

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI**

**ORIPOV NOZIMJON KOMILOVICH**

**BINO-INSHOOTLARNI QURILISHINI HISOBGA OLGAN HOLDA  
QURILISH MAYDONLARIDA SEYSMIK TA'SIR O'ZGARISHINING  
XUSUSIYATLARI**

**04.00.06 – Geofizika. Foydali qazilmalarni qidirishning geofizik usullari**

**fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Toshkent-2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Oripov Nozimjon Komilovich**

Bino-inshootlarni qurilishini hisobga olgan holda qurilish maydonlarida seysmik ta'sir o'zgarishining xususiyatlari.....3

**Орипов Нозимжон Комилович**

Особенности изменения сейсмических воздействий на строительных площадках с учетом застройки зданий и сооружений.....21

**Oripov Nozimjon Komilovich**

Characteristics of seismic impact variations at construction sites considering the construction of buildings and structures.....41

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ

List of published works.....45

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**SEYSMOLOGIYA INSTITUTI**

**ORIPOV NOZIMJON KOMILOVICH**

**BINO-INSHOOTLARNI QURILISHINI HISOBGA OLGAN HOLDA  
QURILISH MAYDONLARIDA SEYSMIK TA'SIR O'ZGARISHINING  
XUSUSIYATLARI**

**04.00.06 – Geofizika. Foydali qazilmalarni qidirishning geofizik usullari**

**fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Toshkent-2025**

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2025.1.PhD/FM1218 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Seysmologiya institutida bajarilgan.

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

**Ilmiy rahbar:**

**Ismailov Vaxitxan Alixanovich**

geologiya-mineralogiya fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Ibragimova Tatyana Lyudvigovna**

fizika-matematika fanlari doktori

**Nurtayev Baxtiyor Sayfullayevich**

fizika-matematika fanlari nomzodi

**Yetakchi tashkilot:**

**Toshkent arxitektura qurilish universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Seysmologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil «23» dekabr soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100128, Toshkent shahar, Zulfiyaxonim ko'chasi, 3-uy; Tel.: +99871 241-51-70; +99871 241-74-98; e-mail: [seismologiya@mail.ru](mailto:seismologiya@mail.ru)).

Dissertatsiya bilan Seysmologiya institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 1160 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100128, Toshkent shahar, Zulfiyaxonim ko'chasi, 3-uy; Tel.: +99871 241-51-70.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «5» dekabr kuni tarqatildi.  
(2025 yil «5» dekabrda 19-raqamli reyestr bayonnomasi)



**S.X. Maksudov**

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash raisi,

f.-m.f.d., professor

**Z.F. Shukurov**

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash ilmiy kotibi,

g.-m.f. bo'yicha falsafa doktori (PhD)

**A.I. Tuychiyev**

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash qoshidagi

Ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d.

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

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahon amaliyotida seysmik faol hududlarda urbanizatsiya jarayonlarining jadal rivojlanishi seysmik xavfsizlik muammolarini hal etishni yanada dolzarb masalaga aylantirmoqda. Xususan, bino-inshootlarning zilzilabardoshliligini ta'minlash maqsadida qurilish maydonlarida seysmik ta'sirni aniqlash va baholashga alohida e'tibor qaratilmoqda. Shu munosabat bilan, qurilish maydonlarida bino-inshootlarni loyihalash va qurishda seysmik ta'sirni yanada ishonchli baholashga imkon beruvchi yangi yondashuvlarni ishlab chiqish va mavjud usullarni takomillashtirish ilmiy izlanishlarning samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Hozirda dunyoning rivojlangan mamlakatlarida grunt-inshoot tizimining o'zaro ta'sirlashuvini chuqur o'rganishga qaratilgan keng ko'lamli tadqiqotlar amalga oshirilmoqda. Ayniqsa, zich qurilish ishlari olib borilayotgan hududlarda ushbu izlanishlar zamin gruntlarining seysmik parametrlari o'zgarishini aniqlash, shuningdek grunt-inshoot tizimining zilzilaga nisbatan javob xususiyatlarini ishonchli baholashga ahamiyat berilmoqda. Grunt-inshoot tizimining raqamli modellarini yaratish, zamin gruntlarining chastotaviy javob spektrlari va tebranish xususiyatlarini hisoblash yuzaga kelishi mumkin bo'lgan xavf omillarini erta aniqlash imkonini bermoqda. Olingan amaliy natijalar seysmik xavfsizlik choralari takomillashtirishda hamda seysmik xatarni real sharoitda baholash jarayonlarida qo'llanilmoqda.

Respublikamiz seysmik faol mintaqada joylashgani va so'nggi yillarda qurilish hajmining jadal ortib borishi kuchli zilzilalar sodir bo'lganda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan iqtisodiy va ijtimoiy yo'qotishlar xavfini kamaytirish masalasini yanada dolzarb qilmoqda. Shu munosabat bilan, grunt-inshoot tizimini geofizik va instrumental-seysmometrik usullar asosida chuqur o'rganish, binolarning statik yuklamalari hamda zilzilalar ta'siri ostida zamin gruntlarining dinamik xususiyatlarida yuz beradigan o'zgarishlarni tahlil qilish, shuningdek geotexnik modellashtirish usullarini keng ko'lamda qo'llash bo'yicha tadqiqotlar respublika miqyosida faol olib borilmoqda. "O'zbekiston – 2030" strategiyasida «...rivojlangan davlatlarning bino-inshootlar bo'yicha qurilish xavfsizligi me'yorlari asosida yangi standartlarni joriy qilish...»<sup>1</sup> singari muhim maqsadlar belgilangan. Bino-inshootlar qurilishi bilan bog'liq seysmik ta'sir o'zgarishlarini tahlil qilish, grunt-inshoot tizimining tebranish xususiyatlarini chuqur o'rganish hamda ularning dinamik ta'sirini baholash seysmik xavfsizlikni ta'minlash nuqtayi nazaridan muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-maydagi "O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini yanada takomillashtirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi PQ-158-son qarorining 1-ilovasi, 29-bandida belgilangan "Qurilish maydonlarida seysmik ta'sir va seysmik jadallik ko'rsatkichlarini kamaytirish usullarini ishlab chiqish" vazifalariga muvofiq, shuningdek, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 17-apreldagi "Bino va inshootlarning zilzilabardoshligini oshirish hamda seysmik xavfni monitoring qilish faoliyatini takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-161-son qarorining

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 11.09.2023 yildagi "O'zbekiston – 2030" strategiyasi to'g'risidagi PF-158-son Farmoni

1-ilovasi, 34-bandida belgilangan “Zamin poydevor gruntlarining seysmik mustahkamligini oshirish hamda qurilish maydonining seysmik jadalligi va seysmik tebranish parametrlarini kamaytirish usullarini ishlab chiqish va ularni tajriba sinovlaridan o‘tkazish” bo‘yicha topshiriqlarni bajarishga dissertasiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarni rivojlantirishning VIII – “Yer haqidagi fanlar” (geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xom ashyoni qayta ishlash) ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Bino-inshootlarning qurilishi natijasida seysmik ta’sirning o‘zgarishi va grunt-inshoot tizimining dinamik o‘zaro ta’sirlashuvi ko‘plab ilmiy tadqiqotlarning markazida bo‘lib kelmoqda. Ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlar zilzila vaqtida grunt-inshoot tizimining dinamik xatti-harakatini tahlil qilish, seysmik to‘lqinlarning tarqalish qonuniyatlarini aniqlash hamda bino va grunt o‘rtasidagi o‘zaro ta’sirni baholash masalalariga qaratilgan. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, inshootlarning mavjudligi gruntlarning tabiiy rezonans chastotasi, seysmik tebranish amplitudalari va grunt qatlamlarining deformatsion xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. H.B. Seed, I.M. Idriss, J. Lysmer, J.P. Wolf, G. Gazetas, A. Gomez-Masso, G. Mylonakis, Y. Nakamura, S.V. Medvedev, G.A. Dubrova, V.G. Bajenov, N.S. Dyukina, M.A. Abu Leyl kabi olimlarning ishlari zilzilalar vaqtida bino va grunt tizimining o‘zaro ta’siri mexanizmini ochib berishga qaratilgan. H.B. Seedning “Earthquake effects on soil-structure systems” ilmiy ishida grunt-inshoot tizimining zilzila vaqtida o‘zaro dinamik ta’siri chuqur tahlil qilingan. S.V. Medvedev, R.E. Tatevosyan, T.R. Rashidov, X.M. Mirzabayev, S.M. Kasimov, A. Jurayev va boshqalar tomonidan kuchli zilzilalarda binolarni shikastlanish darajasi zamin gruntlarining deformatsiyalanish darajasi bilan bog‘liqligi o‘rganib chiqilgan. G. Gazetas tomonidan grunt qatlamlarining seysmik xususiyatlari va bino-inshootlarning mavjudligi sharoitida seysmik to‘lqinlarning o‘zgarishi bo‘yicha fundamental tadqiqotlar olib borilgan. Shuningdek, D.N. Nizomov va V.G. Barannikovlar turli xil geologik sharoitlarda bino va inshootlarning dinamik tebranishlarini matematik modellar orqali tahlil qilgan.

So‘nggi yillarda Plaxis 3D, FLAC3D, ABAQUS kabi zamonaviy modellashtirish dasturlaridan foydalanilgan holda grunt-inshoot tizimining dinamik harakatini aniqlash, seysmik tebranishlarning inshoot poydevorlariga ta’siri va grunt qatlamlarining deformatsion o‘zgarishlarini tahlil qilish bo‘yicha ilmiy ishlar olib borilgan. F. Besseling va A. Lengkeek tomonidan Plaxis dasturidan foydalanib, zilzilalar sharoitida grunt-inshoot tizimini modellashtirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan.

O‘zbekistonda zilzilalar vaqtida bino va inshootlarning grunt qatlamlariga ta’siri, grunt qatlamlarining deformatsiyalanish xususiyatlari hamda inshootlarning seysmik chidamliligini oshirish bo‘yicha turli ilmiy yondashuvlar taklif qilingan. X.Z. Rasulov, N.G. Mavlyanova, V.A. Ismailov va A.X. Ibragimovlar tomonidan seysmik xavfni baholash va zilzilaga chidamli qurilish texnologiyalarini takomillashtirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilgan. T.R. Rashidov, U. Shamshiyev, Sh.A. Hakimov, B.S. Rahmonov, X. Sagdiyev, A.S. Yuvmitov va boshqalar bino-inshootlarning seysmik

tebranishi grunt-inshoot tizimi o'zaro ta'siriga bog'liqligini e'tirof etgan holda, ushbu omilni ularning zilzilabardoshlilikini baholashda inobatga olishni taklif qilgan. Ushbu tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, grunt-inshoot tizimining dinamik xususiyatlarini tahlil qilish, seysmik ta'sirning o'zgarishini baholash hamda zamonaviy modellashirish usullarini ishlab chiqish masalalari bugungi kunda ham dolzarb bo'lib qolmoqda.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Ushbu dissertatsiya tadqiqoti O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Seysmologiya instituti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq amalga oshirilgan bo'lib, "Yuqori qavatli binolarning seysmik riskini baholash metodikasini ishlab chiqish" (2023) mavzusidagi amaliy loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** qurilish maydonlarida bino-inshootlarning grunt qatlamiga ta'sirini hisobga olgan holda grunt-inshoot tizimining seysmik tebranish ko'rsatkichlarini o'zgarishini baholashdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari** quyidagilardan iborat:

zaif seysmik tebranishlar (mikrotremorlar) asosida grunt-inshoot tizimi va erkin maydondagi tebranishlarning kinematik parametrlarini aniqlash hamda ularning farqlarini taqqoslash;

sun'iy manba yordamida qo'zg'atilgan seysmik tebranishlar asosida binolar joylashgan qurilish maydonlarida seysmik energiyaning yutilish darajasini baholash;

bino-inshootlarning mavjudligi sharoitida qurilish maydonlari grunt qatlamlarining spektral xususiyatlarini o'rganish va ularning dinamik o'zgarishlarini baholash;

bino-inshootlar zamin gruntlarining seysmik jadallik orttirma qiymatlari hamda seysmik to'lqinlar tarqalish tezligining o'zgarishlarini aniqlash va tahlil qilish;

ilg'or kompyuter dasturlari yordamida grunt-inshoot tizimi va erkin maydonning 3D modellarini yaratish hamda ular asosida statik va dinamik ta'sirlardagi o'zgarishlarni baholash.

**Tadqiqotning ob'ekti** sifatida Toshkent shahri va Jizzax viloyatidagi qurilish maydonlarining grunt-inshoot tizimi tanlab olingan.

**Tadqiqotning predmeti** bino-inshootlar qurilishidan so'ng qurilish maydonlarida seysmik ta'sir va chastota xarakteristikalarining o'zgarishini eksperimental va nazariy baholashdan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Dissertatsiya ishida geofizik tadqiqot usullari, jumladan yuzaki to'lqinlarni ko'p kanalli tahlil qilish (MASW), mikrotremorlarning gorizontal va vertikal spektrlarining nisbati (HVSr) usullari hamda grunt-inshoot tizimining uch o'lchamli raqamli modellarini yaratishda PLAXIS 3D dasturida Mor-Kulon va HS-small modellaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

qurilish maydonlarida zilzila natijasida hosil bo'ladigan seysmik tebranish ko'rsatkichlarining bino-inshoot zamin gruntlariga ta'siri nazariy hamda eksperimental baholangan;

yuzaki to'lqinlar spektral tarkibining inversiyasi asosida bino zamin gruntlari va erkin maydondagi seysmik to'lqin tezliklarining chuqurlik bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi tezlik modellari ishlab chiqilgan;

grunt-inshoot tizimining 3D modellarida binolarning statik yuklamasi ta'siridagi gruntlarning seysmik xususiyatlari, jumladan, tezlik, tezlanish va siljish qiymatlarining kamayishi aniqlangan;

ilk bor qurilish maydonlarida qo'llaniladigan turli xil bino poydevorlarining (sayoz, chuqur, qoziqsimon) seysmik ta'sir darajasini kamaytirish xususiyati miqdoriy jihatdan baholangan.

