

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

SEYSMOLOGIYA INSTITUTI

RAHMATOV ASILBEK RAHMAT O‘G‘LI

**QURILISH MAYDONLARIDA SEYSMIK TA‘SIRNI BAHOLASH UCHUN
SINTETIK AKSELEROGRAMMALAR YARATISH TEXNOLOGIYASI**

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)

Rahmatov Asilbek Rahmat o‘g‘li

Qurilish maydonlarida seysmik ta’sirni baholash uchun sintetik akselerogrammalar yaratish texnologiyasi.....3

Рахматов Асилбек Рахмат угли

Технология создания синтетических акселерограмм для оценки сейсмических воздействий на строительных площадках.....21

Rahmatov Asilbek Rahmat ugli

Technology for creating synthetic accelerograms to assess seismic impact at construction sites.....43

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works.....47

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

SEYSMOLOGIYA INSTITUTI

RAHMATOV ASILBEK RAHMAT O‘G‘LI

**QURILISH MAYDONLARDA SEYSMIK TA‘SIRNI BAHOLASH UCHUN
SINTETIK AKSELEROGRAMMALAR YARATISH TEXNOLOGIYASI**

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/FM1219 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Seysmologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.seismos.uz) va “ZiyoNet” axborot ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Ismailov Vaxitxan Alixanovich
geologiya-mineralogiya fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Xamidov Lutfulla Abdullaevich
fizika-matematika fanlari doktori

Kuchkarov Kaxramon Israilovich
fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

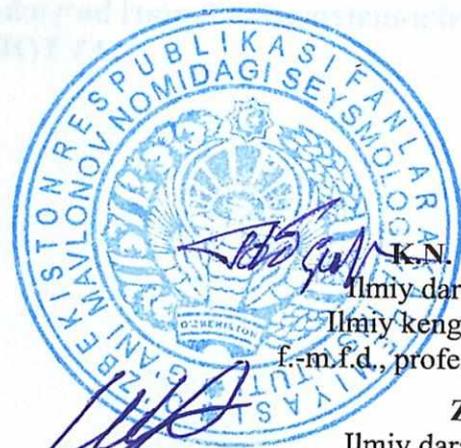
Yetakchi tashkilot:

O‘zbekiston Milliy universiteti

Dissertatsiya himoyasi Seysmologiya instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.02/30.12.2019.GM/FM.97.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil “25” iyul soat 09:00 dagi majlisida bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100128, Toshkent shahri, Zulfiyaxonim ko‘chasi, 3-uy; Tel.: +99871 241-51-70; +99871 241-74-98; E-mail: seismologiya@mail.ru).

Dissertatsiya bilan Seysmologiya institutining Axborot-resurslar markazida tanishish mumkin (№ 1156-raqam bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 100128, Toshkent shahri, Zulfiyaxonim ko‘chasi, 3-uy; Tel.: +99871 241-51-70.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil “11” iyul kuni tarqatildi.
(2025 yil “11” iyuldagi 15-raqamli reestr bayonnomasi)



K.N. Abdullabekov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi v.v.b.,
f.-m.f.d., professor, akademik

Z.F. Shukurov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash ilmiy kotibi,
g.-m.f. bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

A.I. Tuychiev
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash qoshidagi
Ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d.

KIRISH

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahon amaliyotida kuchli zilzilalar oqibatida yuzaga keladigan talafotlarni kamaytirish hamda aholi va hududlarning seysmik xavfsizligini ta'minlashda, seysmik faolligi yuqori bo'lgan mintaqalarda qurilayotgan bino va inshootlarning zilzilabardoshligini oshirishda jahon standarti hisoblangan Yevrokod talablariga muvofiq sintetik akselerogrammalardan foydalanish zilzila o'choq mexanizmlarining fizik-geologik xususiyatlari, gruntlarning murakkab muhandis-geologik sharoitlari hamda seysmik tebranishlarning tarqalish dinamikasini tahlil qilgan holda real seysmik ta'sirni aniq modellashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Dunyoda zamonaviy muhandislik dasturlaridan foydalangan holda yaratilgan sintetik akselerogrammalar asosida bino va inshootlarga ta'sir etuvchi ehtimoliy seysmik yuklamalarni baholash, ularning zilzilabardoshligini aniqlash va shunga muvofiq mustahkam konstruksiyalarni loyihalash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Bu borada, har bir mintaqaga xos geologik-tektonik va seysmik sharoitlarni chuqur tahlil qilish, ilg'or raqamli texnologiyalar yordamida sintetik akselerogrammalarni yaratish orqali tabiiy zilzila ta'sirini real sharoitga yaqin holda baholash, qurulish va loyihalash ishlarida dinamik hisob-kitoblar bilan seysmik bardoshlikni oshirishga alohida e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda bino-inshootlarni loyihalash va qurushda turli grunt sharoitlarini hisobga olgan holda yaratilgan sintetik akselerogrammalardan seysmik ta'sir sifatida foydalanishga doir ilmiy izlanishlar jadallik bilan olib borilmoqda. Jumladan, zamonaviy texnologiyalar asosida, ya'ni muhandislik dasturlari orqali respublikamizning yirik shahar hududlarida tarqalgan turli xil grunt qatlamlarini seysmik ta'sirlarga javob berishi aniqlangan va sintetik akselerogrammalari ishlab chiqilgan. Bu borada O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi "2022–2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi PF-60-sonli Farmonida, jumladan "...ekologiya va atrof muhitni muhofaza qilish, shahar va tumanlarda ekologik ahvolni yaxshilash..."¹ vazifalari belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda qurilish maydonlaridagi grunt zaminlariga bo'ladigan seysmik ta'sirni oldindan baholash uchun sintetik akselerogrammalar texnologiyasini yaratish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 9 avgustdagi "Seysmologiya, seysmik chidamli qurilish hamda O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligi sohasida ilmiy tadqiqotlar olib borishni takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" PQ-3190-son Qarori, 2020 yil 30 iyuldagi «O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» PQ-4794-son Qarori, 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» PQ-158-son Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy huquqiy hujjatlarda

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarda yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertasiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublikaning fan va texnologiyalarni rivojlantirish – VIII “Yer haqidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va mineral xomashyoni qayta ishlash)” ustuvor yo'nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Bugungi kunda seysmik faol hududlarda bino-inshootlarni qurishda qurilish maydonlarining seysmik ta'sirini aniqlash uchun foydalaniladigan sintetik akselerogrammalarni ishlab chiqish juda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Shuningdek sintetik akselerogrammalarni qurilish-loyihalash ishlarida keng joriy qilish bo'yicha dunyoning bir qator rivojlangan mamlakatlarida maqsadli ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu muammo bilan turli davrlarda Y.A. Nakamura, H.M. Murakami, F.F. Aptikayev, K. Rodjan, N.I. Frolova, O.O. Erteleva, V.I. Bagdanov, V.M. Grayzer va N.V. Shebalin, W.B. Joyner, D.M. Boore, K.W. Kampbell, L. H. Kanai, N.A. Ambraseys, A. K. Kornell, A.A. Tikhonov, Yu.A. Koval, N.A. Kostiuk, A.G. Egorov, T.U. Artikov, Yu.K. Chernov, V.Yu. Sokolov, A.X. Ibragimov, R.S. Ibragimov va V.A. Ismailov kabi olimlar tomonidan tadqiqot ishlari olib borilgan.

Y. A. Nakamura – gruntlarning reaksiya spektrlari va yer yuzasining shakli haqida tadqiqotlar olib borib, bu sohaga o'z hissasini qo'shgan. H.M. Murakami – gruntlarning dinamik xususiyatlari va reaksiya spektrlarini o'rganishda muhim tadqiqotlar olib borgan. F.F. Aptikayev va O.O. Erteleva o'z tadqiqotlarida seysmik tebranishlarning paydo bo'lish qonuniyatlarini aniqlash, tebranish parametrlarini bir-biri bilan, ya'ni manba va atrof-muhit parametrlari bilan bog'lashga qaratganlar. K. Rodjan ilmiy ishlarida ehtimollik asosida instrumental o'lchovlarga asoslangan seysmik shkalani yaratish, kuchli harakatlarga xos bo'lgan ba'zi noma'lum yoki kam ma'lum bo'lgan chiziqli hodisalarni aniqlash va baholashga e'tibor qaratgan. N.I. Frolova ilmiy faoliyati davomida qurilishda bino va inshootlarni loyihalash uchun mintaqaviy javob spektri usulini ishlab chiqqan va olingan natijalarni taklif sifatida loyihalash institutlariga tavsiya qilgan. V.I. Bagdanov, V.M. Grayzer va N.V. Shebalin kabi olimlar kuchli zilzilalar vaqtida seysmogrammalardan foydalangan holda gruntlardagi qoldiq siljish va haqiqiy harakatlarni aniqlash bo'yicha bir qator ilmiy izlanishlar olib borishgan. W.B. Joyner va D.M. Boore o'z ilmiy ishlarida zilzilalar, maxsus portlash yozuvlari va seysmologik tahlillar bilan shug'ullanishgan. W.B. Joyner tadqiqotlari ko'pincha tebranishlarning yuzaga kelishi, tarqalishi va bu hodisalarning shahar infratuzilmasiga ta'sirini o'rganishga bag'ishlangan. D.M. Boore yer silkinishlarining empirik va nazariy xususiyatlarini o'rganishda, ayniqsa kuchli yer silkinishlari natijasida yuzaga keladigan tebranishlarni o'lchash va tahlil qilishda katta natijalarga erishgan. Uning ishlari, asosan, yer silkinishlarining kuchi, tezligi va spektral xususiyatlari bilan bog'liq. L. H. Kanai seysmologiya va zilzila muhandisligi sohasida to'lqinlarni modellashtirish va sintetik akselerogrammalar yaratish bo'yicha muhim tadqiqotlar olib borgan. N. A. Ambraseys muhandislik seysmologiyasi yo'nalishida zilzilalarning inshootlarga ta'siri bo'yicha Yevropadagi yetakchi olimlardan biri bo'lgan. U sintetik akselerogrammalarni yaratish va seysmik xavf tahlillari bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borgan. A. K. Kornell seysmik xavfga asoslangan yondashuvni keng

