает сокращение затрат на строительство и проектирование по сравнению с традиционными методами **до 419,0 млн сумов**, что подтверждает высокую экономическую эффективность разработанного метода в практическом применении.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.10/2025.27.12.T.01.01 ON AWARDING  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TRANSPORT  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

**GULOMOV DOSTON INOMJON OGLI**

**IMPROVEMENT OF METHODS FOR CALCULATING BRIDGES  
UNDER SEISMIC LOADS CONSIDERING VARIOUS SUPPORT  
DISTURBANCES**

**05.09.02 – “Geotechnics” (Bridges, transport tunnels and subways)**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2026**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.4.PhD/T6269.**

The dissertation has been prepared at the Tashkent state transport university.

The abstract of the dissertation is posted languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website ([www.tstu.uz](http://www.tstu.uz)) and the website of «ZiyoNet» information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific supervisor:** **Shermukhamedov Ulugbek Zabikhullayevich**  
doctor of science (DSc) on technical sciences,  
professor

**Official opponents:** **Akramov Khusniddin Akhrorovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Nishonov Ne'matilla Asatillaevich**  
doctor of philosophy (PhD) in technical sciences,  
senior researcher

**Leading organization:** **JSC «Uzogirsanoatloyiha» Institute**

The defense of the dissertation will take place on «2» may 2026 at 11<sup>00</sup> at the meeting of Scientific Council DSc.10/2025.27.12.T.01.01 at Tashkent state transport university (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-00-01, fax: (99871) 293-5754, e-mail: [rectorat@tstu.uz](mailto:rectorat@tstu.uz)., [tashiit@exat.uz](mailto:tashiit@exat.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent state transport university (Registration number № 341). (Address: 1, Temiryo'Ichilar str., Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+998 71) 299-05-66)

Abstract of the dissertation sent out on «15» april 2026 year  
(mailing report № 36 on «15» april 2026 year).

**A.I. Adilkhodjayev**  
Chairman of the Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

**N.R. Muxammadiyev**  
Scientific secretary of the Scientific Council  
for the awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, associate professor

**A.A. Ishankhodjayev**  
Chairman of the scientific seminar of the  
Scientific Council for the awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research** is to increase the seismic resistance of transport structures and to improve methods for calculating seismic impacts, taking into account the location of bridge supports in various soil conditions.

**Research objectives:**

- analysis of methods for calculating long-span multi-span structures;
- scientific justification of the need to take into account the heterogeneity of the acceleration field along the length of the bridge structure;
- improvement of methods for calculating intersection beam bridges for seismic impacts during various types of support displacements;
- development of a method for assessing the displacements of the supporting parts of intersecting beams, taking into account the correlation between them;
- improvement of methods for calculating continuous beam bridges for seismic impacts, taking into account the asynchronous movements of their supports.

**The object of the research** is reinforced concrete beam bridge structures designed in seismically active regions of the Republic of Uzbekistan.

**The subject of the research** is the structural elements of intermittent and continuous reinforced concrete beam bridge structures on roads in the seismic conditions of the Republic of Uzbekistan, as well as the physical and mechanical characteristics of the span structures, supports, foundations, and soils to ensure their seismic resistance.

**Research methods.** The research employed methods of structural mechanics, vibration theory, mathematical modeling, seismic resistance assessment of buildings and structures, and linear spectral analysis techniques for seismic loading.

**The scientific novelty of the study is as follows:**

The necessity of accounting for the correlation between supports under frequency-dependent seismic actions critical to the structure under consideration has been substantiated based on numerical microzonation, taking into account construction site topography and the spatial non-uniformity of the acceleration field;

It has been demonstrated that differences in bridge support motions caused by non-uniform topography and heterogeneous soil conditions tend to compensate each other. Even with significant spatial non-uniformity of the acceleration field along the bridge crossing, the resulting difference in peak ground accelerations does not reach the twofold value prescribed by design codes but amounts to approximately 20%;

Within the framework of existing approaches, an improved version of the linear spectral method has been developed for the seismic analysis of simply supported beam bridges. This method enables accurate consideration of spatial acceleration field non-uniformity along the bridge length to assess bearing displacements and prevent potential unseating of superstructures;

The method for the seismic analysis of continuous beam bridges has been enhanced through the separate distribution of stresses according to vibration modes

and the excitation of each individual support, with explicit consideration of inter-support correlation.