#### **Tadqiqotning amaliy natijalari:**

bino-inshootlar qurilishidan so'ng qurilish maydonlarida seysmik tebranish parametrlarining o'zgarishi va seysmik energiyaning yutilish darajasi aniqlangan;

erkin maydon va bino-inshootlar ostidagi zamin grunt qatlamlarining spektral tarkibi tahlil qilinib, turli poydevor turlarining (sayoz, chuqur va qoziqsimon) dinamik javobga ta'siri baholangan;

bino-inshootlar qurilishi natijasida asos gruntlarida seysmik to'lqinlarning tarqalish tezligi va tebranish jadalligining o'zgarishi asosida hisobiy seysmiklikning kamayishi aniqlangan;

PLAXIS 3D dasturida erkin maydon va grunt-inshoot tizimining statik va dinamik ta'sir ostidagi deformatsiyaviy hamda zilzila ta'siriga javobini ifodalovchi uch o'lchamli (3D) modellari yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi:** Amalga oshirilgan tadqiqotlarning ishonchliligi Toshkent shahri va Jizzax viloyatida o'tkazilgan dala-kuzatuv tadqiqotlari hamda mavjud ma'lumotlar tahliliga asoslanadi. Xususan, 40 ta o'lchov punktida mikrotremor kuzatuvlari (HVSr usuli), 10 ta seysmik profil bo'yicha (MASW usuli) o'tkazilgan tadqiqotlar hamda ushbu hududlardagi 20 ta burg'u qudug'i ma'lumotlari va muhandis-geologik qirqim natijalari bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qurilish maydonlariga turli poydevor turlari (sayoz, chuqur va qoziqsimon) hamda har xil qavatga ega binolar qurilishi natijasida zamin gruntlarining seysmik tebranish xususiyatlarida yuzaga keladigan o'zgarishlarning geofizik usullar va uch o'lchamli raqamli modellashtirish asosida ilk bor majmuaviy tarzda baholanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati bino-inshootlar barpo etilgan qurilish maydonlarining seysmik energiyaning yutish qobiliyati va seysmik jadallik orttirma qiymatlariga ta'sirini hisobga olish zarurligi bilan asoslandi. Mazkur yondashuv seysmik xatarni baholashda yangi omillarni inobatga olish va zilzila ta'sirini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot natijalari bino qavatlari va poydevor turlariga qarab, zamin gruntlarida seysmik energiyaning yutilishi hamda jadallik orttirma qiymatlari o'zgarishlarini oldindan baholash imkonini beruvchi mezonlarni shakllantirishga xizmat qiladi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Bino-inshootlar qurilishi sharoitida qurilish maydonlarida seysmik ta'sirning o'zgarishini geofizik, instrumental-seysmometrik usullar hamda uch o'lchamli raqamli modellashtirish asosida baholash bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

qurilish maydonlarida kuchli zilzilalar natijasida yuzaga keladigan seysmik tebranish ko'rsatkichlarini eksperimental baholash metodikasi "GEOKADASTR" MCHJ amaliyotiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy



kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 11 fevraldagi 20-06/1627-sonli ma'lumotnomasi asosida). Ushbu natijalar bino-inshootlar zamin gruntlarining seysmik energiyani yutish xususiyatlarini samarali baholashda xizmat qilgan.

yuzaki to'liqlarning HVSR egri chizig'i inversiyasi asosida  $V_p$  va  $V_s$  to'liq tezliklarining chuqurlik bo'yicha taqsimotini aks ettiruvchi modellar "O'ZGASHKLITI" loyiha-qidiruv tashkiloti amaliyotiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025-yil 11-fevraldagi 20-06/1627-sonli ma'lumotnomasi asosida). Ushbu modellar qurilish maydonlarining seysmik tezlik parametrlarini samarali aniqlash imkonini bergan.

binolarning statik yuklamasi ta'sirida gruntlarning seysmik xususiyatlarini baholash uchun ishlab chiqilgan grunt-inshoot tizimining uch o'lchamli (3D) raqamli modellari "O'ZGASHKLITI" loyiha-qidiruv tashkiloti amaliyotiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025-yil 11-fevraldagi 20-06/1627-sonli ma'lumotnomasi asosida). Ushbu modellar tezlik, tezlanish va siljish parametrlarining kamayishini aniqlash imkonini bergan.

ilk bor qurilish maydonlarida qo'llaniladigan turli xil bino poydevorlarining (sayoz, chuqur va qoziqsimon) seysmik ta'sirni kamaytirish darajasi "ZANGIOTA HOUSE" MChJ amaliyotiga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025-yil 11-fevraldagi 20-06/1627-sonli ma'lumotnomasi asosida). Ushbu natijalar poydevor turlarining seysmik ta'sirni turlicha darajada kamaytirish samaradorligini miqdoriy baholash imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Mazkur tadqiqot natijalari 7 ta xalqaro va 2 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, ulardan 5 tasi maqola va 9 tasi tezisdan iborat. Shundan 5 tasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda, jumladan 4 tasi respublika, 1 tasi xorijiy ilmiy jurnalda e'lon qilingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa hamda foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Ishning umumiy hajmi 116 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

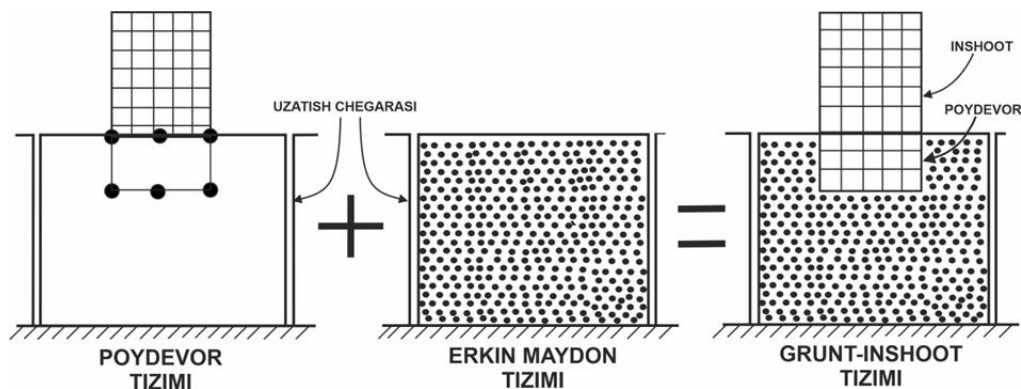
**Kirish qismida** o'tkazilgan tadqiqotning dolzarbligi va talabgirliigi, uning maqsad va vazifalari asoslab berilgan, tadqiqot ob'yekti va predmeti ta'riflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustivor yo'nalishlarga muvofiqligi ko'rsatib o'tilgan, tadqiqotning ilmiy yangilik ekanligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilinishi yoritib berilgan hamda nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «Qurilish maydonlarida bino-inshootlar ta'sirida shakllanuvchi va o'zgaruvchi seysmik omillarning ilmiy tadqiq etilganligi» deb

nomlangan birinchi bobida qurilish maydonlarida grunt-inshoot tizimi (SSI) dinamik o‘zaro ta’sirining ilmiy asoslari batafsil tahlil qilingan (1-rasm). Xorijiy va mahalliy tadqiqotlar asosida qurilish maydonlarida seysmik ta’sir parametrlari bino-inshootlarning uzoq muddatli ekspluatatsiyasi natijasida sezilarli darajada o‘zgarishi mumkinligi ko‘rsatilgan. 1960-1980-yillarda mazkur yo‘nalishda shakllangan fundamental nazariyalar, xususan, grunt va inshootlarning mexanik aloqalari hamda zilzila sharoitida ularning o‘zaro ta’sirlashuvi tadqiq etilgan. H.B. Seed, I.M. Idriss, J. Lysmer, J.P. Wolf, G. Gazetas, A. Gomez-Masso, G. Mylonakis, Y. Nakamura, S.V. Medvedev, G.A. Dubrova, V.G. Bajenov, N.S. Dyukina, R.E. Tetevasyan kabi xorijiy olimlarning ishlarida kinematik va inersiyal ta’sirlarning seysmik javob shakllanishidagi ahamiyati, Reley to‘lqinlari va rezonans holatlarning tahlili nazariy va amaliy modellar yordamida bayon etilgan.

Mahalliy tadqiqotlarda ham grunt-inshoot tizimi masalasi keng qamrovli ko‘rib chiqilgan bo‘lib, xususan, A. Jurayev tomonidan Gazli zilzilasiining grunt sharoitlariga bog‘liq ta’siri va bu jarayonning konstruktiv bir xil bo‘lgan binolarda turlicha shikastlanishlarni keltirib chiqarishi tadqiq qilingan. V.A. Ismailov tomonidan seysmik xavf va xavfni baholashning turli darajali metodikasi ishlab chiqilgan bo‘lib, grunt-inshoot tizimining dinamik ta’sirini aniqlash va baholashning ilmiy asoslarini boyitishga muhim hissa qo‘shgan. Shuningdek, B.S. Rahmonov va X. Sagdiyev tomonidan seysmik-portlash ta’sirlari ostida grunt-inshoot tizimidagi o‘zaro ta’sir energetik jihatdan baholanib, grunt va inshoot orasidagi dinamik ta’sirning yangi hisoblash formulalari ishlab chiqilgan. D.N. Nizomov, X.Z. Rasulov, A.X. Ibragimov, T.R. Rashidov, U. Shamshiyev, Sh.A. Hakimov, A.S. Yuvmitov va boshqa mahalliy olimlar grunt-inshoot tizimining seysmik javobini raqamli modellashtirish va matematik usullar orqali chuqur tahlil qilib, gruntning qo‘zg‘aluvchanligi, quvvati, dinamik moduli hamda rezonans xususiyatlarini batafsil yoritib bergan.

Shuningdek bobda grunt-inshoot tizimi nazariyasining asosiy tamoyillari va ularning amaliyotda qo‘llanilishi yoritilgan. Grunt-inshoot tizimidagi dinamik o‘zaro ta’sirning ikki asosiy turi – kinematik va inersiyal ta’sirlarning mohiyati batafsil tahlil qilingan.



1-rasm. “Grunt-inshoot” tizimi shakllanishining sxematik modeli

Kinematik ta’sirlar grunt orqali tarqaluvchi seysmik to‘lqinlarning poydevor shakli va o‘lchamiga qarab deformatsiyalanishi, amplituda va energiya yutilishining

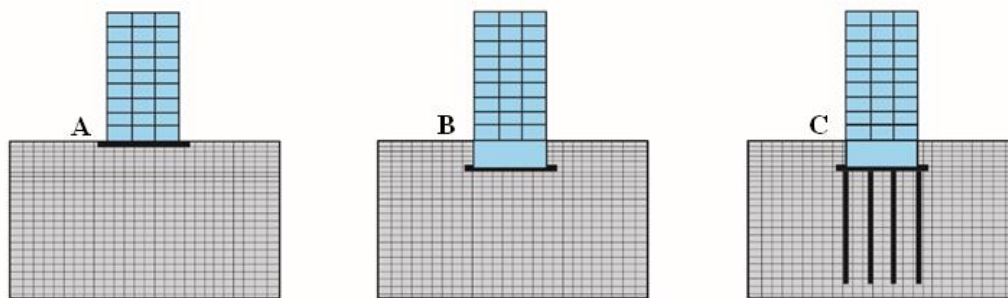
o'zgarishini aks ettiradi. Ushbu jarayonlarni baholash uchun kinematik uzatish funksiyasining nazariy asoslari, uning hisoblash usullari keltirilgan. Inersiyal ta'sirlar esa inshoot massasining zilzila natijasida hosil bo'lgan dinamik yuklamalarni ifodalab, gruntning deformatsiyalanishiga ta'sirini yoritadi. Bunda grunt-inshoot tizimining umumiy dinamik javobini hisoblash formulalari ishlab chiqilgan va tizimning seysmik harakatlari amplituda va rezonans xususiyatlari bilan bog'liqligi asoslab berilgan. Bundan tashqari, grunt-inshoot tizimining seysmik javobini aniqlashda to'g'ri masala (grunt va inshootni birgalikda modellash) va substrukturaviy (alohida modellash) usullarining ilmiy asoslari tahlil etilgan bo'lib, bu yondashuvlar amaliy seysmik baholash ishlari uchun zarur metodik asoslarni tashkil etishi ta'kidlangan.

Dissertatsiyaning **«Qurilish maydonlarida zamin gruntlarining muhandislik-geologik va seysmik xususiyatlari hamda ularning binolar ekspluatatsiyasi davrida o'zgarishi»** deb nomlangan ikkinchi bobida Toshkent shahri va Jizzax viloyatidagi qurilish maydonlarining seysmotektonik va muhandislik-geologik sharoitlari, grunt qatlamlarining fizik-mexanik va seysmik xususiyatlari hamda bino-inshootlarning ekspluatatsiyasi davomida grunt-inshoot tizimida yuzaga keladigan o'zgarishlar batafsil tahlil qilindi. Tadqiqot davomida erkin maydon va grunt-inshoot tizimlarida mikrotremor usuli asosida instrumental-seysmometrik kuzatuvlar olib borilib, qurilish maydonlarida bino ta'siri natijasida tebranish amplitudalarining kamayishi eksperimental ravishda aniqlandi va statistika jihatidan asoslandi.

Dastlab tadqiqot obyekti sifatida tanlangan qurilish maydonlari geologik va seysmotektonik jihatdan o'rganilib, ularning struktural joylashuvi, seysmik faolligi va grunt qatlamlarining muhandislik-geologik elementlari aniqlab chiqildi. Toshkent shahri Tyon-Shon epiplatforma orogeni va Turon plitasi oralig'idagi tektonik faol hududda joylashgan bo'lib, uning seysmik faolligi Karjantog' va Toshkent-Piskom seysmogen zonalari ta'siri ostida shakllanadi. Hududda seysmik jadallik MSK-64 shkalasi bo'yicha 8 ballgacha baholanadi. Har bir tanlangan qurilish maydonlari geologik nuqtai nazardan turli litologik sharoitlarda joylashgan bo'lib, ularning har biri uchun muhandis-geologik qirqimlar tuzildi. Jumladan, barcha 6 obyekt hududlarida burg'ilangan 20 dan ortiq burg'u quduqlaridan olingan ma'lumotlar asosida grunt qatlamlarining fizik-mexanik xususiyatlari, zichlik, bog'lanish kuchi, deformatsiya moduli kabi muhim ko'rsatkichlar aniqlangan.

Qurilish maydonlarida bino-inshootlar qurilishi bilan bog'liq seysmik ta'sir o'zgarishini aniqlash va tahlil qilish maqsadida binolar poydevor turi va qavatlar soniga ko'ra maxsus saralandi. Tadqiqotlar davomida, asosan, uch xil poydevor turiga ega binolar joylashgan qurilish maydonlaridagi grunt-inshoot tizimidan olingan materiallar chuqur tahlil qilindi (2-rasm). Shuningdek, grunt-inshoot tizimining mikroseysmik xatti-harakatlarini baholash maqsadida olib borilgan mikrotremor tadqiqotlari uslubiyati, o'lchov jarayoni va ularning ilmiy asoslangan natijalari yoritildi. Mikroseysmik kuzatuvlar bino poydevorida va unga tutash erkin maydon sharoitida sinxron tarzda amalga oshirilib, tebranish amplitudasining o'zgarishi kinematik parametrlar tezlik, tezlanish va siljish tebranishlari bo'yicha tahlil qilindi. Kuzatuvlar Buyuk Britaniyada ishlab chiqarilgan yuqori aniqlikdagi

Guralp CMG-6TD rusumli raqamli seysmometrlar yordamida olib borilib, har bir nuqtada 30 daqiqalik yozuvlar qayd etildi. Olingan yozuvlarga dastlabki ishlov berish GCFInfo, Scream va Discovery-2 dasturlari orqali amalga oshirildi.



2-rasm. Tadqiqot obyektlaridagi poydevor turlarining sxematik ko‘rinishi:

A) sayoz; B) chuqur; C) qoziqsimon

Seysmik to‘lqinlarning ta‘sirini aniq va to‘liq baholashda eng samarali yondashuv bu tebranishlar kinematik elementlarining maksimal vektor modulini hisoblashdir. Bunda X, Y va Z komponentlardagi ushbu parametrlar hisobga olinib, ularning umumiy vektor moduli quyidagi ifoda (1) asosida aniqlanadi.

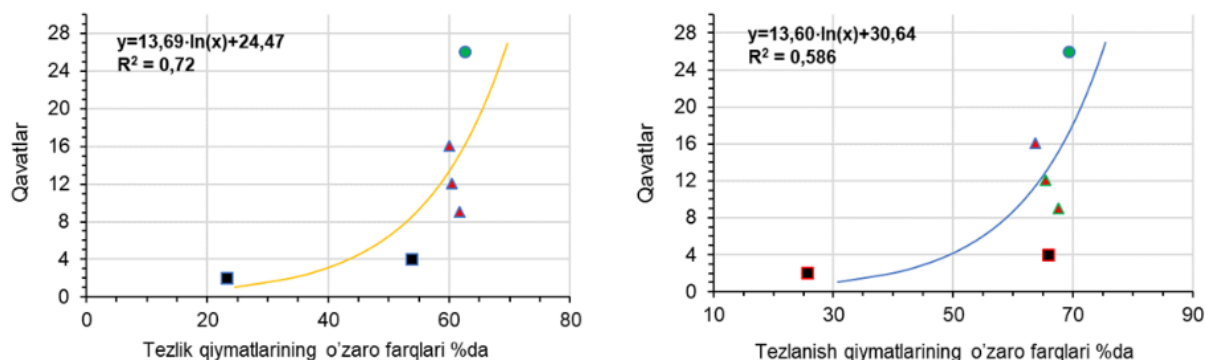
$$\bar{U}_{(X,Y,Z)} = \left| \sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + U_Z^2} \right|_{max} \quad (1)$$

O‘lchov natijalari asosida erkin maydon va grunt-inshoot tizimida qayd etilgan tebranish amplitudalari o‘rtasida sezilarli tafovut mavjudligi aniqlandi. Tezlik amplitudasi qiymatlari bo‘yicha quyidagi obyektlarda ahamiyatli ortish kuzatildi: Ko‘kaldosh madrasasida – 23,3%, Ilg‘or texnologiyalar markazida – 53,8%, Chilanzar Business City TJMda – 61,7%, N‘Medical Centerda – 60,4%, Jizzax TJMda – 60,1% va NRJ U-Towerda – 62,6%.