ommalashtirib, ko‘plab mamlakatlarda zilzilalar ta‘sirini kamaytiruvchi muhandislik ishlarining rivojlanishiga hissa qo‘shgan. V.I. Sokolov ilmiy ishlarida zilzilalar ta‘sirida gruntlarning xususiyatlarini baholash bo‘yicha muhim izlanishlar olib borgan. A.A. Tikhonov seysmik kuchlanish va gruntlarning dinamik javobini o‘rganish bo‘yicha ko‘plab muhim nazariy tadqiqotlar olib borgan. Y.A. Koval seysmik xavfni baholash va gruntlarning reaksiya spektrini tahlil qilish bo‘yicha innovatsion usullarni ishlab chiqqan taniqli olimlardan biridir. N.A. Kostiuk seysmik reaksiya spektrlari va gruntlarning turli geologik sharoitlardagi seysmik ta‘siri bo‘yicha muhim tadqiqotlar olib borgan taniqli olimlardan hisoblanadi. U urning dinamik xususiyatlari, seysmik xavf tahlili va seysmik ta‘sirlar natijasida gruntning qanday reaksiyalar berishini o‘rganish sohalarida faoliyat yuritgan. A.G. Egorov ilmiy ishlarida gruntlarning seysmik javoblarini o‘rganish va ularning reaksiya spektrini aniqlashda muhim natijalar olgan.

O‘zbekistonda so‘ngi yillarda qurilish maydonlariga seysmik xavfni va seysmik ta‘sirni baholash metodologiyalarini ishlab chiqishda Sh.A. Xakimov, T.U. Artikov, V.Yu. Sokolov, V.A. Kondratev, S.A. Tyagunov, A.X. Ibragimov, V.A. Ismailov, R.S. Ibragimov, T.L. Ibragimova, A.S. Yuvmitov, E.M. Yadigarov, M.A. Mirzayev va boshqa olimlar ilmiy izlanishlar olib borishgan.

Sohaga oid tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, bino-inshootlarni loyihalashda sintetik akselerogrammalardan seysmik ta‘sir sifatida foydalanish, qurilish maydonlaridagi tabiiy seysmik kuchlarni baholashga imkon beradi. Shunga muvofiq, turli xil grunt sharoitlari uchun sintetik akselerogrammalarni ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy-tadqiqotlar olib borish talab etilmoqda.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.

Ushbu dissertatsiya tadqiqoti O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi G‘.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq “O‘zbekiston va chegaradosh hududlarda joylashgan seysmogen zonalar uchun real va sintetik akselerogrammalar regional bankini yaratish” mavzusidagi amaliy loyiha (2021-2022 yy.) doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi O‘zbekiston hududining turli xil grunt sharoitlarini hisobga olgan holda qurilish maydonlarida kuchli zilzilalarning seysmik ta‘sirini ifodalovchi sintetik akselerogrammalarni yaratish texnologiyasini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari quyidagilardan iborat:

hozirgi kunda mavjud bo‘lgan va qo‘llanilayotgan sintetik akselerogrammalarni yaratish texnologiyalarini tahlil qilish va ularni tizimlagan holda mintaqamiz uchun samarali texnologiyani tanlash;

O‘zbekiston hududida sodir bo‘lgan kuchli zilzilalar parametrlarini tadqiq etish, grunt sharoitlarini baholash uchun instrumental seysmometrik va geofizik dala tadqiqot ishlarini olib borish;

O‘zbekiston Respublikasi viloyat markazlari misolida grunt qatlamlarida seysmik to‘lqinlarni tarqalishining 3D modellarini ishlab chiqish;

hisoblangan tezlanish jadvallari orqali sintetik akselerogrammalarni tuzish texnologiyasini yaratish;

mintaqamizda sodir bo'lgan zilzilalarning real akselerogrammlar spektrlarini umumlashtirish va o'rtachalashtirilgan spektr asosida sintetik akselerogrammlar texnologiyasini yaratish;

gruntlarning javob spektrlari asosida sintetik akselerogrammlar yaratish;

yaratilgan sintetik akselerogrammlarni zamonaviy muhandislik dasturlari yordamida modellashtirish hamda grunt va binolarni 3D modellarda sinovdan o'tkazish.

Tadqiqotning ob'ekti sifatida O'zbekiston Respublikasi viloyat markazlarining hududlari olingan.

Tadqiqotning predmetini turli xil grunt sharoitlarini hisobga olgan holda sintetik akselerogrammlar yaratish texnologiyasi tashkil etgan.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida geofizik va muhandis geologik tadqiqot usullari, jumladan, mikrotremor usulidan, natijalarni taqqoslash uchun MASW usulidan hamda Strata, Plaxis 3D va Lira Sapr dasturlaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

turli grunt qatlamlarni seysmik tebranish spektrlari asosida chuqurlik bo'yicha ko'ndalang to'lqin tezlik o'zgarishi aniqlangan va qatlamlarning 3D modellari yaratilgan;

qurilish maydonlarida seysmik ta'sirlarni miqdoriy baholash imkonini beruvchi sintetik akselerogrammlar yaratish texnologiyasi ishlab chiqilgan;

Buxoro shahri hududida tarqalgan gruntlarning seysmik xususiyatlari bo'yicha real zilzilalarning o'rta spektriga asoslangan sintetik akselerogrammlar bazasi ishlab chiqilgan;

sintetik akselerogrammlarni muhandislik dasturlari orqali tahlil qilish natijasida grunt qatlamlarida va bino poydevorlarida yuzaga keladigan maksimal tezlik, tezlanish va siljish qiymatlari baholangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari:

Qurilish maydoni grunt qatlamlarining seysmik ta'sirga javob spektrlarini umumlashtirgan holda sintetik akselerogrammlarni hisoblash texnologiyasi ishlab chiqilgan;

Dala eksperimental tadqiqotlar natijasida seysmik tebranish spektrlarini tahlili asosida ko'ndalang to'lqin tezligini chuqurlik bo'yicha o'zgarishi aniqlangan va O'zbekiston Respublikasi viloyat markazlari misolida grunt qatlamlarining 3D modellari ishlab chiqilgan;

Sintetik akselerogrammlarni zamonaviy dasturlar orqali miqdoriy modellashtirish asosida grunt qatlamlariga va binolarga ta'sir qiladigan seysmik kuchlar baholangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi: Dissertatsiya ishi doirasida dala sharoitida gruntlarning seysmik xossalarini aniqlash bo'yicha 1000 dan ortiq nuqtalarda instrumental seysmometrik o'lchov ishlari, hamda respublikamizning yirik shahar hududlarida olib borilgan geologik, muhandis-geologik va geofizik tadqiqot natijalari bilan solishtirilganligi, olingan natijalar MASW usuli bilan taqqoslanganligi, qolaversa yaratilgan akselerogrammlar zamonaviy dasturlar orqali «Strata», «Plaxis 3D», «LIRA-SAPR», "Open Quake" sinovdan o'tkazilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati qurilish-loyihalash ishlarida bino-inshootlarga seysmik ta'sir sifatida qo'llaniladigan sintetik akselerogrammlar yaratishda gruntlarning javob spektrlari, tezlanish jadvallari orqali hamda real zilzila akselerogrammlarining umumlashgan o'rta spektrlari asosida sintetik akselerogrammlar ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati O'zbekiston Respublikasi viloyat markazlari hududlarining 100 m chuqurlikdagi qatlamlarining 3D modellari ishlab chiqilganligi, turli xil grunt sharoitlariga mos sintetik akselerogrammlardan bino-inshootlarni loyihalashda, binolarning seysmik ta'sirlarga qanday javob berishini baholashda, bino va inshootlarning seysmik mustahkamligini baholash orqali seysmik xavfsizlikni ta'minlashga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Qurilish maydonlarida seysmik ta'sirni baholash uchun sintetik akselerogrammlar yaratish texnologiyasi bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

turli grunt qatlamlarining xususiy tebranish spektrlari usuli asosida chuqurlik bo'yicha ajratilgan ko'ndalang to'lqinlarning tarqalish tezliklarining 3D modeli "Me'mor arxitektura servis" MChJ hamda "Qo'qon loyiha-qurilsh" MChJ loyihalash tashkilotlarining amaliyotiga joriy qilingan (Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 28 yanvardagi 20-06/1013-son ma'lumotnomasi). Natijada, ilk bor O'zbekiston Respublikasi viloyat markazlari misolida grunt qatlamlarining 3D modellari ishlab chiqilgan, bu olingan natija seysmik ta'sirlarni baholashga imkon yaratgan;

real zilzila yozuvlarining tahlili asosida sintetik akselerogrammlar yaratishning o'rta spektrlar texnologiyasi "Me'mor arxitektura servis" MChJ hamda "Qo'qon loyiha-qurilsh" MChJ loyihalash tashkilotlarining amaliyotiga joriy qilingan (Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 28 yanvardagi 20-06/1013-son ma'lumotnomasi). Natijada, sintetik akselerogrammlar qurilish maydoniga ta'sir qiluvchi seysmik holatni real baholashga imkon yaratgan;