**Implementation of research results.** Based on the research conducted on improving methods for calculating the seismic resistance of bridges under various types of support displacements:

As a result of numerical studies performed using the improved linear spectral analysis method, the necessity of accounting for the asynchrony of the acceleration field in the seismic analysis of simply supported beam bridges has been scientifically substantiated. The developed approach has been implemented in the design practice of the state institution “Sharof Rashidov District Road Maintenance Authority” (reference dated December 25, 2025). The results showed that the difference in accelerations is not equivalent to 2 intensity points according to ShNK 2.01.20-16, but amounts to only about 20%;

In the design and construction of a simply supported beam bridge located at km 181.278 of the 4P40 Dashtobod–Zomin–Bakhmal–Gallaorol highway, taking into account the microseismic zoning of the site, local terrain characteristics, and soil conditions, the research results were implemented in the practical activities of the “Sharof Rashidov District Road Maintenance Authority” (reference of the Ministry of Transport of the Republic of Uzbekistan No. 4/E91 dated January 21, 2026). As a result, it became possible to reduce excessive safety factors in structural elements and optimize material consumption. The application of the proposed approach allows reducing design and construction costs by 72.2% compared to traditional methods, amounting to savings of up to 419.0 million UZS.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total length of the dissertation is 116 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (I часть; I part)**

1. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I. Uzunligi katta bo'lgan ko'p oraliqli konstruksiyalarni seysmik kuchlanishlarga hisoblash uslublarining tahlili // "Journal of transport" ilmiy-texnik va ilmiy-innovatsion jurnal, volume 2, Issue 3, Tashkent. 2025. -177-182 b. (05.00.00; №16).

2. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I. Bo'ylama o'lchamlari katta bo'lgan inshootlarni loyihalashda uzunligi bo'yicha tezlanish maydonining nojinsligini baholashning ba'zi xususiyatlari // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №1, SamDAQU. 2025. -165-168 b. (05.00.00; №14).

3. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I. Analysis of the planned preventive service in ensuring the operational reliability of bridge structures // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №1, SamDAQU. 2024. -332-334 b. (05.00.00; №14).

4. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I. Avtoyo'l ko'priklarining optimal konstruktiv yechimlarini ishlab chiqishdagi optimallashtirish uslublari va ularning mohiyati // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №3, SamDAQU. 2023. -148-150 b. (05.00.00; №14).

5. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I. Avtoyo'l ko'priklarining narxi va atrof-muhitga ta'sirini hisobga olib ularning optimal konstruktiv yechimlarini ishlab chiqish masalasining tahlili // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №1, SamDAQU. 2023. -226-228 b. (05.00.00; №14).

6. G'ulomov D.I., Mo'minov A.U. Temir beton ko'priklar oraliq qurilmalarini kuchaytirish usullarini tahlil qilish // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №3, SamDAQU. 2022. -75-77 b. (05.00.00; №14).

7. G'ulomov D.I. Ko'priklarni boshqarish bo'yicha dunyoda qo'llanilayotgan usullar // "Me'morchilik va qurilish muammolari" ilmiy-texnik jurnal, №4, SamDAQU. 2021. -149-150 b. (05.00.00; №14).

8. Шермухамедов У.З., Гуломов Д.И. Теоретический анализ учета неоднородности поля ускорений при сейсмическом воздействии на протяжённые сооружения // Молодой специалист. – 2023. – Вып. 2. – №18. – С. 58-69. (Scientific Journal Impact Factor: 5.632; OAK 3-bet, 05.00.00; №23, SJIF)

9. Ganiev I.G., G'ulomov D.I., Ravshanova D.I. Ensuring Transport Safety of Bridges // "European journal of life safety and stability" International scientific journal. Volume 18, April -2022. -p. 279-284. (Scientific Journal Impact Factor: 5.677; OAK 3-bet, 05.00.00; №23, SJIF).