Amplituda pasayishining darajasi bino balandligi, poydevor chuqurligi va gruntning fizik-mexanik xossalari bilan bevosita bog‘liq ekani aniqlandi. Ayniqsa chuqur poydevorli yoki qoziqsimon poydevorli binolarning zamin gruntlarida, seysmik energiyaning yutilish darajasi nisbatan yuqori bo‘ldi. Mazkur natijalar grunt-inshoot tizimi orqali seysmik to‘lqinlarning qanday so‘nishini real tajriba asosida isbotlab berdi. Bino zamin grunt qatlamlari tabiiy filtr sifatida faoliyat ko‘rsatib, erkin maydonga nisbatan tebranish amplitudasini 23% dan 69% gacha kamaytirishi mumkinligi aniqlandi (3-rasm). Bu holat grunt-inshoot tizimining dinamik xossalarini chuqurroq anglash va inshoot xavfsizligini tahlil qilishda muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Qo‘shimcha tadqiqot sifatida grunt-inshoot tizimining tebranishlarga nisbatan javobini baholash maqsadida sun‘iy seysmik manba qo‘llanildi. Toshkent shahrida joylashgan Ilg‘or texnologiyalar markazi binosi yaqinida og‘ir yukni yerga tashlash orqali sun‘iy tebranishlar hosil qilindi. Ushbu tebranishlar bino poydevorida (grunt-inshoot tizimida) va unga tutash erkin maydonda sinxron tarzda qayd etildi. O‘lchov natijalari bino poydevorida tebranish amplitudasining sezilarli darajada kamayishini ko‘rsatdi. Jumladan, maksimal amplituda NS, EW va Z komponentlari bo‘yicha mos ravishda 95,7%, 94,9% va 76,7% ga pasaygan bo‘lib, o‘rtacha amplituda kamayishi

92% ni tashkil etdi. Mazkur sun'iy tebranish asosida o'tkazilgan eksperiment grunt-inshoot tizimining energiyani yutish xususiyatlarini yaqqol namoyon etdi.



3-rasm. Binolar zamin gruntlarining erkin maydonga nisbatan tebranish tezligi va tezlanishi farqlarining qavat balandligi o'rtasidagi bog'liqlik

Dissertatsiyaning «**Grunt-inshoot tizimining dinamik xususiyatlarini tahlil qilish maqsadida yuza to'liqlarining spektral tarkibi va inversiya usullarini qo'llash**» nomli uchinchi bobida grunt-inshoot tizimi va unga tutash erkin maydonda qayd etilgan mikroseysmik tebranishlar HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) usuli asosida spektral tahlil qilindi. HVSR usuli tabiiy yoki sun'iy mikroseysmik tebranishlarning gorizont va vertikal komponentlari nisbatini hisoblash orqali grunt qatlamlarining rezonans chastotalari va ularning seysmik javob xususiyatlarini aniqlash imkonini beradi. Ushbu usul Nakamura tomonidan taklif etilgan bo'lib, quyidagi matematik ifodadan (2) foydalanilgan:

$$H/V(\omega) = \frac{A_{H,surface}^{FW}(\omega)}{A_{V,surface}^{FW}(\omega)} \quad (2)$$

bunda  $A_{H,surface}^{FW}(\omega)$  va  $A_{V,surface}^{FW}(\omega)$  – yer yuzasidagi gruntning gorizont va vertikal harakati uchun umumiy (*Full Wavefield* - to'liq to'liq in maydoni) spektral amplitudalari va  $\omega$  – burchak chastotasi. Mazkur metodikaning asosiy afzalligi maxsus seysmik manbasiz, ya'ni passiv rejimda qo'llanishidir. Tadqiqotlarda grunt-inshoot tizimidagi spektral xususiyatlar erkin maydongi nisbatan sezilarli darajada o'zgarishi aniqlandi. Ayniqsa, zamin gruntlarida rezonans chastotalarning siljishi va H/V cho'qqilarining silliqilanishi bino ta'sirida yuzaga kelgan.

Shuningdek, grunt-inshoot tizimi va erkin maydon uchun seysmik zaiflik indeksi (Vulnerability Index) hamda seysmik intensivlik orttirmasi hisoblab chiqildi. Seysmik zaiflik indeksi quyidagi formula (3) bilan aniqlandi:

$$K = \frac{A^2}{f_0} \quad (3)$$

bunda  $A$  – H/V spektral amplitudasining maksimal qiymati,  $f_0$  esa grunt yoki grunt-inshoot tizimining dominant tebranish chastotasini bildiradi.

Zaiflik indeksi HVSR spektral amplitudasi va dominant chastota asosida aniqlanib, ob'ektlarning zilzilaviy ta'sirlarga nisbatan sezuvchanlik darajasini

baholash uchun asosiy mezon sifatida xizmat qildi. Intensivlik orttirmasi esa grunt qatlamlarining tebranish energiyasini kuchaytirish yoki susaytirish qobiliyatini ko'rsatdi va quyidagi ifoda (4) bilan aniqlanadi:

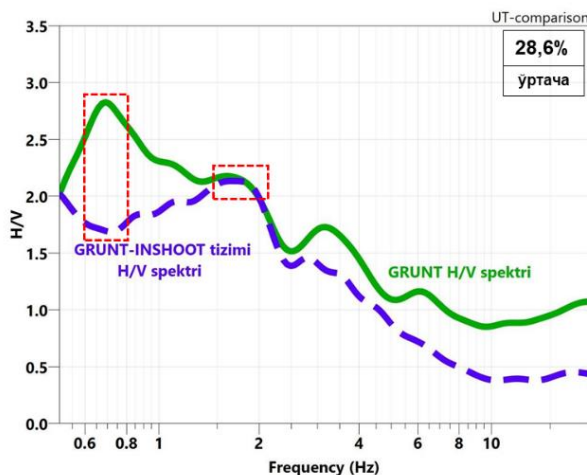
$$\Delta I = 2 \log \left( \frac{A_i}{A_n} \right) \quad (4)$$

bunda  $A_i$  – tadqiqot punktidagi H/V amplitudasi,  $A_n$  – tayanch punktdagi H/V amplitudasi.

Sayoz poydevorli binolar joylashgan obyektlarda (Ko'kaldosh madrasasi, Ilg'or texnologiyalar markazi) rezonans chastotalar bino qurilishidan keyin sezilarli darajada pasaygani (1,84 Gs gacha) va HVSR amplitudalari 24-36% ga kamaygani kuzatilgan. Seysmik zaiflik indeksi (K) ortgan (1,03 dan 1,91 gacha), bu esa gruntning tebranishlarga nisbatan sezgirliги oshganligini bildiradi.

Chuqur poydevorli binolar (Chilanzar Business City, N'Medical Center, Jizzax TJM) bo'yicha olingan natijalarda HVSR amplitudalari 36% dan 61% gacha pasaygan, rezonans chastotalarda esa turlicha tendensiyalar kuzatilgan. Ba'zi hollarda rezonans chastotasi kamaygan bo'lsa (2,03 Gs farq bilan), ba'zilarida esa deyarli o'zgarmagan. Chuqur poydevorli binolarda seysmik zaiflik indeksleri kamayib, grunt qatlamlarining seysmik ta'sirlarga bardoshliligi oshgani qayd etilgan.

Qoziqsimon poydevorli grunt-inshoot tizimi bo'yicha olib borilgan tahlil (NRJ U-Tower) natijalari ayniqsa diqqatga sazovor bo'lib, bu obyektida HVSR amplitudasi 28,6% ga pasaygan, rezonans chastotasi esa 0,71 Gs dan 1,64 Gs gacha oshgan (4-rasm). Bu, qoziqlarning chuqur qatlamlarga uzatilganligi tufayli rezonans sohasining yuqoriga siljiganini bildiradi.

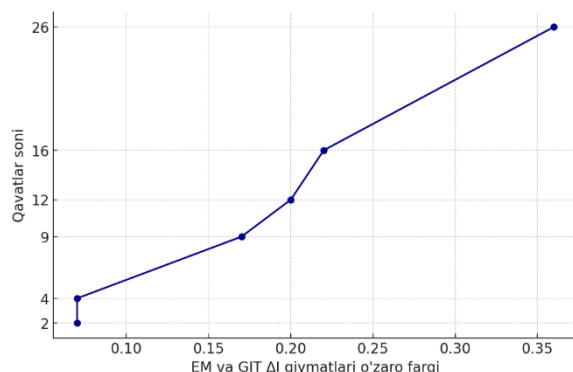


4-rasm. №6 obyektidagi erkin maydon H/V spektrining grunt-inshoot tizimida o'zgarishi

Bundan tashqari, seysmik zaiflik indeksi keskin kamaygan ( $K_{em}=11,1$  dan  $K_{git}=2,8$  gacha), bu grunt qatlamlari zichlashib, inshoot ta'sirida sezilarli barqarorlikka erishganini ko'rsatadi. Ushbu holatda grunt-inshoot tizimi erkin maydonga nisbatan kuchliroq tebranishlarni samarali yutgan.



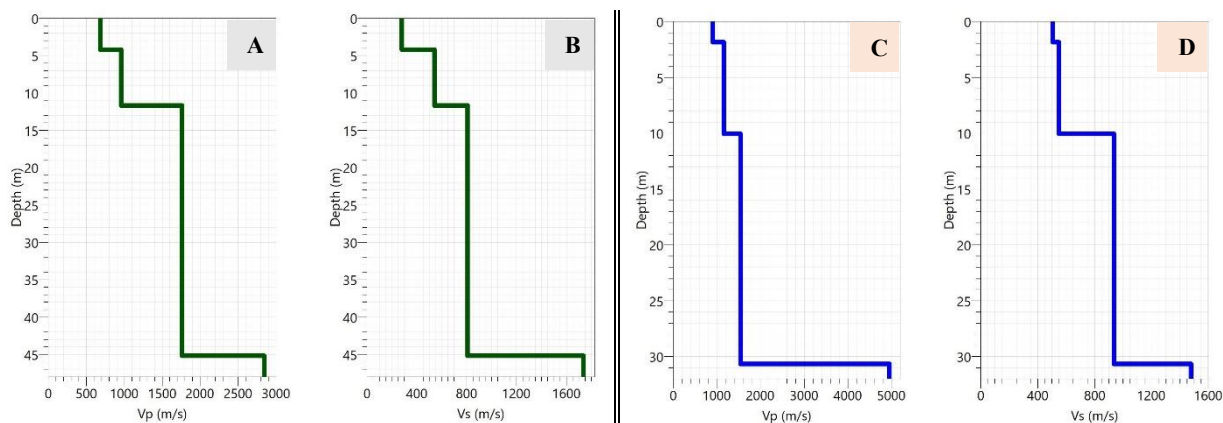
Natijaviy tahlillarda, shuningdek, bino balandligi (qavatlar soni) ortgan sari erkin maydon va grunt-inshoot tizimi o'rtasidagi jadallik orttirma qiymatlaridagi farq ham ortgani aniqlangan (5-rasm). Bu esa bino massasi oshgani sari uning gruntga ko'rsatadigan dinamik ta'siri kuchayishini tasdiqlaydi.



5-rasm. Erkin maydon va grunt-inshoot tizimlari o'rtasida seysmik jadallik orttirmasi farqining bino balandligiga bog'liqligi

HVSR egri chiziqlari asosida Geopsy dasturining Dinver moduli asosida erkin maydon va grunt-inshoot tizimlari uchun 1D Vp va Vs seysmik tezlik modellarining inversiyasi bajarildi. Tahlillar natijasida 30 metr qalinlikdagi grunt qatlamlarining Vs30 va Vp30 qiymatlari aniqlandi (6-rasm). Barcha obyektlar hududiga binolar qurilganidan so'ng zamin gruntlarining Vs30 qiymatlari ortgani kuzatildi (340 m/s dan 490 m/s gacha), bu esa grunt qatlamlarining zichlashganligini va seysmik energiyani samaraliroq uzatishini bildiradi.

Ushbu modellarni tekshirish uchun MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) usuli asosida olingan dispersiya chiziqlari bilan taqqoslash amalga oshirilib, Vs30 qiymatlari o'rtasida  $\pm 10$  m/s atrofida farq aniqlangan. Bu esa HVSR asosida qurilgan modellarni ishonchli deb baholash imkonini berdi.



6-rasm. Obyekt №5 uchun H/V spektri asosida qurilgan tezlik modellari: A, B – erkin maydon Vp va Vs modellar; C, D – grunt-inshoot tizimi Vp va Vs modellar

Dissertatsiyaning «**Grunt-inshoot tizimining statik va dinamik yuklar ta'siridagi holatini 3D sonli modellashtirish**» deb nomlangan to'rtinchi bobida PLAXIS 3D dasturi yordamida chekli elementlar usuliga asoslangan sonli modellashtirish amalga oshirilgan. Dastlab 30 m qalinlikdagi gruntning erkin

maydon sharoitida statik va zilzila ta'siriga dinamik javobi aniqlangan. Keyingi bosqichda ushbu grunt massivi ustiga har xil og'irlik va poydevor turiga ega bo'lgan binolar joylashtirilib, grunt-inshoot sharoitida ularning zamin gruntiga hamda zilzila tebranishlariga javobi aniqlanib, natijalar erkin maydon ko'rsatkichlari bilan solishtirildi. Modellashirishning asosiy maqsadi bino-inshootlar qurilishi natijasida qurilish maydonlarining seysmik xususiyatlari qanday o'zgarishini kompleks baholashdan iborat.

Modellashtirish jarayonida statik yuklamalarni tavsiflashda Mor-Kulon modeli tanlandi. Ushbu model gruntning elastik-plastik xatti-harakatini, uning bog'lanish kuchi ( $c$ ), ichki ishqalanish burchagi ( $\phi$ ) va normal zo'riqishga ( $\sigma_n$ ) bog'liq ravishda quyidagicha ifodalaydi (5):

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi) \quad (5)$$

bunda  $\tau$  – siljishga qarshilik kuchi,  $\sigma$  – normal zo'riqish,  $c$  – bog'lanish kuchi va  $\phi$  - gruntning ichki ishqalanish burchagi. Bu orqali grunt qatlamlaridagi cho'kish, deformatsiya va zo'riqish holatlari aniqlandi.

Dinamik yuklamalarni simulyatsiya qilishda esa HS-small (Hardening Soil small strain) modeli qo'llanildi. Ushbu model gruntning kichik deformatsiyalar diapazonida yuqori qattqlik va elastiklik xususiyatlarini aniqlik bilan aks ettirishga mo'ljallangan. HS-small modeli grunt materiali real holatda kichik amplitudali tebranishlarga qanday javob berishini ifodalovchi ilg'or nolinear elastoplastik model hisoblanadi. Bu model gruntning boshlang'ich siljish modulining ( $G_{max}$ ) deformatsiyaga bog'liq ravishda kamayishini quyidagi giperbolik bog'lanish (6) orqali tavsiflaydi:

$$G = \frac{G_{max}}{1 + \gamma/\gamma_{0.7}} \quad (6)$$

bunda  $G$  – real deformatsiyadagi siljish moduli,  $G_{max}$  – gruntning maksimal (boshlang'ich) siljish moduli (kichik deformatsiyalar holatida),  $\gamma$  – nisbiy siljish deformatsiyasi va  $\gamma_{0.7}$  – shunday deformatsiya qiymatiki, unda  $G \approx 0.7 \times G_{max}$  bo'ladi.

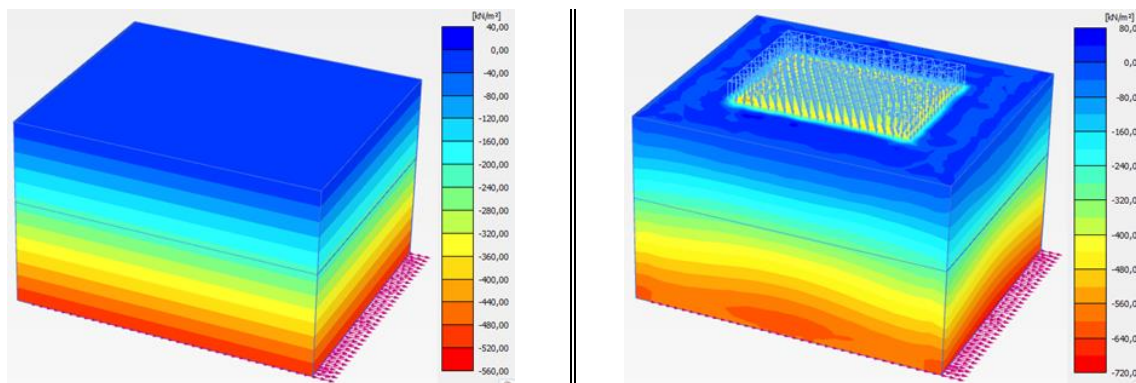
Modellashtirish jarayonida ikki xil holat ko'rib chiqildi. Birinchi holatda kengligi 40 m, uzunligi 38 m va chuqurligi 30 m bo'lgan erkin maydon grunt massivi modeli yaratilgan. Ikkinchi holatda esa ushbu grunt massivi ustiga quyidagi geometrik va og'irlik parametrlariga ega: uzunligi 20 m, kengligi 18 m, poydevor plitasi qalinligi 0,5 m, yerga botish chuqurligi 1 m va umumiy og'irligi 10 000 tonnani tashkil etuvchi monolit tuzilmali, 4 qavatli sayoz poydevorli bino joylashtirildi.