Buxoro shahri hududi uchun real zilzilalarni aks ettiruvchi o'rta spektr texnologiyasiga asosan ishlab chiqilgan sintetik akselerogrammlar bazasi "Me'mor arxitektura servis" MChJ hamda "Qo'qon loyiha-qurilsh" MChJ loyihalash tashkilotlarining amaliyotiga joriy qilingan (Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 28 yanvardagi 20-06/1013 son ma'lumotnomasi). Natijada, Buxoro shahri hududi uchun yaratilgan akselerogrammlar bino-inshootlarni loyihalashga imkon yaratgan;

sintetik akselerogrammlarni muhandislik dasturlari orqali tahlil qilish natijasida yaratilgan 3D modellar "Me'mor arxitektura servis" MChJ hamda "Qo'qon loyiha-qurilsh" MChJ loyihalash tashkilotlarining amaliyotiga joriy qilingan (Qurilish va uy-joy kommunal xo'jaligi vazirligining 2025 yil 28 yanvardagi 20-06/1013-son ma'lumotnomasi). Natijada, grunt qatlamlarida va bino poydevorlarida yuzaga keladigan maksimal tezlik, tezlanish va siljish qiymatlarini baholashga imkon yaratgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot 3 ta xalqaro va 3 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 12 ta ilmiy ishlar chop etilgan, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan dissertatsiyalarning asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda 5 ta maqola, shu jumladan, 1 tasi xorijiy ilmiy jurnalda chop etilgan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o'tkaziladigan tadqiqotlarning dolzarbligi va unga bo'lgan talab, tadqiqot maqsadi va vazifalari asoslangan, tadqiqot ob'ekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning Respublika fan va texnologiyalarni rivojlanishining ustuvor yo'nalishlarga muvofiq kelishi ko'rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, ularning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilinishi, nashr etilgan ishlar bo'yicha ma'lumotlar dissertatsiyaning tuzilishiga oid ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Sintetik akselerogrammalarni yaratish usullarini o'rganilganlik darajasi”** deb nomlangan birinchi bobida Hozirda seysmik harakatlarini prognoz qilish sohasida faqat dastlabki qadamlar qo'yilmoqda. Kuchli harakatlarga oid materiallar yetarli emas, yerning seysmik harakati turlarini tasniflash endigina boshlangan. Bunday tasniflash uchun tebranishlarning ayrim xususiyat, parametrlarini aniqlash kerak, ularning yordami bilan ko'rib chiqilayotgan muammo uchun muhim bo'lgan seysmik tebranishlarning xususiyatlarini kerakli aniqlik bilan tasvirlash mumkin. Y. Nakamura tomonidan olib borilgan tadqiqotlar gruntlarning reaksiya spektrlari va cho'kindi qatlamlar tarkibi haqida muhim izlanishlar olib borgan. H.M. Murakami gruntlarning dinamik xususiyatlari va reaksiya spektrlarini o'rganishda muhim tadqiqotlar olib borgan olimlardan biridir. Ushbu o'rinda F.F. Aptikayev, O.O. Ertelevalar real yozuvlarni masshtablash orqali sun'iy akselerogrammalarni yaratish mavzusidagi ilmiy ishlarida, ya'ni vaqt, tezlik, tezlanish va siljish parametrlarini mahalliy grunt sharoitini hisobga olgan holda sintetik akselerogrammalarni yaratishgan. V.I. Bagdanov, V.M. Grayzer va N.V. Shebalin kabi olimlar kuchli zilzilalar vaqtida seysmogrammalardan foydalangan holda gruntlardagi qoldiq siljish va haqiqiy harakatlarni aniqlash bo'yicha bir qator ilmiy izlanishlar olib borishgan. K.W. Kampbellning 1997 yilda chop etilgan maqolasi “Cho'qqi tezlanishining gorizontal va vertikal komponentlari, yerning eng yuqori tezligi va psevdomotloq tezlanish javob spektrlari uchun empirik manbaga yaqin so'nish munosabatlari” nomli ishlari bilan tanilgan.

W.B. Joyner va D.M. Boore o'z ilmiy ishlarida yer silkinishlarining empirik va nazariy xususiyatlarini o'rganishda, ayniqsa kuchli yer silkinishlari natijasida yuzaga keladigan tebranishlarni o'lchash va tahlil qilishda katta tajribaga ega. Uning ishlari, asosan, yer silkinishlarining kuchi, tezligi va spektral xususiyatlari bilan bog'liq.

Shuningdek, xorijiy davlatlarda ushbu yoʻnalish boʻyicha ilmiy tadqiqotlar olib brogan olimlar K.W. Kampbell, X. Kanai, N. Ambraseys, Allin Kornell, V.I. Sokolov, A.A. Tikhonov, Y.A. Koval, N.A. Kostyuk, A.G. Egorov va boshqalar. Ular gruntni reaksiya spektrlari, ularning litologik tarkibi va fizikaviy holatini aniqlashda muhim natijalarni olishgan.

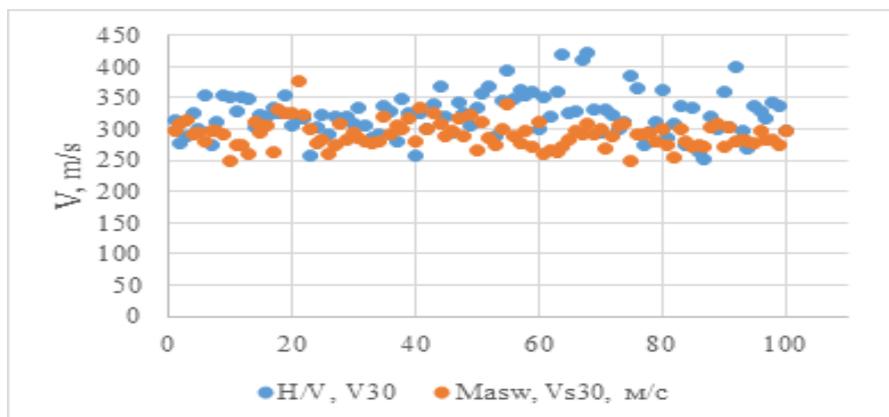
Respublikamizda ushbu ilmiy yoʻnalishda OʻzR FA Seysmologiya institutining olimlari bir qancha maqsadli izlanishlar olib borishgan. Xususan Seysmik xavf va rayonlashtirish laboratoriyasi olimlari T.U. Artikov, R.S. Ibragimov, T.L. Ibragimova, M.A. Mirzayevlar Oʻzbekiston Respublikasi hududining $P=90\%$, $P=95\%$, $P=98\%$, $P=99\%$ extimollikdagi oʻrta grunt sharoitini hisobga olgan holda Umumiy seysmik rayonlashtirish (USR-2017) xaritalarini ishlab chiqishgan.

V.A. Ismailov (2018) oʻzining ilmiy ishlarida Oʻzbekiston Respublikasi hududida tarqalgan barcha turdagi gruntni fizik-mexanik va seysmik xossalari boʻyicha sinflarga ajratgan. V.A. Ismailov va A.X. Ibragimovlar (2018) Jizzax viloyati hududida seysmometrik tadqiqotlar natijasida gruntni HVSR lari orqali amplituda-chastota xossalari hisobga olgan holda seysmik zaiflik indeksi (K_g) toifalarga ajratganlar va jadval ishlab chiqishgan.

A.X. Ibragimov oʻz ilmiy tadqiqotlarida sodir boʻlgan zilzilalarning masofa boʻylab soʻnish qonunlari asosida “Intensiv-Map” dasturini ishlab chiqqan. “Kuchli zilziladan ogohlantirish” mobil ilovasi orqali aholiga qisqa soniyalarda respublikaning aniqlangan hududlarida kuchli zilzila kuzatilishi toʻgʻrisida tezkor xabarnoma yuborish tizimini ishlab chiqishda ishtirok etgan.

Dissertatsiyaning **“Tadqiqot hududining muhandis-geologik va seysmologik sharoitini oʻziga xosligi”** deb nomlangan ikkinchi bobida Oʻzbekiston Respublikasi hududining muhandis-geologik sharoiti haqida batafsil maʼlumotlar va S.M. Qosimov va b.q. lar tomonidan ishlab chiqilgan 1:1 000 000 miqyosdagi xaritasi keltirib oʻtilgan. Xaritada gruntni geologik yoshi, litologik tarkibi, yer osti suvlarining yotish chuqurligi va geologik jarayon va hodisalar keltirilgan. Qolaversa respublika hududida tarqalgan barcha turdagi gruntni fizik-mexanik va seysmik xossalari ifodalovchi V.A. Ismailov tomonidan ishlab chiqilgan jadval berilgan. Shuningdek Oʻzbekiston va unga chegaradosh hududlarda sodir boʻlgan zilzilalarning tarixiy davrdan beri sodir boʻlgan zilzilalar epitsentrlari xaritasi koʻrsatilgan hamda T.U. Artikov, R.S. Ibragimov, T.L. Ibragimova va M.A. Mirzayevlar tomonidan ishlab chiqilgan Oʻzbekiston hududini umumiy seysmik rayonlashtirishning meʼyoriy xaritasi OSR - 2017 MSK-64 makroseysmik shkalasi boʻyicha, $P = 0,98\%$ ehtimoli uchun 50 yil davomida seysmik taʼsir darajasining intensivligidan oshmasligi uchun qurilgan xarita keltirilgan va respublika hududining seysmikligi baholangan. Oʻzbekiston Respublikasi hududining muhandis-geologik va seysmologik sharoitlarini aniqlashda mikrotremor oʻlchovlar maʼlumotlarini qayta ishlashdan foydalanilgan. Ushbu tadqiqotlarning maqsadi geologik tadqiqotlar natijasida aniqlangan gruntni fizik xususiyatlaridan tashqari gruntni xususiy tebranish parametrlarini aniqlash. Grunt tebranishlaridagi mikro-seysmik toʻlqinlarni oʻlchash uchun “Guralp” seysmometri ishlatildi. Bu seysmometr bir vaqtning oʻzida grunt dinamikasining azimutal va vertikal qismlarini yozib oladigan raqamli uch komponentli seysmometr