**II bo'lim (II часть; II part)**

10. Shermuxamedov U.Z., G'ulomov D.I., Xakimova Y.T. Ko'priklarni seysmik ta'sirlarga hisoblash usulini ularning tayanchlari turli xildagi grunt

sharoitlarida joylashganligini hisobga olgan holda ishlab chiqish // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi, № DGU 54932. 02.10.2025 y.

11. Shermuxamedov U.Z., G‘ulomov D.I., Xakimova Y.T. Uzun ko‘prik inshootlarini seysmik ta’sirlarga tezlanishlar maydonining nosinxronligini inobatga olib hisoblash // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi, № DGU 54933. 02.10.2025 y.

12. Okilov Z.O., Ganiyev I.G., G‘ulomov D.I., Zafarov O. Sanoat chiqindi shlaki asosidagi piyoda yo‘l yo‘l to‘shamalari uchun materiallar tarkibini takomillashtirish // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi, № DGU 28568. 29.10.2023 y.

13. Aleksandr Uzdin, Ulugbek Shermukhamedov, Ziyovuddin Rakhimjonov, Doston Gulomov. Amplitude-frequency response of seismic-isolated highway bridges at different combinations of span links // AIP Conference Proceedings. 3265, 030003 (2025). (OAK 3-bet, 05.00.00; №3, Scopus).

14. Olmos Zafarov, Doston G‘ulomov, Zuxriddin Murodov. Conducting engineering-geological researches on bridges located in our country and diagnosing their super structures, methods of eliminating identified defects // AIP Conference Proceedings. 23 June 2023; 2789 (1): 040079. (OAK 3-bet, 05.00.00; №3, Scopus).

15. G‘ulomov D.I. Ko‘priklarning hayot sikli narxini tahlil qilish va tejamkor ta’mirlash usullarini ishlab chiqish // “Transportda resurs tejamkor texnologiyalar”. Xorijiy olimlar ishtirokidagi xalqaro ilmiy – texnika anjumani, Toshkent, TDTrU. 2023, 20-21-dekabr. -332-335 b.

16. G‘ulomov D.I. Ko‘priklar holatini monitoring qilishning zamonaviy tendensiyalari // “Fan va innovatsiya – 2023: rivojlanish va ustuvor yo‘nalishlari”. Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjuman, Namangan, NamMQI. 2023, 20-22-oktabr. -109-112 b.

17. G‘ulomov D.I. Echelsbacher ko‘prigining texnik holatini tiklash ishlari tahlili // “Ishlab chiqarishning texnik, muhandislik va texnologik muammolarining innovatsion yechimlari”. Xalqaro miqyosidagi ilmiy-texnik anjuman, Jizzax, JizPI. 2022, 28-29-oktabr. -386-388 b.

18. G‘ulomov D.I. Eskirgan loyihalash me’yorlariga ko‘ra loyilangan ko‘prik oraliq qurilmasini diagnostika qilish hamda defektlarni bartaraf etishning ratsional usullari // “Zamonaviy tadqiqotlar, innovatsiyalar, texnika va texnologiyalarning dolzarb muammolari va rivojlanish tendensiyalari”. Respublika miqyosidagi ilmiy-texnik anjuman, Jizzax, JizPI. 2022, 8-9-aprel. -231-216 b.

19. Ганиев И.Г., Гуломов Д.И. Опыт эксплуатации мостов в странах европейского союза // “Транспорт: актуальные задачи и инновации”. Международная научно-техническая конференция, Ташкент, ТГТУ. 2021, 22 апреля. -168-177 с.

Avtoreferat “ToshDTU xabarları” ilmiy-texnik jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlari o‘zaro muvofiqlashtirildi

Qog‘oz bichimi 60x84<sup>1/16</sup>. Raqamli bosma usuli. Times garniturası.  
Shartli bosma tabog‘i: 3 b.t. Adadi: 60 nusxa. Buyurtma № 44-24/2026  
Nashrga ruxsat etildi: 05.01.2026 y.  
“Ilm nuri print” MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: 130100, Jizzax sh., Qangli ko‘chasi, 20-uy.