Bu holatda statik yuklama ta'sirida grunt qatlamlarida yuzaga keladigan zo'riqish va deformatsiya holatlari tahlil qilindi. Yaratilgan modellardagi grunt ikki qatlamdan iborat bo'lib, har bir qatlam uchun fizik-mexanik xususiyatlar zichlik, elastiklik moduli, Puasson koeffitsiyenti, ichki ishqalanish burchagi kabi parametrlar alohida belgilandi. Yer osti suvlarining ta'siri hisobga olinmadi.

Tahlillar natijasida maksimal vertikal siljish qiymati  $u_z = 4,36$  sm ekanligi aniqlandi. Erkin maydon sharoitida maksimal zo'riqish qiymati  $\sigma_z = 520,6$  kPa

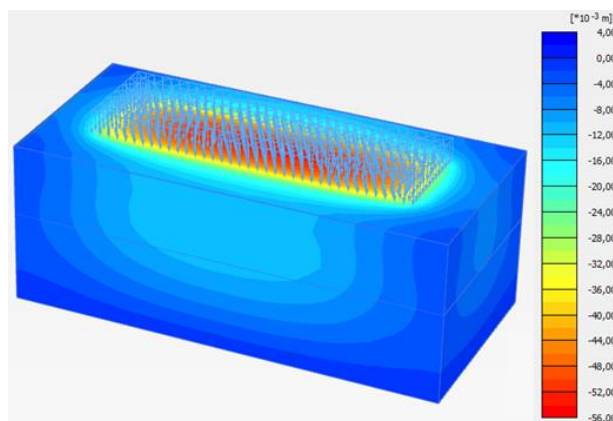


bo'lib, sayoz poydevorli bino ta'sirida  $\sigma_z = 702,8$  kPa ga etdi (7-rasm). Dinamik modellashirish jarayonida magnitudasi  $M=5,2$  bo'lgan va o'chog'i 10 km chuqurlikda joylashgan zilzila akselerogrammasi qo'llanildi. Modellarga seysmik tebranishlar x o'qi bo'ylab, ostki qismdan ta'sir ettirildi. Ikki xil holat uchun  $x=20$ ,  $y=19$ ,  $z=0$  koordinatadagi tugundagi tezlanish  $a_{EM} = 153,3 \rightarrow a_{GIT} = 123,7$  sm/s<sup>2</sup> (19.31%) ga; tezlik  $v_{EM} = 4,84 \rightarrow v_{GIT} = 4,6$  sm/s (4.96%) ga; siljish esa  $u_{EM} = 0,36 \rightarrow u_{GIT} = 0,3$  sm (16.67%) ga kamaydi.



7-rasm. Erkin maydon va sayoz poydevorli bino ta'siridagi grunt massivida tabiiy zo'riqishning chuqurlik bo'yicha taqsimlanishini 3D modellari

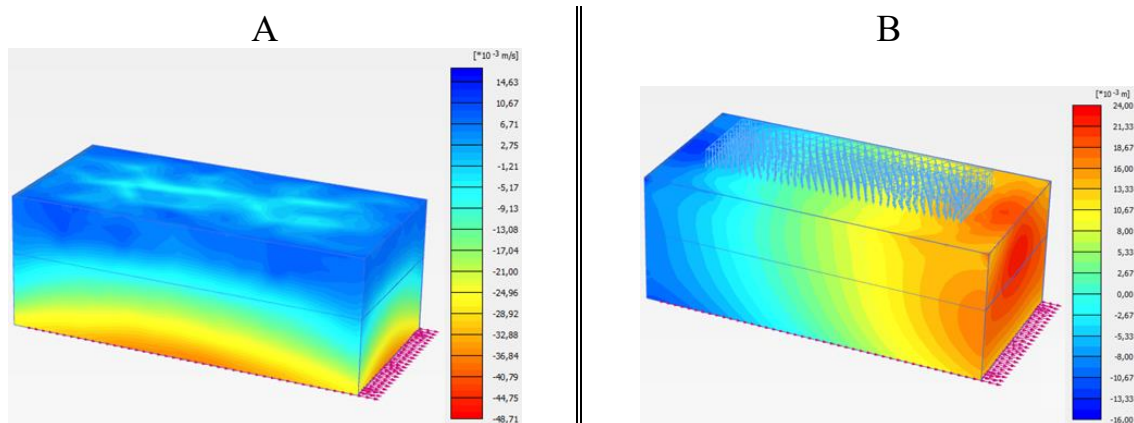
Chuqur poydevorli bino qurilgan maydonning grunt-inshoot tizimi statik va dinamik holatlarda modellashirildi. Birinchi holatda kengligi 38 m, uzunligi 80 m va chuqurligi 30 m bo'lgan grunt massivi modeli yaratilgan. Ikkinchi holatda esa, ayni grunt massivi ustiga monolit tuzilmali, chuqur poydevorga ega 12 qavatli bino joylashtirildi. Mazkur inshootning o'lchamlari: uzunligi 60 m, kengligi 18 m, poydevor qalinligi 1 m, yerga botish chuqurligi 6 m, umumiy og'irligi esa 15 000 tonnani tashkil etadi. Bu holatda bino massasining gruntga statik yuki ta'siri ostida yuzaga keladigan o'zgarishlar tahlil qilindi. Model tarkibidagi grunt ikki qatlamdan iborat bo'lib, har bir qatlamning fizik-mexanik xossalari inobatga olingan (8-rasm). Biroq modellashirish jarayonida yer osti suvlari ta'siri hisobga olinmagan. Tahlillar natijasida maksimal vertikal siljish qiymati  $u_z = 5,29$  sm ekanligi aniqlandi. Erkin maydon sharoitida maksimal zo'riqish qiymati  $\sigma_z = 597,7$  kPa bo'lib, chuqur poydevorli bino ta'sirida  $\sigma_z = 692,2$  kPa ni tashkil etdi.



8-rasm. Statik yuk ostida zamin grunt massividagi vertikal yo'nalish bo'yicha siljishlar ( $u_z$ ) o'zgarishining 3D modeli

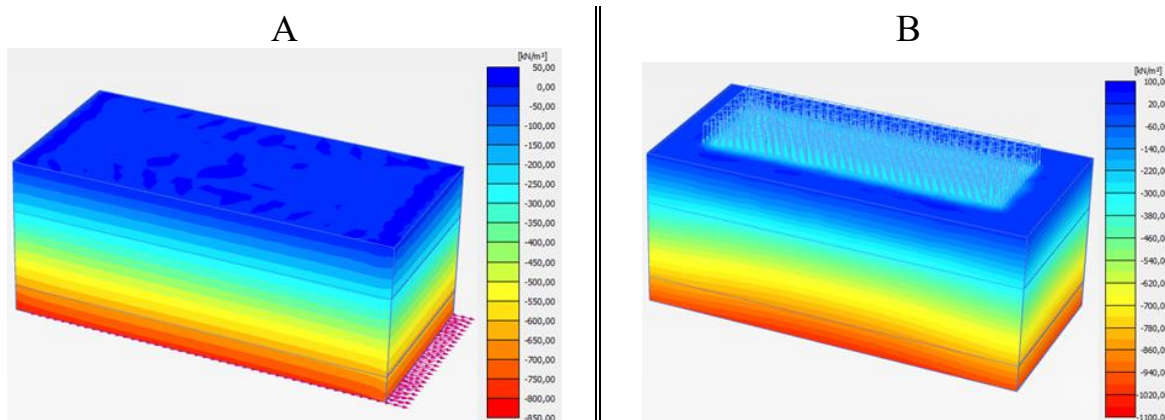
Dinamik modellash jarayonida magnitudasi  $M=5,2$  bo'lgan va o'chog'i 10 km chuqurlikda joylashgan zilzila akselerogrammasi seysmik ta'sir sifatida qo'llanildi. Modellarda seysmik tebranishlar x o'qi bo'ylab, pastki chegaradan kiritildi, chunki real sharoitda seysmik to'lqinlar, odatda, gorizontaal yo'nalishda (X yoki Y o'qlari bo'ylab) eng katta amplitudali silkinishlarga sabab bo'ladi (9, 10-rasmlar).

Taqqoslash uchun har ikkala modelda koordinatalari bir xil bo'lgan umumiy tugun nuqtalari tanlab olindi. Ikki holat uchun  $x=20$ ,  $y=19$ ,  $z=0$  koordinatadagi tugundagi tezlanish  $a_{EM} = 141,9 \rightarrow a_{GIT} = 115,6 \text{ sm/s}^2$  (18.53%) ga; tezlik  $v_{EM} = 6,9 \rightarrow v_{GIT} = 6,39 \text{ sm/s}$  (7.4%) ga; siljish esa  $u_{EM} = 0,541 \rightarrow u_{GIT} = 0,528 \text{ sm}$  (2.33%) ga kamaydi.



9-rasm. A) erkin maydon va B) chuqur poydevorli bino joylashgan grunt massividagi seysmik to'lqin siljishini X o'qi bo'yicha tarqalishining 3D modeli

Modellashtirish jarayonida ikki xil holat ko'rib chiqildi. Birinchi holatda kengligi 45 m, uzunligi 96 m va chuqurligi 40 m bo'lgan grunt massivi modeli yaratildi. Ikkinchi holatda esa ayni grunt massivi ustiga monolit tuzilmali, qoziqsimon poydevorga ega 26 qavatli bino joylashtirildi. Ushbu inshootning geometrik va fizik tavsiflari quyidagicha: uzunligi 76 m, kengligi 25 m, poydevor qalinligi 2,75 m, yerga botish chuqurligi 10 m, umumiy og'irligi esa 60 000 tonnani tashkil etdi. Bino massasining gruntga statik yuki ta'siri ostida yuzaga keladigan o'zgarishlar tahlil qilindi.

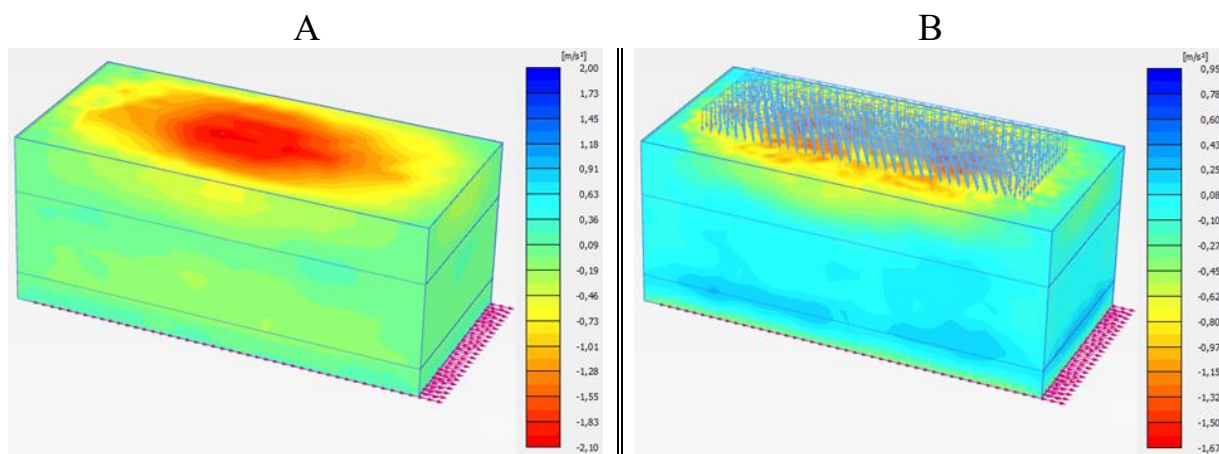


10-rasm. A) erkin maydon va B) chuqur poydevorli bino joylashgan zamin gruntidagi zo'riqishning ( $\sigma_z$ ) chuqurlik bo'yicha o'zgarishini 3D modellari

Model tarkibidagi grunt uch qatlamdan iborat bo‘lib, har bir qatlamning fizik-mexanik xossalari alohida hisobga olingan. Biroq modellash jarayonida yer osti suvlarining ta’siri hisobga olinmagan.

Hisoblashlarga ko‘ra, maksimal vertikal siljish qiymati  $u_z = 5,49$  sm ni tashkil etdi. Erkin maydonda maksimal zo‘riqish  $\sigma_z = 809,6$  kPa ni tashkil etib, qoziqsimon poydevorli bino ta’sirida  $\sigma_z = 1038$  kPa ga etgan (10-rasm).

Erkin maydon va grunt-inshoot tizimining seysmik ta’sir ostidagi dinamik javobini baholash maqsadida magnitudasi  $M=5,8$  va o‘chog‘ining chuqurligi 15 km bo‘lgan zilzilaning sintetik akselerogrammasi seysmik ta’sir sifatida qo‘llanildi (11-rasm). Modellarga seysmik tebranishlar x o‘qi bo‘ylab, pastki chegaradan kiritildi. Erkin maydon sharoitida seysmik ta’sir natijasida maksimal tezlanish  $a_{EM} = 206,8$  sm/s<sup>2</sup> ga yetgan bo‘lsa, grunt-inshoot tizimi holatida esa ushbu qiymat  $a_{GIT} = 148,5$  sm/s<sup>2</sup> gacha pasaygan. Maksimal tezlik qiymatlari erkin maydonda  $v_{EM} = 10,25$  sm/s ga yetgan bo‘lsa, grunt-inshoot tizimi holatida bu qiymat  $v_{GIT} = 7,86$  sm/s ni tashkil etdi. Maksimal siljish qiymatlari esa boshlang‘ich holatda  $u_{EM} = 4,44$  sm bo‘lsa, keyingi holatda ushbu qiymat  $u_{GIT} = 4,01$  sm ga kamaygan.



11-rasm. A) erkin maydon va B) qoziqsimon poydevorli bino zamin gruntidagi seysmik to‘lqin tezlanishini X o‘qi bo‘yicha tarqalishining 3D modeli

## XULOSA

Dissertatsiya tadqiqotida bino-inshootlarni qurilishini hisobga olgan holda qurilish maydonlarida seysmik ta’sirlarning o‘zgarish xususiyatlari chuqur ilmiy jihatdan tahlil qilinib, quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Qurilish maydonlarida seysmik tebranish ko‘rsatkichlarining grunt-inshoot tizimiga ta’siri nazariy va eksperimental yondashuvlar asosida kompleks baholandi.

2. Kinematik elementlar vektoriga asoslangan tahlillar natijasida bino og‘irligi ortishi bilan zamin gruntlarining seysmik energiyani yutish qobiliyati oshgani aniqlandi. Sayoz poydevorli binolar uchun bu ko‘rsatkich 23,3-53,8% oralig‘ida bo‘lsa, chuqur poydevorli binolarda 60,1-61,7% gacha yetdi. Qoziqsimon poydevorli binoda esa tezlik, tezlanish va siljish amplitudalari mos ravishda 62,6%, 69,3% va 54,9% ga kamaygani aniqlandi.

3. Tebranish amplitudalari nisbatiga ko'ra, sayoz poydevorli grunt-inshoot tizimida  $T_k < 0,8$ , chuqur poydevorlarda  $T_k < 0,5$ , qoziqsimon poydevorda esa  $T_k < 0,4$  bo'lib, eng samarali seysmik energiya yutilishi aniqlandi.

4. Sun'iy seysmik tebranishlarni qo'zg'atish asosida o'tkazilgan tajribalarda grunt-inshoot tizimida seysmik tebranishlar amplitudasi o'rtacha 92% gacha kamaygani va tizimning energiya yutish xususiyatiga ega ekanligi eksperimental tarzda aniqlandi.