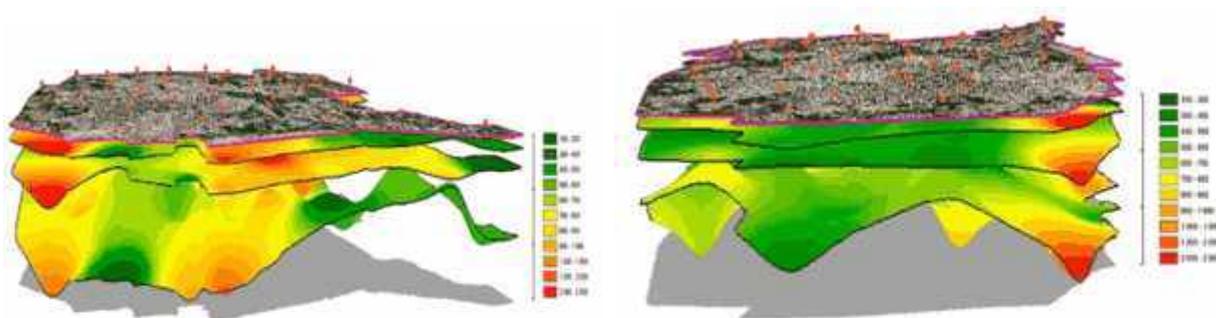
hisoblanadi. Bu usulda O‘zbekiston Respublikasi hududidagi o‘n ikkita shaharlarda o‘lchov ishlari olib borilgan va mikrotremor va MASW malumotlari tahlil qilingan (1-rasm).



1-rasm. Mikrotremor va MASW usullar bilan topilgan tezliklar grafigi (Qarshi shahri hududi misolida)

Ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki mikrotremor va MASW (yuzaki to'liqlar ususli) usullaridan foydalanilgan holda, 30 m chuqurlik bo'yicha 1000 ga yaqin o'lchov nuqtalardan olingan tezliklar (7-10)% oraliqda bir biridan farqi aniqlandi. O'tkazilgan statistik tahlillar mikrotremor usuli bilan gruntnlarning seysmik xususiyatlarini aniqlashda bir muncha qulayliklarga ega bo'lindi.

Mikrotremor usuli yordamida shahar hududlari uchun seysmik to'liqlarning chuqurlik bo'yicha tezlik tarqalishining 3D modellari ishlab chiqildi (2-rasm).



a) bo'ylama

b) ko'ndalang

2-rasm. Buxoro shahrida bo'ylama va ko'ndalang to'liqlar tarqalishning 3D xaritalari

Olib borilgan tadqiqot shuni ko'rsatdiki, birinchi qatlam qalinligi 1.6 va 8.4 m oraliqda o'zgargan, tezliklar mos ravishda bo'ylama to'liqin tezliklari 246 m/s dan 560 m/s nisbatda tarqalgan, ko'ndalang to'liqin tezliklari esa 150 m/s dan 280 m/s oraliqida o'zgargan. Tog' jinslarining zichliklarida ham kichik qiymatlar kuzatilgan. Ikkinchi qatlamda qalinliklari 1.6 m dan 20 m oraliqda o'zgargan, ikkinchi qatlam bo'ylama to'liqin tezliklari 265 m/s dan 1247 m/s oraliqda o'zgargan, ko'ndalang to'liqin tezliklari esa 210 m/s dan 700 m/s oraliqda o'zgargan. Uchinchi qatlam qalinligi (27-100) m oraliqda o'zgarib turadi. Tezliklar esa maksimal qiymatlari bo'ylama to'liqin 2650 m/s ko'ndalang to'liqin esa 1275 m/s qiymatda

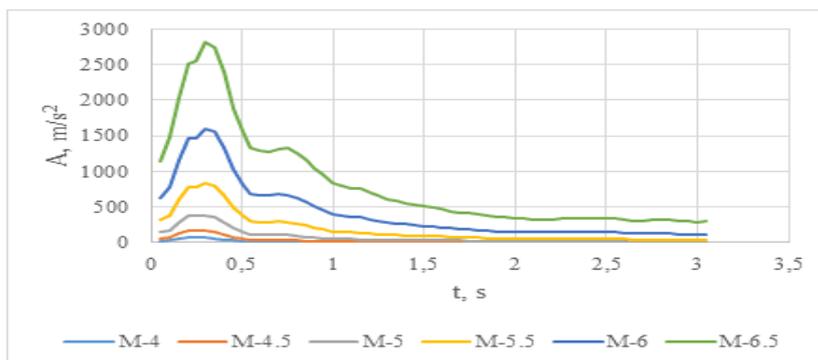
o‘zgaragan. Seysmometrik o‘lchovlar natijasida tog‘ jinslarning xususiy tebranishlari topildi, Gruntlarni qatlamlarga ajratishda seysmik to‘lqinlarni tarqalish tezliklari hisobga olindi.

Dissertatsiyaning “**Sintetik akselerogrammalarni yaratish texnologiyalari**” deb nomlangan uchinchi bobida sintetik akselerogrammalar yaratish texnologiyasining uchta usuli keltirigan. 1. Hisoblangan spektral tezlanishlar jadvallari orqali sintetik akselerogrammalarni yaratish; 2. Gruntlarning javob spektrlari asosida sintetik akselerogrammalar yaratish; 3. Sodir bo‘lgan zilzilalar akselerogrammalar spektrini umumlashtirish va umumlashtirilgan spektr asosida sintetik akselerogramma yaratish.

1. Hisoblangan spektral tezlanishlar jadvallari orqali sintetik akselerogrammalarni yaratish - hisoblangan spektral tezlanishlar jadvallari orqali sintetik akselerogrammalarni yaratish usulida akselerogrammalarni hisoblash uchun dasturlarga kiritiladigan asosiy ma’lumotlar to‘lqin parametrlardir. Bir xil intensivlikdagi turli zilzilalar uchun hisoblangan amplituda Furye spektrlari vaqtga bog‘liq bo‘lgan Furye ketma-ketligining koeffitsiyentlarini kattalik, masofa va grunt sharoitlari funksiyasi sifatida mos fizik spektrdan olish qobiliyatiga asoslanadi, shu bilan aniqlangan spektral qiymatlar bir xil taqsimlangan tasodifiy o‘zgaruvchilar sifatida hisoblanadi. 1-chi ifodada spektral tezlanishlarni hisoblash uchun tenglama ishlatilgan.

$$\begin{aligned} \text{Log PSA} = & b_1 + b_2 M + b_3 M^2 + (b_4 + b_5 M) * \log \sqrt{R_{jb}^2} + b_6^2 + b_7 S_s + b_8 S_A \\ & + b_9 F_N + b_{10} F_R + \varepsilon \sigma \end{aligned} \quad (1)$$

bu yerda, M_W - magnituda, R_{jb} - radius, S_S va S_A - gruntlardagi seysmik tezliklar (V_{S30}), F_N va F_R - o‘choq mexanizimi.

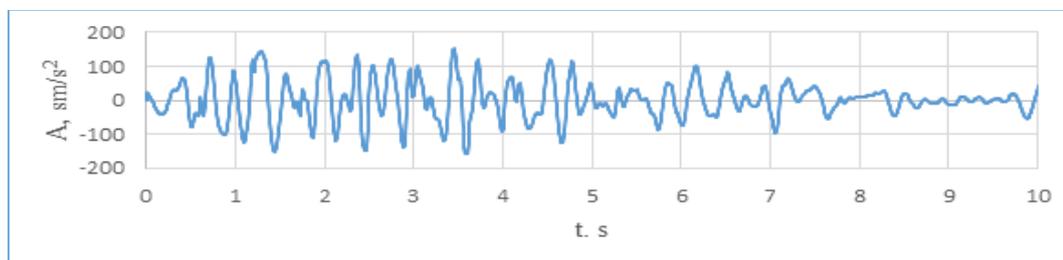


3-rasm. Bir xil masofada turli xil magnitudali zilzila spektri

Seysmik to‘lqinlarning tarqalish va so‘nish xususiyatlarini, shuningdek manbalar va qabul qiluvchilar orasidagi ta’sirlarni tavsiflovchi parametrlarni belgilovchi asosiy omillar gruntlar hisoblanadi. Sintetik akselerogrammalarni hisoblash uchun eng muhim parametrlarga quyidagilar kiradi: zilzilaning o‘choq mexanizmi, geometrik nomuvofiqlik parametrlari, chastotaga bog‘liq bo‘lmagan elastik yutilish, seysmik signal davomiyligining epitsentral masofaga bog‘liqligi

kabilar hisoblanadi. Hisob-kitoblar uchun zarur bo‘lgan ushbu parametrlarni mavjud zilzila yozuvlaridan hisoblanadi.

Sintetik akselerogrammalar dastur yordamida spektral tezlanishlar jadvalidan tuzilgan (3-rasm). Seismoartif dasturi yordami bilan qayta ishlandi va gruntlarda sodir bo‘lish ehtimoli tezlanishiga normalashtiriladi (4-rasm).



4-rasm. Ma’lum bir tezlanishga normallashtirilgan sintetik akselerogramma

2. Gruntlarning javob spektrlari asosida sintetik akselerogrammalar yaratish bunda quyidagi kerakli bo‘lgan ma’lumotlar talab qilinadi. 1. Gruntlarning seysmik xossalari bo‘yicha toifalari; 2. O‘choq mexanizmi; 3. Gruntlarning maksimal tezlanishi; 4. Dinamik koeffitsiyent (d); 5. Dinamik kuchaytirish koeffitsiyenti (β); 6. Javob spektri. Reaksiya spektrlari seysmik qarshilik uchun tuzilmalarni hisoblash nazariyasi va amaliyotida eng muhim, foydali va keng qo‘llaniladigan tushunchalardan biridir. Reaksiya spektrlarini hisoblash muammosi batafsil o‘rganilgan va samarali hisoblash algoritmlari mavjud. Reaksiya spektrining umumiy qabul qilingan shakli har bir chastotada spektral darajalarni o‘rtacha hisoblash yo‘li bilan olinadi. Biroq, parametrlash qoidalariga ko‘ra, o‘lchovsiz parametrlarni qurish uchun o‘lchovli miqdorni ya’ni chastotani ishlatish mutlaqo to‘g‘ri emas (shakli ta’rifi bo‘yicha o‘lchovsiz). Ushbu usul **“o‘rtacha”** spektr darajasining pasayishiga va chastota diapazonining kengayishiga olib keladi. Quyida ***javob spektrini hisoblash algoritmini*** 2 - ifodada keltirib o‘tilgan.

$$\log \tau = 0,15Ms + 0,5 \log R + C_1 + C_2 - 1,3 \pm 0,3, \quad (2)$$

(2) ifodadagi zilzilalarning o‘choq mexanizimida sodir bo‘ladigan harakatlar $C_1 - 0,25$ siqilish, kengayish $C_1 - 0,0$ siljish $C_1 - (-0,25)$ koeffitsiyentlari bilan belgilanadi va grunt tulariga bog‘liq holda ushbu qiymatlar $C_2 - 0,15$ birinchi toyifa, $0,00$ ikkinchi toyifa va $0,4$ uchunchi toyifa gruntlar uchun qabul qilingan.

Shuningdek tebranish davrining davomiyligi (impuls kengligi), maksimal amplitudaning birinchi va oxirgi daqiqalari orasidagi yarim doiraning vaqt davomida o‘sish oralig‘i. Impuls kengligi τ yarim doira parametri bo‘lib xizmat qiladi uning empirik ifodasi keltirilgan (3-ifoda).

$$A_i(t) = A_{max} \left(\frac{3t\tau}{9t^2 - 9t\tau + 4\tau^2} \right), \quad (3)$$

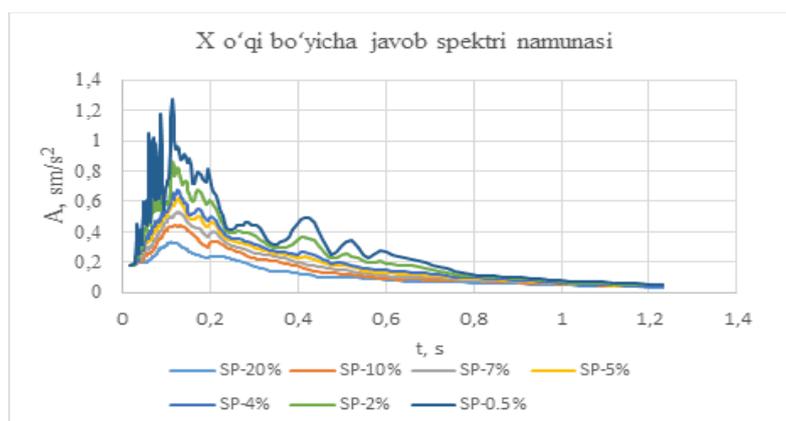
bu yerda, t - vaqt τ - asosiy davomiylilikning tebranish bosqichlari. F.F. Aptikayevga ko‘ra, bu tebranish konverti amplitudasining maksimal darajadan $1/2$ dan oshadigan vaqt oralig‘i sifatida belgilanadi.

$$B_{i,2} = B_{i,1} \left(\frac{\beta(T)}{\beta_1(T)} \right), \quad (4)$$

bunda, β -dinamik kuchaytirish koeffitsiyenti, bu erda $\beta_1(T)$, bizning holatlarimizda, umumlashtirilgan dinamik daromad spektri va $\beta_2(T)$ - bu birinchi takrorlash davrida olingan egri chiziq.

$$a_{\beta}^0(t) = A(t) \sum_{i=1}^n B_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (5)$$

(5) ifoda orqali hisoblangan seysmik ta'sirlarni sintez qilish algoritmi, ushbu ishda RB – 06-98 me'yoriy hujjat 3-ilova (Loyihalarni asoslash uchun gruntlarning dastlabki seysmik tebranishlarini aniqlash) tomonidan tavsiya etilgan akselerogramma yaratish usuli qo'llaniladi. Dinamik kuchaytirgich spektriga mos keladigan akselerogrammalarni yozib olish mumkin. Qurilishning loyihalash dasturlarida seysmik tasirni aniqroq baholash uchun uch komponentli akselerogrammalarni sintez qilish va ularning statistik mustaqilligini ta'minlash kerak. Ikkita akselerogramma statistik jihatdan mustaqil hisoblanadi, agar korrelyatsiya koeffitsiyentining mutloq qiymati 0.3 dan oshmasligi kerak. Maksimal gorizontaal tebranishning dinamik kuchaytirgich qiymati $\beta_X(T)=3.2$. Maqsad, spektrdan 10% og'ishgacha ruxsat beriladi (5-rasm).



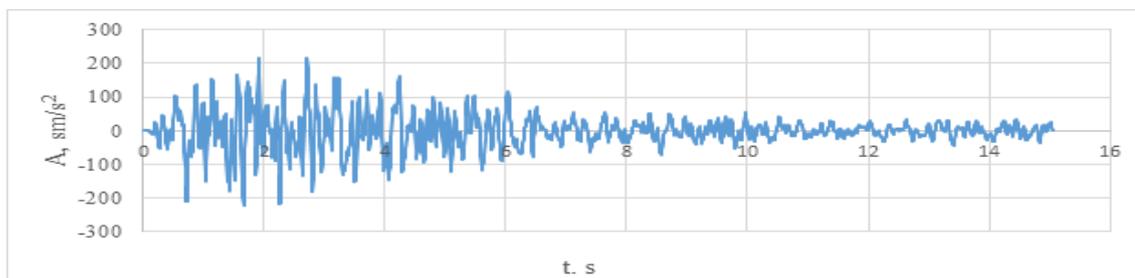
5-rasm. Turli xil so'nish qonuniyatlarining javob spektrlari

Grunt javob spektri, geologik qatlamning turli chastotadagi tebranishlarga javob berishini ko'rsatuvchi diagrammadir. Bu spektrda, vaqt bo'yicha tushirilgan amplituda shakli ko'rinishi yoki yer usti xarakterlarining elastik va plastik xususiyatlarini o'zida namoyon qilgan.

Grunt javob spektriga asoslangan sintetik akselerogrammalar loyihalash dasturlarida uch o'q bo'yicha seysmik ta'sirni berishda bir muncha qulayliklar yaratadi (6-rasm).

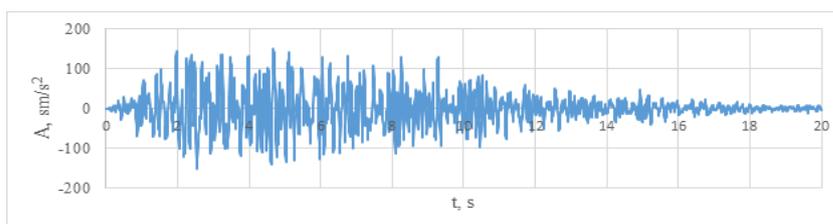
3. Sodir bo'lgan zilzilalar akselerogrammalar spektrni umumlashtirish va o'rta spektr asosida sintetik akselerogramma yaratish. Seysmik ta'sirni baholashda sintetik akselerogrammalar loyihalananayotgan binolar uchun real seysmik holatni o'zida aks ettirishi kerak, sodir bo'lishi mumkin bo'lgan zilzilalarni ta'sir darajasini orttirib ham, kamaytirib ham ko'rsatmasligi asosiy vazifa hisoblanadi. Sintetik akselerogrammalar yaratishda real zilzila yozuvlaridan foydalanildi. Magnitudasi

$M > 4$ dan yuqori bo'lgan zilzilalar tanlab olindi. Tadqiqotimizda bir nechta seysmik stansiya yozuvlari tahlil qilindi va ikkita mahalliy seysmik stansiyalar tanlab olingan.



6-rasm. Grunt javob spektri asosida yaratilgan sintetik akselerogramma

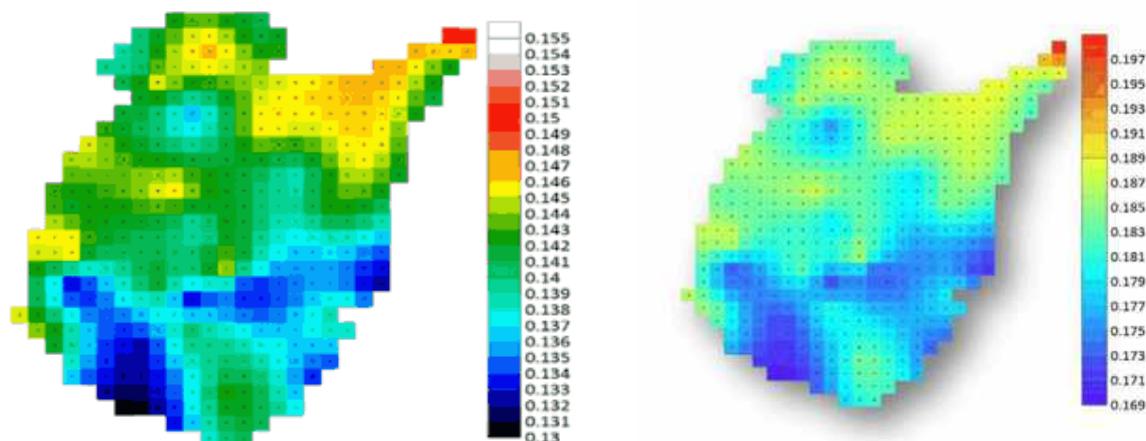
O'rta spektrni aniqlash uchun 50 ga yaqin real zilzila yozuvlaridan foydalanildi. Bino-inshootlarga seysmik tasirni oldindan baholash uchun uch o'qda seysmik ta'sir beriladi, bino-inshootlarga real seysmik ta'sirni baholash zaruriy omil hisoblanadi. Sintetik akselerogrammalarni uch o'q bo'yicha yaratish talab qilinadi. Shuning uchun real seysmik ta'sirni baholash uchun real zilzila spektrlaridan foydalanildi. O'rta spektr usulida uch komponent bo'yicha real zilzila yozuvlarini birlashtirildi, birlashtirilgan spektrlarning o'rtacha qiymatlari aniqlandi. Uch komponent bo'yicha o'rta spektrga asoslangan sintetik akselerogrammalar yaratildi. Yaratilgan akselerogrammalar ma'lum hududda joylashgan yer yoriqlari va zilzila o'choqlarida sodir bo'ladigan zilzilalarga asoslanadi, 10 ta zilzila o'chog'ining parametrlarini o'zida mujassamlaydi. Bir zilzila o'chog'ida sodir bo'lgan hodisa turli nuqtalarda kuzatildi. Umumlashtirilib o'rta spektr olindi, lekin har bir seysmik stansiyaning epitsentrga nisbatan masofasi, grunt turi va seysmik stansiyalarda o'rnatilgan asboblarning turiligi, bir qancha xatoliklarni keltirib chiqaradi. Ma'lum xatoliklarni bartaraf etish maqsadida ta'sir kuchi seziladigan o'choqlarning zilzila yozuvlarini qayta ishlash natijasida umumlashgan o'rta spektr olindi (7-rasm).