5. Erkin maydon va grunt-inshoot tizimining seysmik xavfi "seysmik zaiflik indeksi ( $K_g$ )" va "seysmik intensivlik orttirmasi ( $\Delta I$ ) orqali baholandi". Barcha holatlarda grunt-inshoot tizimida  $K_g$  va  $\Delta I$  qiymatlarining kamaygani aniqlangan.

6. Bino-inshootlar qurilishi natijasida qurilish maydonlarining dinamik parametrlaridagi o'zgargarishlar baholandi. Zamin gruntlarida H/V amplitudalari kamayib, rezonans chastotalarning siljishi aniqlandi.

7. Grunt-inshoot tizimining HVSR asosidagi inversiya modellarida  $V_{s30}$  va  $V_{p30}$  tezliklari sezilarli oshgan (114-206 m/s va 303-554 m/s) aniqlandi. Erkin maydonning HVSR va MASW usullari bo'yicha  $V_{s30}$  qiymatlari  $\pm 10$  m/s farq bilan o'zaro mos kelgani baholandi.

8. Turli poydevor turlariga ega grunt-inshoot tizimini modellashtirish natijalari, uning seysmik javobi poydevor turi va bino qavatlari soniga sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatdi. Poydevor chuqurligi ortgani sayin tebranish amplitudalarining pasayish darajasi oshib, seysmik energiya yutilish samaradorligi ortgani aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ ИНСТИТУТЕ СЕЙСМОЛОГИИ**

---

**ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ**

**ОРИПОВ НОЗИМЖОН КОМИЛОВИЧ**

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ  
НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ С УЧЕТОМ ЗАСТРОЙКИ  
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**04.00.06 – Геофизика. Геофизические методы поисков полезных ископаемых**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Ташкент-2025**



Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/FM1218.

Диссертационная работа выполнена в Институте сейсмологии.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.seismos.uz](http://www.seismos.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Исмаилов Вахитхан Алиханович**

доктор геолого-минералогических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Ибрагимова Татьяна Львовна**

доктор физико-математических наук

**Нуртаев Бахтиер Сайфуллаевич**

кандидат физико-математических наук

**Ведущая организация:**

**Ташкентский архитектурно строительный университет**

Защита диссертации состоится «23» декабря 2025 года в 10:00 часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 при Институте сейсмологии (Адрес: 100128, г. Ташкент, ул. Зулфияхоним, 3. Тел.: +99871 241-51-70; +99871 241-74-98; e-mail: [seismologiya@mail.ru](mailto:seismologiya@mail.ru)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института сейсмологии (регистрационный номер №1160) (100128, г. Ташкент, ул. Зулфияхоним, 3. Тел.: +99871 241-51-70).

Автореферат диссертации разослан «5» декабря 2025 года.  
(реестр протокола рассылки №19 от «5» декабря 2025 года)



**С.Х. Максудов**

Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
д.ф.-м.н., профессор

**З.Ф. Шукуров**

Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор философии (PhD) по г.-м.н.

**А.И. Туйчиев**

Председатель Научного семинара при  
Научном совете по присуждению ученых степеней,  
д.ф.-м.н.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мировой практике интенсивное развитие процессов урбанизации в сейсмоактивных районах делает решение проблем сейсмической безопасности еще более актуальной задачей. В частности, особое внимание уделяется выявлению и оценке сейсмического воздействия на строительных площадках с целью обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений. В связи с этим разработка новых подходов и совершенствование существующих методов, позволяющих более надежно оценивать сейсмическое воздействие на строительных площадках с учетом наличия зданий и сооружений, обеспечивает повышение эффективности научных исследований.

В настоящее время в развитых странах мира проводятся масштабные исследования, направленные на всестороннее изучение взаимодействия системы «грунт-сооружение». Особенно в районах с высокой плотностью застройки такие исследования ориентированы на выявление изменений сейсмических параметров грунтов основания, а также на надежную оценку отклика системы «грунт-сооружение» на сейсмические воздействия. Создание цифровых моделей данной системы, расчёт частотных спектров отклика и параметров колебаний грунтов позволяет своевременно выявлять потенциальные факторы риска. Полученные практические результаты имеют важное значение для совершенствования мер сейсмической безопасности и применяются в процессе реальной оценки сейсмического риска.

Расположение нашей республики в сейсмоактивной зоне и стремительный рост объёмов строительства в последние годы делают ещё более актуальной задачу снижения риска возможных экономических и социальных потерь при сильных землетрясениях. В связи с этим на республиканском уровне активно проводятся исследования, направленные на углублённое изучение системы грунт-сооружение на основе геофизических и инструментально-сейсмометрических методов, анализ изменений динамических свойств грунтов основания под воздействием статических нагрузок зданий и сейсмических волн, а также широкое применение методов геотехнического моделирования. В стратегии «Узбекистан - 2030» обозначены такие важные цели, как «...внедрение новых стандартов на основе норм строительной безопасности зданий и сооружений развитых государств...»<sup>1</sup>. Анализ изменений сейсмического воздействия, связанных со строительством зданий и сооружений, глубокое изучение колебательных характеристик системы грунт-сооружение, а также оценка их динамического влияния имеют важное значение с точки зрения обеспечения сейсмической безопасности.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени направлена на выполнение задач, изложенных в пункте 29 приложения №1 к постановлению Президента Республики Узбекистан №ПП-158 от 16 мая 2023 года «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 11.09.2023 года № УП-158 «О Стратегии Узбекистан – 2030»

обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», а также в пункте 34 приложения №1 к постановлению №ПП-161 от 17 апреля 2024 года «О мерах по повышению сейсмостойкости зданий и сооружений и совершенствованию мониторинга сейсмического риска». Работа способствует разработке и экспериментальной проверке методов снижения сейсмической интенсивности и параметров сейсмических колебаний на строительных площадках, а также повышению сейсмической устойчивости грунтов оснований.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики – VIII «Науки о Земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

**Степень изученности проблемы.** Влияние строительства зданий и сооружений на изменение сейсмического воздействия и динамическое взаимодействие системы грунт-сооружение на протяжении многих лет находится в центре внимания научных исследований. Эти исследования направлены на анализ динамического поведения системы во время землетрясения, изучение закономерностей распространения сейсмических волн и оценку взаимодействия между сооружением и грунтом. Исследования показывают, что наличие сооружений оказывает значительное влияние на естественные резонансные частоты грунтов, амплитуды сейсмических колебаний и деформационные характеристики грунтовых слоёв. Работы таких учёных, как Н.В. Seed, I.M. Idriss, J. Lysmer, J.P. Wolf, G. Gazetas, A. Gomez-Masso, G. Mylonakis, Y. Nakamura, С.В. Медведев, Г.А. Дуброва, В.Г. Баженов, Н.С. Дюкина, М.А. Абу Лейл и др., раскрывают механизмы взаимодействия здания и грунта в условиях сейсмического воздействия. В частности, в научной работе Н.В. Seed «Earthquake effects on soil-structure systems» подробно проанализировано динамическое взаимодействие системы во время землетрясения. Исследования С.В. Медведев, Р.Э. Татевосян, Т.Р. Рашидов, Х.М. Мирзабоев, С.М. Касимов, А. Жураев и другие исследовали взаимосвязь между степенью повреждения зданий при сильных землетрясениях и степенью деформации подстилающих грунтов. G. Gazetas провёл фундаментальные исследования, посвящённые сейсмическим характеристикам грунтовых слоёв и изменению сейсмических волн в условиях наличия зданий и сооружений. Также Д.Н. Низомов и В.Г. Баранников с применением математического моделирования проанализировали динамические колебания зданий в различных геологических условиях.

В последние годы были проведены научные исследования, направленные на анализ динамического поведения системы грунт-сооружение, воздействия сейсмических колебаний на фундаменты зданий и деформационных изменений грунтовых слоёв с применением современных программ моделирования, таких как Plaxis 3D, FLAC3D и ABAQUS. В частности, F.Besseling и A. Lengkeek провели исследования по моделированию



взаимодействия системы грунт-сооружение в условиях землетрясений с использованием программного обеспечения Plaxis.

В Узбекистане были предложены различные научные подходы к исследованию влияния землетрясений на грунтовые слои под зданиями и сооружениями, а также к изучению деформационных свойств этих слоёв и путей повышения сейсмостойкости построек. Х.З. Расулов, Н.Г. Мавлянова, В.А. Исмаилов и А.Х. Ибрагимов провели исследования по оценке сейсмического риска и совершенствованию технологий сейсмостойкого строительства. Т.Р. Рашидов, У. Шамшиев, Ш.А. Хакимов, Б.С. Рахмонов, Х.Сагдиев, А.С. Ювмитов и другие учёные, признавая зависимость сейсмических колебаний зданий и сооружений от взаимодействия системы грунт-сооружение, предложили учитывать этот фактор при оценке их сейсмостойкости. Проведённые исследования показывают, что вопросы анализа динамических свойств системы грунт-сооружение, оценки изменений сейсмического воздействия, а также разработки современных методов моделирования остаются актуальными и в настоящее время.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы образовательного учреждения, в котором выполняется диссертация.** Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан и реализовано в рамках прикладного проекта на тему «Разработка методики оценки сейсмического риска многоэтажных зданий» (2023).

**Целью исследования** является оценка изменений показателей сейсмических колебаний системы грунт-сооружение с учётом воздействия зданий и сооружений на грунтовые слои строительной площадки.

**Задачи исследования** заключаются в следующем:

определить кинематические параметры колебаний системы грунт-сооружение и свободного поля на основе слабых сейсмических колебаний (микротреморов), а также сопоставить их различия;

оценить степень поглощения сейсмической энергии на строительных площадках, где расположены здания, на основе сейсмических колебаний, вызванных искусственным источником;

исследовать спектральные характеристики грунтов строительных площадок в условиях наличия зданий и сооружений и оценить их динамические изменения;

выявить и проанализировать изменения ускорений сейсмической интенсивности и скоростей распространения сейсмических волн в оснующих грунтах под сооружениями;

создать 3D-модели системы грунт-сооружение и свободного поля с использованием современных программных средств и оценить изменения параметров при статических и динамических воздействиях на их основе.

**Объектом исследования** является система грунт-сооружение на строительных площадках города Ташкента и Джизакской области.

**Предметом исследования** является экспериментальная и теоретическая оценка изменений сейсмического воздействия и частотных характеристик на строительных площадках после возведения зданий и сооружений.

**Методы исследования.** В диссертационной работе использованы геофизические методы исследований, в том числе многоканальный анализ поверхностных волн (MASW), метод отношения горизонтального и вертикального спектров микротреморов (HVSР), а также программный комплекс PLAXIS 3D с применением моделей Мора-Кулона и HS-small для построения трёхмерных численных моделей системы грунт-сооружение.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

теоретически и экспериментально оценено влияние параметров сейсмических колебаний, возникающих в результате землетрясений, на грунты основания зданий и сооружений на строительных площадках;

разработаны скоростные модели, описывающие изменение скоростей сейсмических волн с глубиной в грунтах оснований зданий и свободном поле на основе инверсии спектрального состава поверхностных волн;

в 3D-моделях системы грунт-сооружение определены сейсмические свойства грунтов под действием статической нагрузки зданий, в том числе снижение значений скорости, ускорения и смещения;

впервые количественно оценена способность различных типов фундаментов зданий (мелкозаглублённых, заглублённых и свайных), применяемых на строительных площадках, снижать уровень сейсмического воздействия.

**Практические результаты исследования:**

установлены изменения параметров сейсмических колебаний и степени поглощения сейсмической энергии на строительных площадках после возведения зданий и сооружений;

проведён спектральный анализ грунтовых слоёв свободного поля и под зданиями и сооружениями, оценено влияние различных типов фундаментов (мелкозаглублённых, заглублённых и свайных) на динамический отклик;

в результате строительства зданий и сооружений выявлено снижение расчётной сейсмичности на основе изменений скорости распространения сейсмических волн и интенсивности колебаний в грунтах основания;

в программном комплексе PLAXIS 3D созданы трёхмерные (3D) модели, отражающие деформационную реакцию и реакцию на сейсмическое воздействие как свободного поля, так и системы грунт-сооружение при статических и динамических нагрузках.

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность проведённых исследований обоснована результатами полевых наблюдений, выполненных в городе Ташкенте и Джизакской области, а также анализом имеющихся данных. В частности, это подтверждается микротреморными наблюдениями, проведёнными на 40 точках измерений с использованием метода HVSР, сейсмическими исследованиями по 10 сейсмическим профилям методом MASW, а также данными по 20 буровым скважинам и результатами инженерно-геологических разрезов в указанных районах.

### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что впервые комплексно оценены изменения сейсмических характеристик грунтов основания, возникающие в результате строительства зданий с различным количеством этажей и типами фундаментов (мелкозаглублённых, заглублённых и свайных), на основе геофизических методов и трёхмерного численного моделирования.

Практическая значимость результатов исследования обоснована необходимостью учёта влияния возведённых зданий и сооружений на способность строительных площадок к поглощению сейсмической энергии и на приростные значения сейсмической интенсивности. Такой подход имеет важное значение для учёта новых факторов при оценке сейсмического риска и снижении воздействия землетрясений. Полученные результаты способствуют формированию критериев, позволяющих предварительно оценивать изменения поглощения сейсмической энергии и приростных значений сейсмической интенсивности в грунтах основания в зависимости от количества этажей зданий и типов фундаментов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных при оценке изменений сейсмического воздействия на строительных площадках в условиях возведения зданий и сооружений с использованием геофизических, инструментально-сейсмометрических методов и трёхмерного численного моделирования:

методика экспериментальной оценки сейсмических колебаний, возникающих на строительных площадках в результате сильных землетрясений, внедрена в практику ООО «GEOKADASTR» (на основании справки Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан №20-06/1627 от 11 февраля 2025 года). Полученные результаты позволили эффективно оценить способность грунтов основания зданий поглощать сейсмическую энергию.

модели распределения скоростей волн  $V_p$  и  $V_s$  по глубине, построенные на основе инверсии кривой HVSR поверхностных волн, внедрены в практику проектно-изыскательской организации «O'ZGASHKLITI» (на основании указанной справки). Данные модели обеспечили достоверное определение сейсмических скоростных параметров строительных площадок.

трёхмерные (3D) цифровые модели системы грунт-сооружение, разработанные для оценки сейсмических свойств грунтов под воздействием статической нагрузки зданий, внедрены в практику организации «O'ZGASHKLITI» (на основании той же справки Министерства). Эти модели позволили определить снижение параметров скорости, ускорения и смещения в структуре системы грунт-сооружение.

впервые определённая степень снижения сейсмического воздействия различными типами фундаментов (мелкого заложения, глубокого заложения и свайных), применяемых на строительных площадках, внедрена в практику ООО «ZANGIOTA HOUSE» (на основании справки Министерства строительства и ЖКХ Республики Узбекистан от 11 февраля 2025 года).

Указанные результаты обеспечили количественную оценку эффективности различных типов фундаментов по снижению сейсмического воздействия.

**Апробация результатов исследования.** Полученные результаты исследования были обсуждены на 7 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ, включая 5 статей и 9 тезисов. Из них 5 работы опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе 4 в республиканских и 1 в зарубежном научном журнале.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объём работы составляет 116 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность проведённого исследования, сформулированы его цель и задачи, описаны объект и предмет исследования, отражено соответствие работы приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике. Также изложены научная новизна и практические результаты исследования, показаны научная и прикладная значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Научное исследование формирующихся и изменяющихся сейсмических факторов под воздействием зданий и сооружений на строительных площадках»** подробно проанализированы научные основы динамического взаимодействия системы «грунт-сооружение» (SSI) на строительных площадках (рисунок 1). На основе зарубежных и отечественных исследований показано, что параметры сейсмического воздействия на строительных площадках могут существенно изменяться в результате длительной эксплуатации зданий и сооружений. В работах 1960-1980-х годов были заложены фундаментальные теоретические основы данного направления, в частности, изучены механические связи между грунтом и сооружениями, а также их взаимное взаимодействие в условиях землетрясения. В трудах таких зарубежных учёных, как H.B. Seed, I.M. Idriss, J. Lysmer, J.P. Wolf, G. Gazetas, A. Gomez-Masso, G. Mylonakis, Y. Nakamura, C.B. Медведев, Г.А. Дуброва, В.Г. Баженов, Н.С. Дюкина, Р.Э. Татевосян и других, освещается роль кинематических и инерционных воздействий в формировании сейсмического отклика, а также проводится теоретический и прикладной анализ волн Рэлея и резонансных явлений с использованием различных моделей.