7-rasm. Real zilzila yozuvlarini umumlashtirib o'rta spektrga asoslangan sintetik akselerogramma

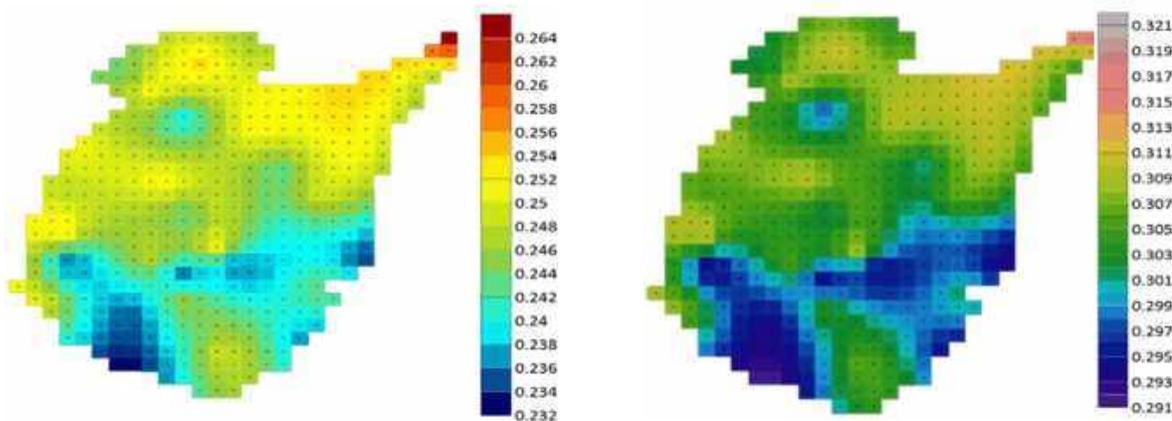
Bundan tashqari tadqiqot ishida Buxoro shahri hududini yacheykalarga ajratish va har bir yacheykalar uchun real zilzilalarning o'rta spektrga asoslangan sintetik akselerogrammalar bazasi ishlab chiqilgan. Buxoro shahri hududi tanlab olindi va bino-inshootlarni loyihalash uchun zamonaviy dasturlarga sintetik akselerogrammalar kiritildi. Seysmik xavfni baholash uchun hududni 1:25 000 masshtabdagi cho'qqi tezlanish xaritasi ishlab chiqilgan. Hududning seysmikligini baholash uchun ma'lum bir davr (50 yil) mobaynida o'ziga xos intensivlikdan oshib

ketish ehtimoliga e'tibor qaratiladi. Buxoro shahar hududida tarqalgan gruntlarning seysmik holatini baholash uchun mikrotremor usuli yordamida 50 dan ortiq o'lchov ishlari olib borilgan. Olib borilgan o'lchov ma'lumatlaridan gruntlarda chuqurlik bo'yicha tarqalish tezliklari hisoblangan.



Ehtimollik P = 90% uchun
(PGA, sm/s^2)

Ehtimollik P = 95% uchun
(PGA, sm/s^2)



Ehtimollik P = 98% uchun
(PGA, sm/s^2)

Ehtimollik P = 99% uchun
(PGA, sm/s^2)

8-rasm. Buxoro shahri hududining turli xil grunt sharoitlarini hisobga olib yacheykalarga ajratilgan va o'rta spektrga asoslanib yaratilgan sintetik akselerogrammalar bazasi

Hududda joylashagan har bir o'lchov nuqtasi uchun ko'ndalang to'lqin tezligi (V_{s30}), Eurocode 8 (CEN 2004) tasnifi bo'yicha, hisobga olingan va shunga asoslanib hisoblashlar amalga oshirilgan. Ushbu tadqiqot uchun o'tkazilgan tahlillarda "Open Quake" dasturining 3.19 versiyasi ishlatilgan. Buxoro shahri hududida olib borilgan ishlar natijasini tahlil qilib 50 yil ichida intensevligi ortib ketmaslik ehtimoli uchun 1:25 000 mashtabda cho'qqi tezlanish xaritasi ishlab chiqildi. Ishlab chiqilgan xaritaga asoslanib 500 m ga 500 m lik yacheykalarga ajratib olindi, har bir yacheyka uchun real zilzila o'rta spektriga asoslangan sintetik akselerogrammalar bazasi ishlab chiqildi. Sintetik akselerogrammalar tebranish

davomiyligi 20 sekundni tashkil qiladi, yaratilgan akselerogrammlar bazasi xalqaro talablarga mos keladi (8-rasm).

Buxoro shahri hududini yacheykalarga ajratishdan maqsad qurilish loyihalash ishlari uchun seysmik xavfni oldindan baholash maqsadida ishlab chiqilgan. Sodir bo‘lishi mumkin bo‘lgan zilzilalarning maksimal ta’sirini hisobga olindi va yacheykalarni yirik masshtablarga ajratilganligi aniqlikni yanada oshiradi. Kelajakda loyihalananayotgan qurilish ishlari uchun birmuncha qulayliklar yaratadi, ishlab chiqilgan 500 m ga 500 m o‘lchamli yacheyka hududida bino-inshoot loyihalansa yaratilgan bazadan foydalanish mumkin bo‘ladi.

Dissertatsiyaning **“Grunt sharoitlari uchun yaratilgan sintetik akselerogrammlarni muhandislik kompyuter dasturlari yordamida baholash”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida uch xil texnologiya asosida yaratilgan sintetik akselerogrammlarni zamonaviy muhandislik dasturlarida tajriba-sinovlardan o‘tkazildi. Xususan **“Strata”** dasturidan foydalangan holda baholandi. Dasturning mohiyati shundaki, ssenariy zilzilasiining parametrlari, ya’ni eng yuqori tezlanish, seysmik to‘lqinlarning maksimal tezligi, yer osti suvlari sathi, tebranish davri va chastotasi belgilanadi. Gruntning turi, ma’lum bir qatlamning har bir qatlamidagi ko‘ndalang to‘lqinlarning tezligi, gruntning zichligi va qoya tosh tog‘ jinslarining hajm og‘irligi va yer osti suvlari sathi. Turli seysmologik grunt sharoitlari uchun yaratilgan sintetik akselerogrammlarni **“Strata”** dasturi yordamida baholash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

“Strata” dasturi orqali yaratilgan sintetik akselerogrammlarni cho‘qqi tezlanish qiymatlari jadvali

PGA (sm/s ²)	Hisoblangan spektral tezlanishlar jadvallari orqali sintetik akselerogramma	Grunt javob spektri asosida yaratilgan sintetik akselerogramma	Real zilzilalarning o‘rta spektri asosida yaratilgan sintetik akselerogramma
	PGA (g)	PGA(g)	PGA(g)
158	0,18	0,19	0,21
211	0,32	0,28	0,27
372	0,45	0,44	0,46

“Plaxis 3D” dasturidan foydalangan holda yaratilgan sintetik akselerogrammlar baholangan. **“Plaxis 3D”** yordamida qo‘yilgan masalani yechishda HS small model turidan foydalaniladi. Plaxis 3D da gruntda to‘lqin tarqalishi kabi dinamik masalalarini yechishda grunt parametrlarini statikadagi o‘zgarish qiymatlarini emas, balki, HS modelidagi deformatsiyaga bog‘liq ravishda o‘zgaruvchi parametrlardan foydalanish ancha aniqroq natijalarni olishga imkon beradi. **“Plaxis 3D”** dasturi yordamida tanlab olingan shartli o‘zgarish model turli xil grunt sharoiti va turli texnologiyalar asosida ishlab chiqilgan sintetik akselerogrammlarni baholandi. Sharitli modelimiz bilan tugunlaridagi tezlik, tezlanish va siljish qiymatlarining o‘zgarishini tahlil qilingan. Olingan natijalar 2-jadvalda berilgan.

“Plaxis 3D” dasturi yordamida yaratilgan sintetik akselerogrammalarni taqqoslash natijalari

PGA (sm/s ²)	Empirik tenglamalar asosida yaratilgan sintetik akselerogramma			Grunt javob spektri asosida yaratilgan sintetik akselerogramma			O‘rta spektr asosida yaratilgan sintetik akselerogramma		
	a _x (sm/s ²)	v _x (sm/s)	u _x (sm)	a _x (sm/s ²)	v _x (sm/s)	u _x (sm)	a _x (sm/s ²)	v _x (sm/s)	u _x (sm)
158	523,6	37,7	18,9	606,4	36,3	15,7	592,3	39,1	19,1
211	777,1	55,1	24,8	733,4	57,3	32,9	763,1	52,1	34,1
372	984,4	110,5	58,2	1010,9	123,1	50,7	1014,2	58,6	58,1

Ilmiy tadqiqotda sintetik akselerogrammalarni baholash uchun bino-inshoatlarni seymik bardoshligiga loyihalashda ishlatiladigan “LIRA-SAPR” hisoblash dasturidan foydalanildi. Hozirgi kunda mamlakatimizda keng miqyosda qurilish ishlari olib borilmoqda, “LIRA-SAPR” hisoblash dasturi asosida 16-qavatli turarjoy bino modelidan foydalanilgan. Seysmik tahlil qilishda, ayniqsa, sintetik akselerogrammalarni ishlatish juda samarali, chunki ular real zilzila ta’sirlarini takrorlashga imkon beradi va binoning seysmik ta’sirlarga qanday javob berishini aniqroq baholash imkonini beradi. “LIRA-SAPR” dasturi orqali sintetik akselerogrammalar yordamida tahlil qilingan binolarda yuzaga keladigan maksimal deformatsiyalar aniqlanadi.

“LIRA-SAPR” dasturi yordamida, yaratilgan sintetik akselerogrammalarni sinovdan o‘tkazish va taqqoslash natijalari

PGA (sm/s ²)	Empirik tenglamalar asosida yaratilgan sintetik akselerogramma			Grunt javob spektri asosida yaratilgan sintetik akselerogramma			O‘rta spektr asosida yaratilgan sintetik akselerogramma		
	“X” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Y” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Z” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“X” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Y” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Z” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“X” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Y” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)	“Z” o‘qi bo‘yicha bino siljish, (sm)
158	18,9	10,8	6,3	19,01	10,9	6,2	19,2	11,5	6,72
211	31,9	17,3	11,2	33,4	17,4	10,8	39,7	18,9	12,3
372	76,3	38,9	20,8	80,2	42,03	20,1	82,6	43,3	21,7

Ilmiy ishimizda tanlab olingan modelga uch xil seysmik kuch berib 16-qavatli turar joy binosida sinov o‘tkazildi. Binoga ta’sir qiluvchi tashqi omillar hisobga olingan bo‘lib bino zaminini tashkil qilgan grunt parametrlari ham kiritildi. 1. Tadqiqot ishida empirik (hisoblangan tezlanishlar) tenglamalar asosida olingan sintetik akselerogrammalar uch xil seysmik ta’sirlar ishlab chiqilgan. Xususan a=158 sm/s², a=211 sm/s² va a=372 sm/s² tezlanishlarda. 2. Grunt reaksiya spektri

asosida yaratilgan sintetik akselerogrammlar. Xususan $a=158 \text{ sm/s}^2$, $a=211 \text{ sm/s}^2$ va $a=372 \text{ sm/s}^2$ tezlanishlarda. 3. Zilzilaning real akselerogrammlari spektrlarini umumlashtirish va o'rta spektr asosida sintetik akselerogrammlar. Xususan $a=158 \text{ sm/s}^2$, $a=211 \text{ sm/s}^2$ va $a=372 \text{ sm/s}^2$ tezlanishlarda. Turli xil texnologiyalar asosida yaratilgan sintetik akselerogrammlarni "LIRA-SAPR" dasturida ishlab chiqqan shartli modelimizga uch o'q bo'yicha ta'sir berilgan va olingan natijalar 3-jadvalda ifodalangan.

XULOSA

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha quyidagi asosiy natijalar olingan:

1. Tadqiqot doirasida olib borilgan geofizik va seysmometrik o'lchov ishlari tahlil qilindi va 1000 ga yaqin nuqtada olingan mikrotremor va MASW ma'lumotlarining o'zaro bog'liqlikni ifodalovchi korrelyatsion grafiklar tuzilgan.

2. Mikrotremor usuli yordamida shahar hududlari uchun bo'ylama va ko'ndalang seysmik to'lqinlarning chuqurlik bo'yicha tezliklarining o'zgarish xususiyatlari aniqlangan va grunt qatlamining seysmik xususiyatlari bo'yicha 3D modellari ishlab chiqilgan..

3. Hisoblangan spektral tezlanishlar uchun algoritm asosida dastur ishlab chiqildi va Intelektual mulk agentligidan dastur uchun guvohnoma olingan. Hisoblangan spektrlar orqali sintetik akselerogrammlar yaratilgan.

4. Geologik qatlamlarning turli chastotalardagi tebranishlariga javob beruvchi omillarni hisobga olib, gruntlarning javob spektrlariga asoslangan uch komponentli sintetik akselerogrammlar yaratilgan.

5. Real zilzilalar yozuvlarini qayta ishlash natijasida olingan o'rta spektrga asoslangan sintetik akselerogrammlar ishlab chiqilgan.

6. O'zbekiston hududining turli grunt sharoitlarini hisobga olgan holda hisoblangan spektral tezlanishlar, grunt javob spektri va o'rta spektr asosida ishlab chiqilgan sintetik akselerogrammlar muhandislik dasturlari yordamida modellashtirish orqali baholangan.

7. Buxoro shahri hududi uchun real zilzilalarning o'rta spektriga asoslangan sintetik akselerogrammlar bazasi ishlab chiqildi va yaratilgan baza amaliyotda foydalanish maqsadida loyiha tashkilotlariga taqdim etilda.

Muallif, dissertatsiya mavzusini qo'yilishi va muhokamasida bergan muhim maslahatlari hamda amaliy yordami uchun ilmiy rahbarlarim: g.-m.f.d., professor V.A. Ismailovga va f.-m.f.n. A.X. Ibragimovlarga, shuningdek, sintetik akselerogrammlarni statistik qayta ishlash va tahlil qilishda bergan qimmatli maslahatlari uchun f.-m.f.d. R.S. Ibragimovga o'z minnatdorchiligimni bildiraman.

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

ИНСТИТУТ СЕЙСМОЛОГИИ

РАХМАТОВ АСИЛБЕК РАХМАТ УГЛИ

**ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОГРАММ
ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА
СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ**

04.00.06 – Геофизика. Геофизические методы поисков полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Ташкент-2025

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.1.PhD/FM1219.

Диссертационная работа выполнена в Институте сейсмологии.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.seismos.uz) и на информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Исмаилов Вахитхан Алиханович
доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Хамидов Лутфулла Абдуллаевич
доктор физико-математических наук

Кучкаров Кахрамон Исроилович
доктор философии по физико-математическим наукам (PhD)

Ведущая организация:

Национальный университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «25» июля 2025 года в «09:00» 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).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института сейсмологии (регистрационный номер № 1156) (100128, г. Ташкент, ул. Зулфияхоним, 3. Тел.: +99871 241-51-70).

Автореферат диссертации разослан «11» июля 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 15 от «11» июля 2025 года)



К.Н. Абдуллабеков

Вр.и.о. председателя Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор, академик

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

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мировой практике применение синтетических акселерограмм с учетом физико-геологические особенности механизмов очагов землетрясений, в соответствии с требованиями Еврокода, являющегося мировым стандартом для снижения потерь от сильных землетрясений, обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий, повышения сейсмостойкости строящихся зданий и сооружений в регионах с высокой сейсмической активностью приобретает весомое значение при моделирование реального сейсмического воздействия в сложных инженерно-геологических условиях и неоднородной динамике распространения сейсмических колебаний.

В мире ведутся научные исследования по оценке вероятных сейсмических воздействий для обеспечения сейсмостойкость здания и сооружения, и, соответственно, проектирование прочных строительных конструкций на основе синтетических акселерограмм, созданных с использованием современных инженерных программ. В связи с этим особое внимание уделяется глубокому анализу геолого-тектонических и сейсмологических условий, характерных для каждого сейсмоактивного региона, оценке воздействия землетрясений в непосредственной близости от реальных очагов землетрясения, путем создания синтетических акселерограмм с использованием передовых цифровых технологий, повышению сейсмостойкости с помощью динамических расчетов при проектных и строительных работах.

В нашей республике интенсивно ведутся научные исследования по использованию синтетических акселерограмм, созданных с учетом различных грунтовых условий при проектировании и строительстве зданий и сооружений в качестве оценки параметров сейсмических воздействий. В частности, на основе современных технологий, посредством инженерных программ, определена реакция различных слоев грунта на территории крупных городов на сейсмические воздействия и на основе полученных результатов разработаны синтетические акселерограммы. В этой связи в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УФ-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 годы» среди прочего обозначены задачи по «охране экологии и окружающей среды, улучшению экологической обстановки в городах и районах». При реализации этих задач одной из важных задач является создание технологии синтетических акселерограмм для предварительной оценки сейсмического воздействия на недра на строительных площадках.

Данная диссертационная работа в определенной мере служит реализации задач, обозначенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года №ПП-3190 «О мерах по совершенствованию научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан», Постановлении от 30 июля 2020 года № ПП-4794 «О мерах по коренному

совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан», Постановлении от 16 мая 2023 года № ПШ-158 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан» и других нормативно-правовых актах, связанных с данной деятельностью.