В отечественных исследованиях также всесторонне рассматривалась проблема системы грунт-сооружение. В частности, А. Жураев изучал влияние Газлийского землетрясения в зависимости от грунтовых условий и показал,

что этот процесс может вызывать различную степень повреждений в конструктивно идентичных зданиях. В.А. Исмаиловым была разработана многоуровневая методика оценки сейсмической опасности и риска, которая внесла значительный вклад в развитие научных основ по определению и оценке динамического воздействия системы грунт-сооружение. Кроме того, Б.С. Рахмонов и Х. Сагдиев провели энергетическую оценку взаимодействия в системе грунт-сооружение под воздействием сейсмических взрывов и предложили новые расчётные формулы для динамического взаимодействия между грунтом и сооружением. Д.Н. Низомов, Х.З. Расулов, Н.Г. Мавлянова, А.Х. Ибрагимов, Т.Р. Рашидов, У. Шамшиев, Ш.А. Хакимов, А.С. Ювмитов и другие отечественные учёные глубоко проанализировали сейсмический отклик системы грунт-сооружение с использованием численного моделирования и математических методов, подробно осветив такие параметры, как возбудимость грунта, его прочность, динамический модуль и резонансные характеристики.

Также в данной главе освещены основные принципы теории системы грунт-сооружение и её применение на практике. Подробно проанализирована сущность двух основных типов динамического взаимодействия в системе грунт-сооружение кинематического и инерционного воздействий.

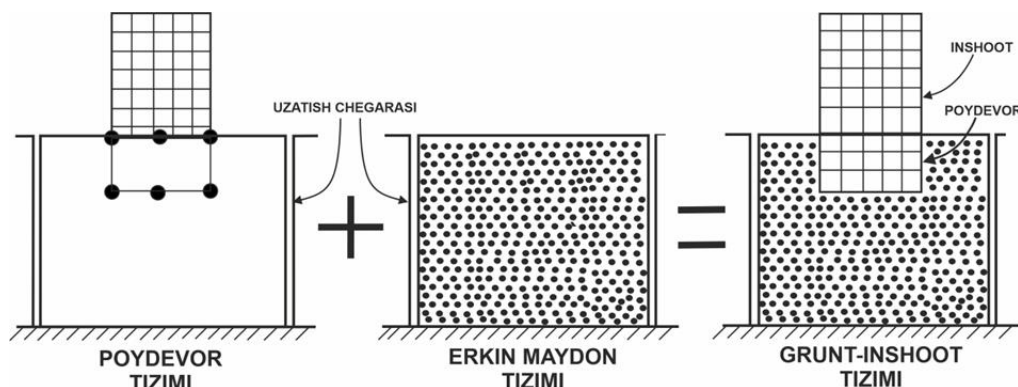


Рисунок 1. Схематическая модель формирования системы «грунт-сооружение»

Кинематические воздействия отражают деформации сейсмических волн, распространяющихся через грунт, в зависимости от формы и размеров фундамента, а также изменения амплитуды и поглощения энергии. Для оценки этих процессов приведены теоретические основы кинематической функции передачи и методы её расчёта. Инерционные воздействия, в свою очередь, выражают динамические нагрузки, возникающие вследствие массы сооружения при землетрясении, и раскрывают влияние этих нагрузок на деформацию грунта. Разработаны формулы расчёта общего динамического отклика системы грунт-сооружение и обоснована взаимосвязь между амплитудными и резонансными характеристиками сейсмических колебаний. Кроме того, в работе проанализированы научные основы прямого подхода (совместное моделирование грунта и сооружения) и субструктурного подхода (раздельное моделирование), применяемых для определения сейсмического отклика системы грунт-сооружение. Указано, что данные подходы

формируют необходимую методическую базу для практических задач сейсмической оценки.

Во второй главе диссертации под названием **«Инженерно-геологические и сейсмические характеристики грунтов основания строительных площадок и их изменения в период эксплуатации зданий»** подробно проанализированы сеймотектонические и инженерно-геологические условия строительных площадок в городе Ташкент и Джизакской области, физико-механические и сейсмические свойства грунтовых слоёв, а также изменения, происходящие в системе грунт-сооружение в процессе эксплуатации зданий. В ходе исследования были проведены инструментально-сейсмометрические наблюдения методом микротреморов как в условиях свободного поля, так и в системе грунт-сооружение, в результате чего экспериментально и статистически обосновано снижение амплитуд колебаний под влиянием зданий на строительных площадках.

На первом этапе исследования строительные площадки, выбранные в качестве объекта, были изучены с геологической и сеймотектонической точек зрения, определены их структурное положение, сейсмическая активность и инженерно-геологические характеристики грунтовых слоёв. По своему структурному положению территория города Ташкента относится к переходной зоне между эпиплатформенным орогеном Тянь-Шаня и Туранской плитой, и его сейсмическая активность формируется под влиянием Каржантауской и Пскемско-Ташкентской сейсмогенных зон. Сейсмическая интенсивность в регионе оценивается до 8 баллов по шкале MSK-64. Каждая из выбранных строительных площадок расположена в различных литологических условиях, и для каждой были составлены инженерно-геологические разрезы. В частности, по результатам бурения более 20 скважин, выполненных на 6 объектах, были определены важнейшие физико-механические характеристики грунтовых слоёв, такие как плотность, сцепление и модуль деформации.

С целью выявления и анализа изменений сейсмического воздействия, связанных со строительством зданий и сооружений на строительных площадках, были специально отобраны здания в зависимости от типа фундамента и количества этажей. В ходе исследования были глубоко проанализированы материалы, полученные из системы грунт-сооружение на строительных площадках, где расположены здания с тремя основными типами фундаментов (рисунок 2). Также были освещены методика микротреморных исследований, процесс измерений и научно обоснованные результаты, полученные при оценке микросейсмического поведения системы грунт-сооружение. Микросейсмические наблюдения проводились синхронно как на фундаментах зданий, так и в прилегающих условиях свободного поля, при этом изменения амплитуды колебаний анализировались по кинематическим параметрам скорости, ускорению и смещению. Наблюдения проводились с использованием высокоточных цифровых сейсмометров марки Guralp CMG-6TD, произведённых в Великобритании, при этом в каждой точке

осуществлялась регистрация сейсмических сигналов продолжительностью 30 минут. Первичная обработка записей проводилась с применением программного обеспечения GCFInfo, Scream и Discovery-2.

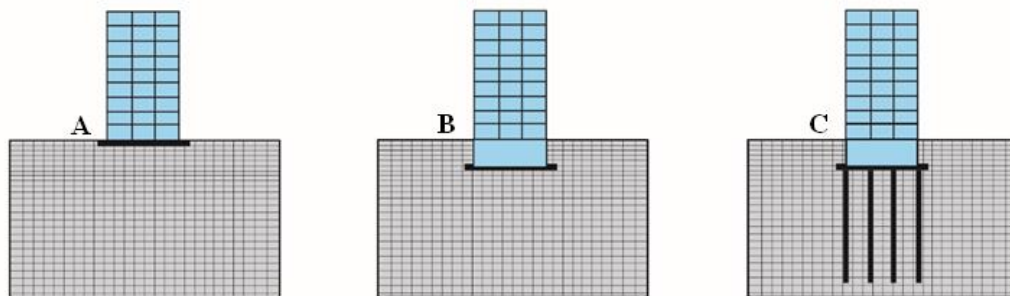


Рисунок 2. Схематическое изображение типов фундаментов на объектах исследования. А) мелкозаглублённый; В) заглублённый; С) свайный

Наиболее эффективным подходом для точной и полной оценки воздействия сейсмических волн является расчёт максимального векторного модуля кинематических элементов колебаний. При этом учитываются значения соответствующих параметров по компонентам X, Y и Z, а их общий векторный модуль определяется по следующему выражению (1).

$$\bar{U}_{(X,Y,Z)} = \left| \sqrt{U_X^2 + U_Y^2 + U_Z^2} \right|_{max} \quad (1)$$

На основании результатов измерений установлено, что между амплитудами колебаний, зафиксированными в условиях свободного поля и в системе «грунт–сооружение», имеется значительная разница. По значениям амплитуд скорости отмечено существенное увеличение на следующих объектах: в медресе Кукельдаш – на 23,3%, в Центре передовых технологий – на 53,8%, в ЖК Chilanzar Business City – на 61,7%, в N'Medical Center – на 60,4%, в ЖК Джизак – на 60,1% и в NRJ U-Tower – на 62,6%.

Установлено, что степень снижения амплитуды напрямую связана с высотой здания, глубиной фундамента и физико-механическими свойствами грунта. Особенно высокий уровень поглощения сейсмической энергии наблюдается в грунтах оснований зданий с глубокими или свайными фундаментами. Полученные результаты наглядно демонстрируют, как сейсмические волны затухают при прохождении через систему грунт-сооружение, что подтверждено реальными экспериментальными данными. Выявлено, что грунтовые слои под зданием функционируют как естественный фильтр, который способен снижать амплитуду колебаний по сравнению со свободным полем на величину от 23% до 69% (рисунок 3). Данный факт служит важной научной основой для более глубокого понимания динамических характеристик системы грунт-сооружение и анализа сейсмобезопасности сооружений.

В качестве дополнительного исследования для оценки отклика системы грунт-сооружение на колебания был использован искусственный



сейсмический источник. Вблизи здания Центра передовых технологий, расположенного в городе Ташкент, были созданы искусственные колебания путём сбрасывания тяжёлого груза на поверхность земли. Эти колебания синхронно фиксировались на фундаменте здания (в системе грунт-сооружение) и в прилегающем свободном поле. Результаты измерений показали значительное снижение амплитуды колебаний на фундаменте здания. В частности, максимальные амплитуды по компонентам NS, EW и Z уменьшились соответственно на 95,7%, 94,9% и 76,7%, при этом среднее снижение амплитуды составило 92%. Эксперимент, проведённый на основе искусственных колебаний, наглядно продемонстрировал способность системы грунт-сооружение поглощать сейсмическую энергию.

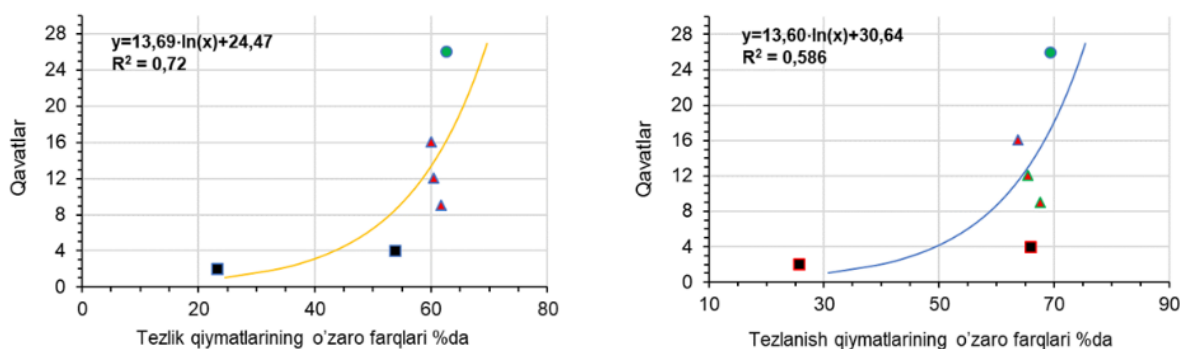


Рисунок 3. Зависимость между этажностью зданий и различиями в скорости и ускорении колебаний грунтов основания по сравнению со свободным полем

В третьей главе диссертации под названием «Применение спектрального анализа и методов инверсии поверхностных волн для анализа динамических характеристик системы грунт-сооружение» выполнен спектральный анализ микросейсмических колебаний, зафиксированных в системе грунт-сооружение и в прилегающем свободном поле, с использованием метода HVSR (отношение горизонтального спектра к вертикальному). Метод HVSR позволяет определить резонансные частоты грунтовых слоёв и их сейсмические характеристики путём расчёта отношения горизонтальной и вертикальной компонент естественных или искусственных микросейсмических колебаний. Данный метод был предложен Накамурай и основан на следующем математическом выражении (2):

$$H/V(\omega) = \frac{A_{H,surface}^{FW}(\omega)}{A_{V,surface}^{FW}(\omega)} \quad (2)$$

где,  $A_{H,surface}^{FW}(\omega)$  va  $A_{V,surface}^{FW}(\omega)$  – спектральные амплитуды полного волнового поля (Full Wavefield) для горизонтального и вертикального движения грунта на поверхности и  $\omega$  – угловая частота. Основным преимуществом данной методики является возможность её применения в пассивном режиме, то есть без использования специального сейсмического источника. В ходе исследований было установлено, что спектральные характеристики системы «грунт-сооружение» значительно изменяются по



сравнению со свободным полем. Особенно под воздействием зданий наблюдается смещение резонансных частот и сглаживание H/V пиков в грунтовом основании.

Также были рассчитаны индекс уязвимости (Vulnerability Index) и приращение сейсмической интенсивности для системы грунт-сооружение и свободного поля.

$$K = \frac{A^2}{f_0} \quad (3)$$

где,  $A$  – максимальное значение спектральной амплитуды H/V, а  $f_0$  обозначает доминантную частоту колебаний грунта или системы грунт-сооружение. Индекс уязвимости определялся на основе спектральной амплитуды HVSR и доминантной частоты, и служил основным критерием для оценки чувствительности объектов к сейсмическим воздействиям.

Приращение сейсмической интенсивности отражало способность грунтовых слоёв усиливать или ослаблять вибрационную энергию и определялось по следующему выражению (4):

$$\Delta I = 2 \log \left( \frac{A_i}{A_n} \right) \quad (4)$$

где,  $A_i$  – амплитуда H/V в исследуемой точке,  $A_n$  – амплитуда H/V в опорной точке.

На объектах с мелкозаглублёнными фундаментами (медресе Кукельдаш, ЦПТ) после строительства зданий наблюдалось заметное снижение резонансных частот (до 1,84 Гц) и уменьшение амплитуд HVSR на 24-36 %. Индекс уязвимости ( $K$ ) увеличился (с 1,03 до 1,91), что указывает на возросшую чувствительность грунта к колебаниям.

По результатам, полученным для зданий с глубоко заложенными фундаментами (Chilanzar Business City, N'Medical Center, ЖК Джизак), амплитуды HVSR снизились от 36 % до 61 %, а резонансные частоты продемонстрировали разную динамику. В некоторых случаях наблюдалось снижение резонансной частоты (с разницей до 2,03 Гц), в других изменения были незначительными. Для зданий с глубокими фундаментами зафиксировано снижение индекса уязвимости, что свидетельствует об улучшении устойчивости грунтовых слоёв к сейсмическим воздействиям.

Результаты анализа системы грунт-сооружение с свайным фундаментом (NRJ U-Tower) являются особенно примечательными: на этом объекте амплитуда HVSR снизилась на 28,6 %, а резонансная частота возросла с 0,71 Гц до 1,64 Гц (рисунок 4). Это свидетельствует о смещении резонансной области вверх вследствие передачи свай в более глубокие слои. Кроме того, индекс сейсмической уязвимости значительно снизился (с  $K_{\text{сп}}=11,1$  до  $K_{\text{сгс}}=2,8$ ), что указывает на уплотнение грунтовых слоёв и достижение высокой устойчивости под воздействием сооружения. В данной ситуации система грунт-сооружение эффективно поглощала более сильные колебания по сравнению со свободным полем.

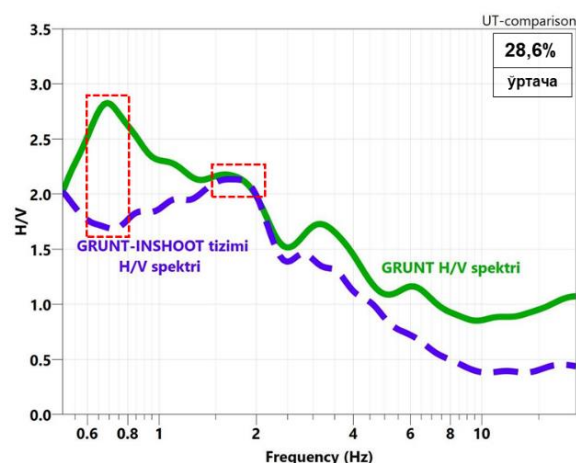


Рисунок 4. Изменение H/V спектра свободного поля на объекте №6 в системе грунт-сооружение

В результате анализа также установлено, что с увеличением высоты здания (количества этажей) возрастает разница в приращении сейсмической интенсивности между свободным полем и системой грунт-сооружение (рисунок 5). Это подтверждает усиление динамического воздействия здания на грунт по мере роста его массы.

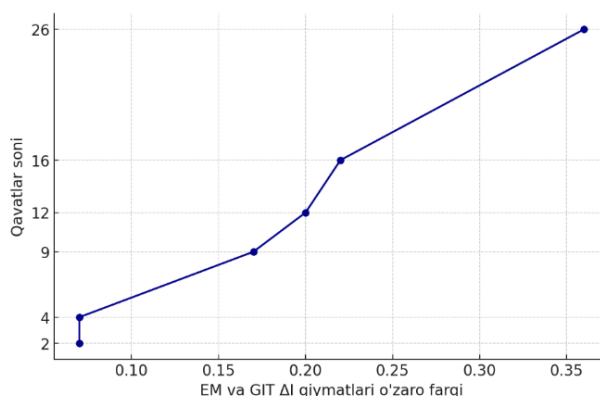


Рисунок 5. Зависимость разницы приращения сейсмической интенсивности между свободным полем и системой грунт-сооружение от высоты здания

На основе HVSR-кривых с использованием программного пакета Dinver была выполнена инверсия одномерных сейсмических моделей скоростей  $V_p$  и  $V_s$  для свободного поля и системы грунт-сооружение. В результате проведённого анализа были определены значения  $V_{s30}$  и  $V_{p30}$  для грунтовых слоёв толщиной 30 метров (рисунок 6). Во всех обследуемых районах после строительства зданий наблюдалось увеличение значений  $V_{s30}$  (с 340 м/с до 490 м/с), что свидетельствует о повышении плотности грунтовых слоёв и их более эффективной передаче сейсмической энергии.

Для проверки моделей была проведена сверка с дисперсионными кривыми, полученными методом MASW (многоканальный анализ поверхностных волн). Разница значений  $V_{s30}$  составила около  $\pm 10$  м/с, что позволило считать модели, построенные на основе HVSR, достоверными.

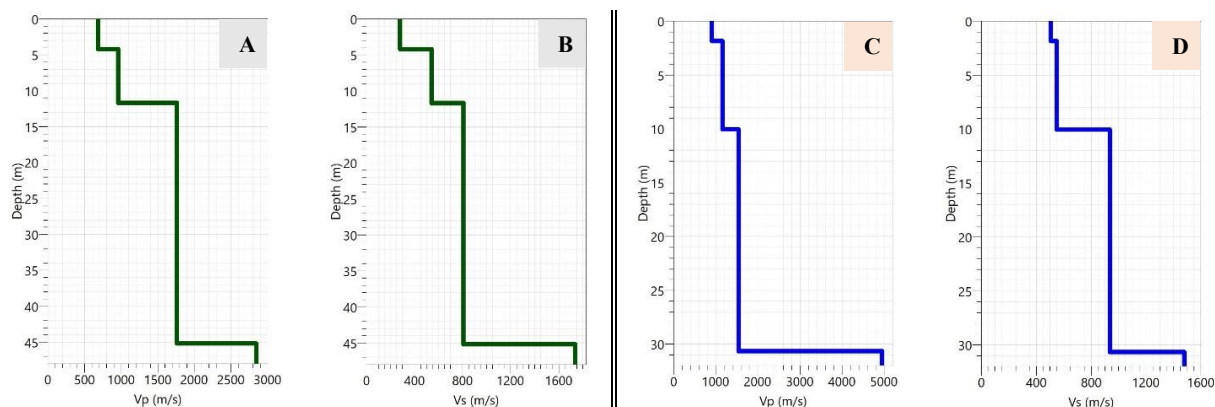


Рисунок 6. Скоростные модели, построенные по спектру H/V для объекта №5: А, В – модели Vp и Vs для свободного поля; С, D – модели Vp и Vs для системы грунт-сооружение

В четвёртой главе диссертации под названием «**3D численное моделирование состояния системы грунт-сооружение под воздействием статических и динамических нагрузок**» выполнено численное моделирование на основе метода конечных элементов с использованием программного обеспечения PLAXIS 3D. На первом этапе были определены статический и динамический (сейсмический) отклики грунтового массива толщиной 30 м в условиях свободного поля. На следующем этапе на поверхность данного грунтового массива были размещены здания с различным весом и типом фундамента, после чего были проанализированы их отклики как на воздействие со стороны подстилающего грунта, так и на сейсмические колебания в условиях системы грунт-сооружение, с последующим сравнением полученных результатов с показателями для свободного поля. Основной целью моделирования являлась комплексная оценка изменений сейсмических характеристик строительных площадок, возникающих в результате возведения зданий и сооружений.

В процессе моделирования для описания статических нагрузок была выбрана модель Мора-Кулона. Эта модель описывает упругопластическое поведение грунта в зависимости от сцепления ( $c$ ), внутреннего угла трения ( $\phi$ ) и нормального напряжения ( $\sigma_n$ ) следующим образом (5):

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi) \quad (5)$$

где,  $\tau$  – сила сопротивления сдвигу,  $\sigma$  – нормальное напряжение,  $c$  – сцепление и  $\phi$  – внутренний угол трения грунта. С помощью этой модели были определены осадки, деформации и напряжённые состояния в грунтовых слоях.

Для моделирования динамических нагрузок была применена модель HS-small (Hardening Soil small strain). Данная модель предназначена для точного отображения высокой жёсткости и упругости грунта в диапазоне малых деформаций. HS-small представляет собой усовершенствованную нелинейную эластопластическую модель, описывающую реакцию грунта на колебания малой амплитуды в реальных условиях. Эта модель характеризует снижение

начального модуля сдвига грунта ( $G_{max}$ ) в зависимости от деформации с помощью следующей гиперболической зависимости (6):

$$G = \frac{G_{max}}{1 + \gamma/\gamma_{0.7}} \quad (6)$$

где,  $G$  – модуль сдвига при заданной деформации,  $G_{max}$  – максимальный (начальный) модуль сдвига грунта в условиях малых деформаций,  $\gamma$  – относительная деформация сдвига а  $\gamma_{0.7}$  – такое значение деформации, при котором  $G \approx 0.7 \times G_{max}$ .

В процессе моделирования были рассмотрены два различных случая. В первом случае была создана модель грунтового массива свободного поля размерами: ширина 40 м, длина 38 м и глубина 30 м. Во втором случае на поверхности этого же грунтового массива было размещено здание с монолитной конструкцией и мелкозаглублённым фундаментом, обладающее следующими геометрическими и весовыми параметрами: длина 20 м, ширина 18 м, толщина фундаментной плиты 0,5 м, заглубление 1 м, общая масса 10 000 тонн, этажность 4.

В данном случае были проанализированы напряжённые и деформированные состояния грунтовых слоёв под воздействием статической нагрузки. Грунт в созданных моделях состоял из двух слоёв, для каждого из которых были отдельно заданы физико-механические характеристики: плотность, модуль упругости, коэффициент Пуассона и угол внутреннего трения. Воздействие подземных вод не учитывалось.

По результатам анализа максимальное вертикальное смещение составило  $u_z=4,36$  см. В условиях свободного поля максимальное напряжение составляло  $\sigma_z=520,6$  кПа, тогда как под воздействием здания с мелкозаглублённым фундаментом оно достигло  $\sigma_z=702,8$  кПа (рисунок 7).

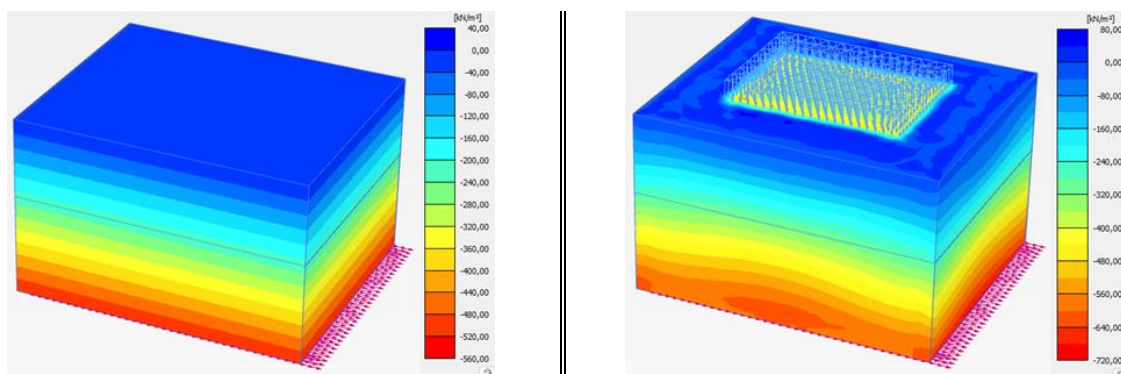


Рисунок 7. 3D-модели распределения напряжений по глубине в грунтовом массиве при воздействии свободного поля и здания с мелким фундаментом

В процессе динамического моделирования была использована акселерограмма землетрясения магнитудой  $M=5,2$  и очаг которого располагался на глубине 10 км. Сейсмические колебания прикладывались к моделям вдоль оси  $x$  снизу. Для двух различных случаев в узле с координатами  $x=20$ ,  $y=19$ ,  $z=0$  ускорение уменьшилось с  $a_{сп}=153,3$  до  $a_{сгс}=123,7$  см/с<sup>2</sup> (на

19,31%); скорость с  $v_{СП}=4,84$  до  $v_{СГС}=4,6$  см/с (на 4,96%), а смещение с  $u_{СП}=0,36$  до  $u_{СГС}=0,3$  см (на 16,67%).

Проведено численное моделирование взаимодействия системы грунт-сооружение на участке с заглублённым фундаментом в статических и динамических условиях. В первом случае была создана модель грунтового массива размерами 38 м в ширину, 80 м в длину и 30 м в глубину. Во втором случае на этот массив было размещено 12-этажное монолитное здание с глубоким фундаментом. Геометрические параметры сооружения: длина 60 м, ширина 18 м, толщина фундамента 1 м, глубина заложения 6 м, общая масса 15 000 тонн. В этом случае были проанализированы изменения, возникающие в грунте под действием статической нагрузки от массы здания. Модель включала два слоя грунта с учётом их физико-механических свойств (рисунок 8). Однако воздействие подземных вод в моделировании не учитывалось. В результате анализа максимальное вертикальное смещение составило  $u_z=5,29$  см. В условиях свободного поля максимальное напряжение составило  $\sigma_z=597,7$  кПа, а под воздействием здания с заглублённым фундаментом  $\sigma_z=692,2$  кПа.

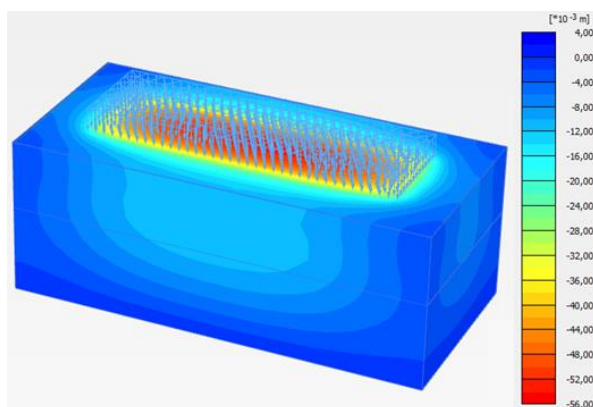


Рисунок 8. 3D-модель изменения вертикальных смещений ( $u_z$ ) в грунтовом массиве под воздействием статической нагрузки

В процессе динамического моделирования в качестве сейсмического воздействия использовалась акселерограмма землетрясения магнитудой  $M=5,2$  и очаг которого располагался на глубине 10 км. Сейсмические колебания вводились в модели по оси  $x$  через нижнюю границу, поскольку в реальных условиях именно горизонтальные компоненты (по осям  $X$  или  $Y$ ) вызывают наибольшие амплитуды сотрясений (рисунки 9, 10).

Для сравнения в обеих моделях были выбраны общие узловые точки с одинаковыми координатами. В узле с координатами  $x=20, y=19, z=0$  ускорение уменьшилось с  $a_{СП}=141,9$  до  $a_{СГС}=115$ , см/с<sup>2</sup> (на 18,53%); скорость с  $v_{СП}=6,9$  до  $v_{СГС}=6,39$  см/с (на 7,4%), а смещение с  $u_{СП}=0,541$  до  $u_{СГС}=0,528$  см (на 2,33%).

В процессе моделирования были рассмотрены два случая. В первом случае была создана модель грунтового массива размерами 45 м в ширину, 96 м в длину и 40 м в глубину. Во втором случае на этот массив было установлено 26-этажное монолитное здание с свайным фундаментом.



Геометрические и физические характеристики сооружения следующие: длина 76 м, ширина 25 м, толщина фундамента 2,75 м, глубина заложения 10 м, общая масса 60 000 тонн.

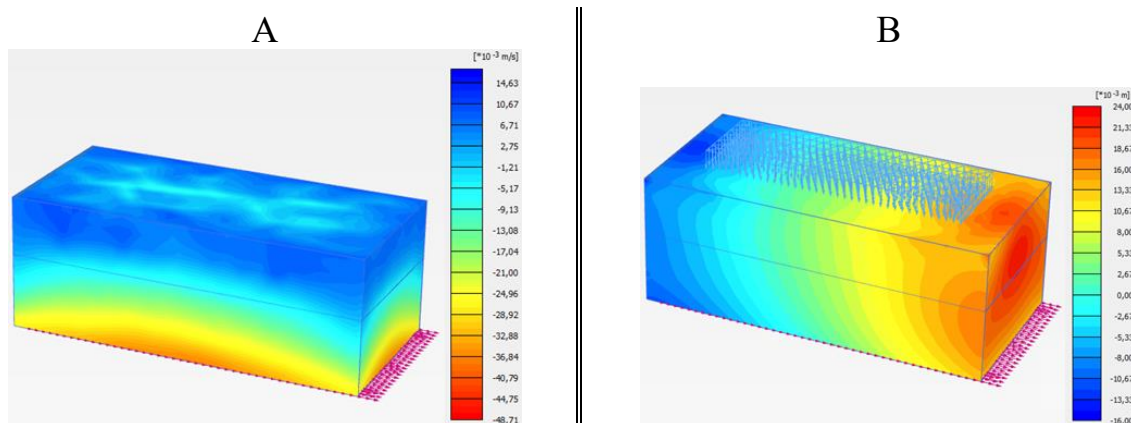


Рисунок 9. 3D-модель распространения сейсмических волн по оси X в грунтовом массиве: А) свободное поле; В) здание с заглублённым фундаментом

Были проанализированы изменения, возникающие под воздействием статической нагрузки массы здания на грунт. Грунтовый массив в модели состоял из трёх слоёв, при этом физико-механические характеристики каждого слоя учитывались отдельно. Однако в процессе моделирования влияние подземных вод не рассматривалось.

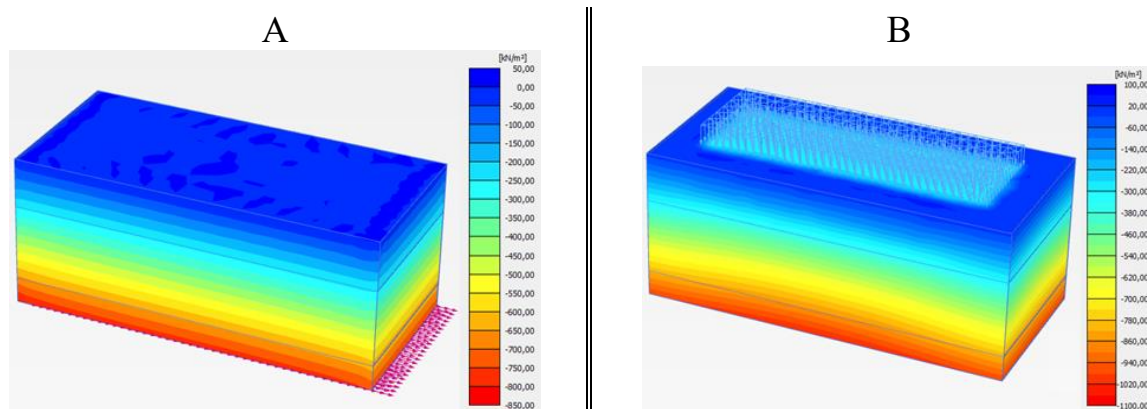


Рисунок 10. 3D-модели изменения напряжений ( $\sigma_z$ ) по глубине в грунтовом основании: А) свободное поле; В) здание с заглублённым фундаментом

Согласно расчётам, максимальное вертикальное смещение составило  $u_z=5,49$  см. В условиях свободного поля максимальное напряжение достигло  $\sigma_z=809,6$  кПа, а под воздействием здания со свайным фундаментом  $\sigma_z=1038$  кПа.

С целью оценки динамического отклика свободного поля и системы грунт-сооружение при сейсмическом воздействии в качестве входного сейсмического воздействия была использована синтетическая акселерограмма землетрясения с магнитудой  $M=5,8$  и очагом на глубине 15 км. Сейсмические колебания прикладывались по оси x через нижнюю границу модели. В условиях свободного поля максимальное ускорение составило  $a_{СП}=206,8$  см/с<sup>2</sup>,

тогда как в случае системы грунт-сооружение оно снизилось до  $a_{\text{СГС}}=148,5$  см/с<sup>2</sup>. Максимальные значения скорости достигли  $v_{\text{СП}}=10,25$  см/с и  $v_{\text{СГС}}=7,86$  см/с соответственно. Значения максимальных перемещений составили  $u_{\text{СП}}=4,44$  см и  $u_{\text{СГС}}=4,01$  см (рисунок 11).

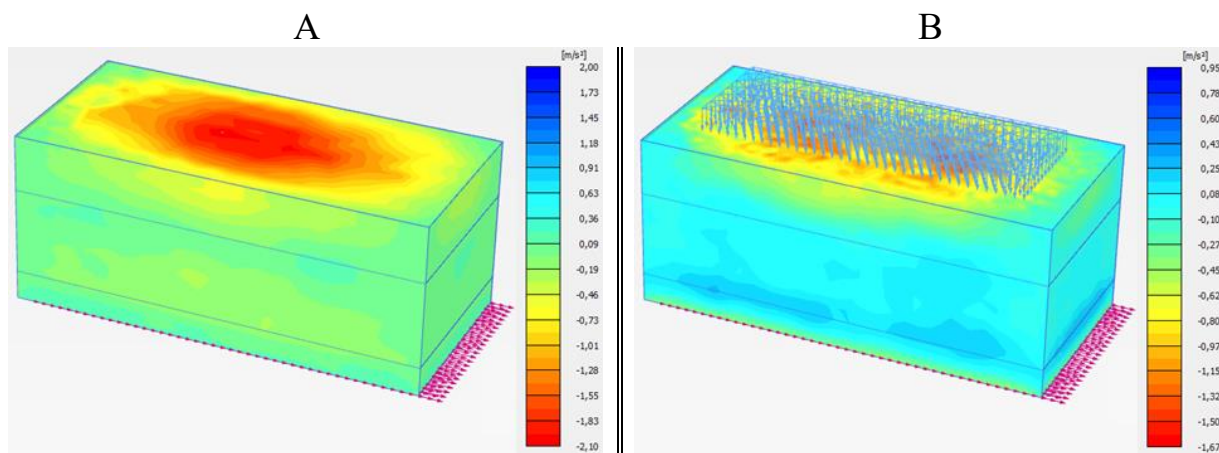


Рисунок 11. 3D-модель распространения ускорений сейсмических волн по оси X в грунтовом основании:

А) свободное поле; В) здание со свайным фундаментом

## ВЫВОДЫ

В диссертационном исследовании были всесторонне проанализированы особенности изменений сейсмического воздействия на строительных площадках с учётом возведения зданий и сооружений, и сформулированы следующие выводы:

1. Влияние параметров сейсмических колебаний на системе грунт-сооружение на строительных площадках было комплексно оценено на основе теоретических и экспериментальных подходов.

2. Анализ, основанный на векторе кинематических элементов, показал, что с увеличением массы здания способность грунтов к поглощению сейсмической энергии возрастает. Для зданий с мелкозаглублённым фундаментом данный показатель варьировался в пределах 23,3-53,8%, в то время как для зданий с глубоким фундаментом достигал 60,1-61,7%. В случае здания с свайным фундаментом было установлено снижение амплитуд скорости, ускорения и смещения на 62,6%, 69,3% и 54,9% соответственно.

3. По соотношению амплитуд колебаний установлено, что в системе грунт-сооружение с мелкозаглублённым фундаментом коэффициент  $T_k$  составляет менее 0,8, для глубоких фундаментов менее 0,5, а в случае свайного фундамента менее 0,4, что свидетельствует о наиболее эффективном поглощении сейсмической энергии.

4. В экспериментах, проведённых на основе возбуждения искусственных сейсмических колебаний, было установлено, что в системе «грунт-сооружение» амплитуда сейсмических колебаний снижается в среднем до 92%, что экспериментально подтверждает наличие у данной системы способности к поглощению сейсмической энергии.

5. Сейсмическая опасность свободного поля и системы грунт-сооружение была оценена по «индексу сейсмической уязвимости ( $K_g$ ) и приращению сейсмической интенсивности ( $\Delta I$ ). Во всех случаях было установлено снижение значений  $K_g$  и  $\Delta I$  в системе грунт-сооружение.

6. В результате строительства зданий и сооружений были оценены изменения динамических параметров строительных площадок. В грунтах основания зафиксировано снижение  $H/V$  амплитуд и смещение резонансных частот.

7. В инверсионных моделях системы грунт-сооружение, построенных на основе метода HVSR, было выявлено значительное увеличение скоростей  $V_{s30}$  и  $V_{p30}$  (соответственно на 114-206 м/с и 303-554 м/с). Оценено, что значения  $V_{s30}$ , полученные для свободного поля методами HVSR и MASW, совпадают с отклонением не более  $\pm 10$  м/с.

8. Результаты моделирования системы грунт-сооружение с различными типами фундаментов показали, что её сейсмический отклик значительно зависит от типа фундамента и количества этажей здания. Установлено, что с увеличением глубины заложения фундамента степень снижения амплитуд колебаний возрастает, что свидетельствует о повышении эффективности поглощения сейсмической энергии.



**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 AT INSTITUTE OF SEISMOLOGY**

---

**INSTITUTE OF SEISMOLOGY**

**ORIPOV NOZIMJON KOMILOVICH**

**CHARACTERISTICS OF SEISMIC IMPACT VARIATIONS AT  
CONSTRUCTION SITES CONSIDERING THE CONSTRUCTION OF  
BUILDINGS AND STRUCTURES**

**04.00.06 – Geophysics. Geophysical methods of mineral prospecting**

**ABSTRACT**

**of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in physical and mathematical sciences**

**Tashkent-2025**

The theme dissertation of the doctor philosophy (PhD) registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number B2025.1.PhD/FM1218.

The dissertation has been prepared at the Institute of Seismology.

The abstract of the dissertation is posted in three (uzbek, russian, english) languages on the website of the Scientific council ([www.seismos.uz](http://www.seismos.uz)) and on the website of «ZiyoNet» information and educational portal ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific adviser:**

**Ismailov Vakhitkhan Alikhanovich**

Doctor of geological and mineralogical sciences, professor

**Official opponents:**

**Ibragimova Tatyana Ludvigovna**

Doctor of physical and mathematical sciences

**Nurtaev Bakhtiyor Saifullaevich**

Candidate of physical and mathematical sciences

**Leading organization:**

**Tashkent university of architecture and  
civil engineering**

The defense will take place «23» december, 2025 at 10:00 the meeting of the Scientific council DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 at Institute of Seismology (Address: 100128, Tashkent city, Zulfiyakhonim street, 3. Ph.: +99871 241-51-70; +99871 241-74-98; e-mail: [seismologiya@mail.ru](mailto:seismologiya@mail.ru)).

The dissertation can be reviewed at the Information resource center of the Institute of Seismology (is registered under №1160) (Address: 100128, Tashkent city, Zulfiyakhonim street, 3. Ph.: +99871 241-51-70).

The abstract of the dissertation is distributed on «5» december 2025.  
(register of this distributed protocol from №19 dated «5» december 2025)



**S.Kh. Maksudov**

Chairman of Scientific council on awarding  
of scientific degrees, doctor of physical and  
mathematical sciences, professor

**Z.F. Shukurov**

Scientific secretary of Scientific council awarding  
scientific degrees, doctor of philosophy

**A.I. Tuychiev**

Chairman of Scientific seminar at Scientific  
council on awarding of scientific degrees, doctor  
of physical and mathematical sciences

## **INTRODUCTION (abstract of Doctor of Philosophy (PhD) dissertation)**

**The aim of the research is** to assess the changes in seismic vibration parameters of the soil-structure system at construction sites, taking into account the influence of buildings and structures on the underlying soil layers.

**The object of the research is** the soil-structure system at construction sites located in Tashkent city and Jizzakh region.

### **Scientific novelty of the research work is**

theoretical and experimental evaluation of the influence of seismic vibration parameters, generated by earthquakes, on the soils of building and structure foundations at construction sites has been carried out;

velocity models have been developed to describe the variation of seismic wave velocities with depth in foundation soils of buildings and in free-field conditions, based on the inversion of the spectral composition of surface waves;

in 3D models of the “soil-structure” system, the seismic properties of soils under the action of static building loads have been determined, including the reduction in velocity, acceleration, and displacement values;

for the first time, the ability of various types of building foundations (shallow, deep, and pile), applied at construction sites, to reduce the level of seismic impact has been quantitatively assessed.

### **Implementation of research results**

Based on the scientific results obtained from the assessment of seismic impact variations at construction sites under building conditions, using geophysical, instrumental-seismometric methods and three-dimensional numerical modeling:

the methodology for the experimental assessment of seismic vibrations generated on construction sites during strong earthquakes has been implemented into the practice of GEOKADASTR LLC (based on the certificate of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan No. 20-06/1627 dated 11 February 2025). These results have enabled an effective evaluation of the seismic energy absorption capacity of building foundation soils.

models representing the depth-dependent distribution of  $V_p$  and  $V_s$  wave velocities, derived from the inversion of the HVSr curve of surface waves, have been introduced into the practice of the design and survey organization O‘ZGASHKLITI (based on the same certificate). These models have made it possible to accurately determine the seismic velocity parameters of construction sites.

three-dimensional (3D) digital models of the soil-structure system, developed to assess the seismic properties of soils under the static loads of buildings, have also been implemented into the practice of O‘ZGASHKLITI (according to the above-mentioned certificate). These models have enabled the identification of reductions in velocity, acceleration, and displacement parameters within the soil-structure system.

for the first time, the degree of seismic impact reduction provided by various types of building foundations (shallow, deep, and pile foundations) used at construction sites has been introduced into the practice of ZANGIOTA HOUSE

LLC (based on the certificate of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan dated 11 February 2025). These results have allowed for a quantitative assessment of the effectiveness of different foundation types in reducing seismic impacts.

**The structure and volume of the dissertation.** The thesis consists of introduction, four chapters, conclusions, and a list of used literature. The volume of the thesis forms 116 pages of the text.

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

**I bo'lim (часть I; part I)**

1. Bozorov J.SH., Yadigarov E.M., Aktamov B.U., Oripov N.K. Qurilish maydonlarida tarqalgan lyoss gruntli asoslarning muhandis-geologik va seysmik xossalarini qoziq joylashtirish usuli bilan yaxshilash va seysmik jadallik orttirmasi o'zgarishini baholash // *Arxitektura, qurilish va dizayn*. 2023. Vol.18. Issue 2. 204-211 b. (05.00.00; №4)
2. Vahobov J.A., Oripov N.K., Yanbukhtin I.R., Zakirov A.Sh., Musayev U.T. Bino va inshootlarning seysmik chidamliligini HVSRM tahlillari asosida baholash // *Seysmologiya muammolari*. 2024. 2024/1-son.71-77 b. (04.00.00)
3. Oripov N.K., Bozorov J.SH. Qoziq poydevorli binolar qurilgan maydonlarda seysmik ta'sirning o'zgarishi // *Seysmologiya muammolari*. 2024. 2024/2-son. 86-102 b. (04.00.00)
4. Ismailov V.A., Oripov N.K., Bozorov J.SH., Rahmatov A.R. Binolar qurilgan maydonlarda seysmik ta'sirning o'zgarishini baholash // *Arxitektura, qurilish va dizayn*. 2024. Vol.19. Issue 4. 979-989 b. (05.00.00; №4)
5. Oripov N., Alimukhamedov I., Yanbukhtin I., Musaev U., Zakirov A & Mamarozikov T. Analysis of vulnerability and dynamic characteristics of a monolithic building using microtremor measurements // *ANAS Transactions, Earth Sciences*. 2024. 2/2024. pp.68-76. DOI:10.33677/ggianas20240200127

**II bo'lim (часть II; part II)**

6. Орипов Н.К. Оценка индекса уязвимости строительной площадки высотных зданий с помощью микротреморов // “*Aholi va hududlarning seysmik xavfsizligini ta'minlashning dolzarb muammolari*” xalqaro ilmiy konfratsiyasi. Toshkent: O'zR FA SI 2023. 351-355 b.
7. Бозоров Ж.Ш., Ядигаров Э.М., Орипов Н.К. Особенности изменения инженерно-геологических и сейсмических свойств просадочных грунтовых оснований с помощью метода deep soil mixing // VII International Conference “*Seismology and Engineering seismology*”. Baku. 2023. pp.140-148
8. Oripov N., Bozorov J. Studies to assess the site effects on “soil-structure” systems // Международная научная конференция «Геология в пространстве и времени». 15-летию Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. 2024. С. 157-158
9. Ismailov V., Oripov N., Yanbukhtin I., Bozorov J. Evaluation of resonance risk and strength of a high-rise building using the microtremor method // Международная конференция: Механика, Сейсмостойкость, Машиностроение. «Обеспечение сейсмической безопасности сейсмостойкости зданий и сооружений, прикладные задачи механики». I-том. 2024. С. 205-211

10. Oripov N.K., Bozorov J.SH. Binolarni ekspluatatsiya qilish davrida asos gruntlarining seysmik xususiyatlarini o'zgarishini baholash // Yosh olimlar "Fan va innovatsiya" xalqaro konferensiyasi. Toshkent: ITM 2024. 204-206 b.

11. Jonibek Bozorov, Nozim Oripov, Eldor Yadigarov, Axror Xusomiddinov. Assessment of seismic impact change through engineeringtechnical reinforcement of loess soils // International Conference: "Ensuring Seismic Safety and Seismic Stability of Buildings and Structures, Applied Problems of Mechanics". Melville, New York, USA. 2025. pp.040003/1-9. <https://doi.org/10.1063/5.0265140>

12. Nozim Oripov, Ilyas Yanbukhtin, Jonibek Bozorov. Evaluation of resonance risk and strength of a high-rise building using the microtremor method // International Conference: "Ensuring Seismic Safety and Seismic Stability of Buildings and Structures, Applied Problems of Mechanics". Melville, New York, USA. 2025. pp.040010/1-7. <https://doi.org/10.1063/5.0265163>

13. Орипов Н.К. Экспериментальный подход к оценке сейсмического отклика застроенных строительных площадок с использованием искусственного источника колебаний // "O'zbekistonda seysmik xavfsizlikni ta'minlash bo'yicha mutaxassislar va aholi tayyorgarligini oshirish muammolari hamda ularning yechimlari" mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. Toshkent. 2025. 138-143 b.

14. Орипов Н.К. Оценка сейсмических характеристик грунтов оснований зданий с мелкозаглублёнными фундаментами на основе метода MASW // "Muhandislik seysmologiyasi va seysmik xavfni baholashning dolzarb muammolari" mavzusidagi Respublika miqyosidagi ilmiy va ilmiy-texnik anjumani. Toshkent: O'zR FA SI 2025. 91-93 b.

Avtoreferat «Seysmologiya muammolari» jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib,  
o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o'zaro muvofiqlashtirildi

Bosishga ruxsat etildi: 03.12.2025 yil  
Bichimi: 60x84<sup>1/16</sup>. «Times New Roman»  
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog'i 3. Adadi 100. Buyurtma: №48  
“O'zR Fanlar Akademiyasi Asosiy kutubxonasi” bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzilu: 100170, Toshkent sh., Mirzo Ulug'bek tumani, Ziyolilar  
ko'chasi, 13-uy.