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

Степень изученности проблемы. На сегодняшний день в сейсмоактивных регионах определение сейсмических воздействий на здание и сооружения нуждается в разработке синтетических акселерограмм, которые являются одной из наиболее востребованным показателем при расчете конструкции. В ряде развитых стран мира проводятся целевые научно-исследовательские работы по широкому внедрению использования созданных синтетических акселерограмм в практике проектно-строительных работ. По этой проблеме в разное время проводились исследования такими учеными, как Y. Nakamura, H.M. Murakami, Ф.Ф. Аптикаев, К. Роджан, Н.И. Фролова, О.О. Эртелева, В.И. Багданов, В.М. Грэйзер и Н.В. Шебалин, W.B. Joyner, D.M. Boore, K.W. Campbell, X. Kanai, N. Ambraseys, Allin Cornell, A.A. Тихонов, Ю.А. Коваль, Н.А. Костюк, А.Г. Егоров, Т.У. Артиков, Ю.К. Чернов, В.Ю. Соколов, А.Х. Ибрагимов, P.C. Ибрагимов и В.А. Исмаилов. Y. Nakamura внес свой вклад в эту область, проведя исследования спектров реакции грунтов и формы земной поверхности. H.M. Murakami провел важные исследования динамических свойств и изменений спектров реакции грунтов. В своих исследованиях Ф.Ф. Аптикаев, О.О. Эртелева рассмотрели определение закономерностей возникновения сейсмических колебаний, параметризацию этих колебаний и корреляцию параметров колебаний друг с другом, источником и параметрами окружающей среды. В своей научной работе К.Роджан сосредоточился на создании инструментальной сейсмической шкалы, основанной на вероятности, выявлении и оценке некоторых неизвестных или малоизученных линейных явлений, характерных для сильных движений. За время своей научной деятельности Н.И. Фролова разработала методику определения регионального спектра реагирования для проектирования зданий и сооружений в строительстве и рекомендовала полученные результаты в качестве предложений проектным институтам.

Научных исследований по определению остаточных смещений и фактических движений грунта во время сильных землетрясений с использованием сейсмограмм проведены такими исследователями, как В.И. Багданов, В.М. Грэйзер и Н.В. Шебалин.

В своих научных работах В.Б. Джойнера и Д.М. Бура анализировали и охарактеризовали особенности сейсмических колебаний на поверхности Земли при сильных землетрясениях и промышленных взрывах. Исследования В.Б. Джойнера в основном посвящены изучению возникновения, распространения вибраций и влияния этих явлений на городскую инфраструктуру. Д.М. Бур имеет большой опыт в изучении эмпирических и теоретических аспектов землетрясений, особенно в измерении и анализе колебаний, вызванных сильными землетрясениями. Его работа в основном связана с силой, скоростью и спектральными свойствами землетрясений. Х. Канаи провел важные исследования в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства по моделированию сейсмических волн и созданию синтетических акселерограмм. Н. Амбрасейс был одним из ведущих ученых Европы в области инженерной сейсмологии и воздействия землетрясений на сооружения. Проводил научные исследования по созданию синтетических акселерограмм и оценке сейсмической опасности. Н. Амбрасейс предложил несколько решений для анализа последствий землетрясений путем связывания сейсмических событий с историческими данными. Его работа имеет большое значение в современной сейсмологии и внесла значительный вклад в совершенствование методов моделирования акселерограмм. Его исследования позволили более точно проанализировать воздействие землетрясений на конструкции, связав инженерные симуляции с сейсмическими событиями. А. Корнелл широко популяризировал подход, основанный на оценке риска, и внес вклад в развитие инженерной практики сейсмостойкости во многих странах. В своей научной деятельности В.Ю. Соколов, А.А. Тихонов, Ю.А. Коваль, Н.А. Костюк, А.Г. Егоров проделали большую работу по изучению сейсмических свойств грунтов и формированию спектра их реакций. Кроме того, исследования, направленные на оценку свойств грунтов при воздействии землетрясений, привели ко многим важным теоретическим работам в области изучения сейсмического напряжения и динамической реакции грунтов, а также к инновационным методам анализа спектра реакции грунтов и оценки их сейсмической опасности.

Необходимо отметить также, научные труды Ш.А. Хакимов, Т.У. Артиков, В.Ю. Соколов, В.А. Кондратьев, С.А. Тягунов, А.Х. Ибрагимов, В.А. Исмаилов, Р.С. Ибрагимов, Т.Л. Ибрагимова, А.С. Ювмитов, Э.М. Ядигаров, М.А. Мирзаев и другие, в которых приведены методология оценки сейсмической опасности и сейсмического воздействия на строительных площадках. .

Анализ соответствующих исследований показал, что использование синтетических акселерограмм в качестве сейсмических воздействий обеспечить сейсмостойкость конструкции зданий и сооружений.

Связь диссертационного исследования с планами научных исследований научно-исследовательского учреждения, в котором

выполнена диссертация. Данное диссертационное исследование выполнено в рамках прикладного проекта (2021-2022 гг.) по теме «Создание регионального банка реальных и синтетических акселерограмм сейсмогенных зон, расположенных на территории Узбекистана и приграничных регионов» в соответствии с планом научных исследований Института сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан.

Целью исследований является разработка технологии создания синтетических акселерограмм с учетом разных грунтовых условий территории Узбекистана отражающие уровень сейсмических воздействий на здание и сооружений при сильных землетрясениях на строительных площадках.

Задачи исследования заключаются в следующем:

анализ и систематизация существующих технологии создания синтетических акселерограмм и выбрать наиболее эффективную технологию для сейсмоактивного региона Узбекистана;

анализ параметров, произошедших на территории Узбекистана сильных землетрясений и проведение инструментальных сейсмометрических и геофизических полевых работ для оценки состояния грунтов;

разработка 3D моделей распространения сейсмических волн в грунтовых слоях на примере областных центров Республики Узбекистан;

создание технологии построения синтетических акселерограмм с использованием рассчитанных таблиц ускорений;

обобщение реальных спектров акселерограмм землетрясений, произошедших в нашем регионе, и создание технологии синтетических акселерограмм на основе усредненного спектра;

создание синтетических акселерограмм на основе спектров реакции грунтов;

моделирование созданных синтетических акселерограмм с использованием современного инженерного программного обеспечения и проведение испытаний грунтов и зданий на 3D моделях.

Объект исследования - в качестве объекта исследования были выбраны территории областных центров Республики Узбекистан.

Предметом исследования является технология создания синтетических акселерограмм с учетом различных грунтовых условий.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы геофизические, инструментально-сейсмометрические и инженерно-геологические методы исследований, в том числе метод микротремор, метод MASW для сравнения результатов, инженерно-геологическое расчленение грунтовых толщ, а также программы Strata, Plaxis 3D и Lira Sapr.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены изменения скорости поперечных волн по глубине на основе спектров сейсмических колебаний различных грунтовых слоев и созданы 3D-модели грунтовых толщ;

разработана технология создания синтетических акселерограмм с учетом грунтовых условий строительных площадках, позволяющая количественно оценивать сейсмические воздействия на здание и сооружения при сильных землетрясениях;

разработана база синтетических акселерограмм с учётом реальных сейсмических характеристик грунтов, распространённых на территории города Бухара, на основе средних спектре реальных землетрясений,;

проведена оценка максимальных значений скорости, ускорения и перемещения, возникающих в слоях грунта и фундаментах зданий с использованием анализа синтетических акселерограмм

Практические результаты исследования:

На основе обобщения спектров реакции грунтовых толщ на строительной площадке разработана технология расчета синтетических акселерограмм.

Определены изменения скорости поперечных волн по глубине на основе анализа спектров сейсмических колебаний и разработаны 3D модели слоев грунта на примере областных центров Республики Узбекистан.

С использованием современных программных средств проведена оценка сейсмических нагрузок на грунтовые толщи и здания на основе количественного моделирования синтетических акселерограмм.

Достоверность результатов исследований: объясняется тем, что в рамках диссертационной работы были проведены инструментальные сейсмометрические наблюдения методом микротремер более чем в 1000 точках для определения сейсмических свойств грунтов и скоростного разреза в полевых условиях, а также проведены сопоставления полученных результатов с геологическими, инженерно-геологическими и геофизическими исследованиями, результатами сейморазведочных исследований методом MASW и проведены расчеты по оценке сейсмических колебаний различных грунтовых толщ с использованием современных программ «Strata», «Plaxis 3D», «LIRA-SAPR», "Open Quake".

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований объясняется тем, что при создании синтетических акселерограмм использованы параметры сейсмических воздействий сильных землетрясений на здания и сооружения, которые характеризуются спектром реакции грунтов, таблицей ускорения и обобщенных усредненных спектров реальных акселерограмм землетрясений.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что разработаны 3D-модели слоев территорий областных центров Республики Узбекистан на глубине 100 метров, которые позволяют обеспечить сейсмическую безопасность путем проектирования зданий и сооружений по синтетическим акселерограммам, подходящим для различных грунтовых условий, оценки реакции зданий на сейсмические воздействия, оценки сейсмостойкости зданий и сооружений.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных научных результатов по технологии создания синтетических акселерограмм для оценки сейсмического воздействия на строительных площадках:

в практику проектных организаций ООО «Меъмор архитектура сервис» а также ООО «Коканд лойиха-курилиш» внедрена 3D-модель скоростей распространения поперечных волн, разделенных по глубине, на основе метода удельных спектров колебаний различных слоев грунта (Свидетельство Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства № 20-06/1013 от 28 января 2025 г.). В результате впервые разработаны 3D модели слоев грунта для областных центров Республики Узбекистан, что позволило производить оценку сейсмических воздействий;

Среднечастотная технология создания синтетических акселерограмм на основе анализа реальных записей землетрясений внедрена в практику проектных организаций ООО «Меъмор Архитектура Сервис» и ООО «Коканд лойиха-курилиш» (Справка Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства № 20-06/1013 от 28 января 2025 г.). В результате синтетические акселерограммы позволили реально оценить сейсмические условия, воздействующие на строительную площадку;

Разработанная на основе среднечастотной технологии база данных синтетических акселерограмм, отражающих реальные землетрясения для территории города Бухары, внедрена в практику проектных организаций ООО «Меъмор Архитектура Сервис» и ООО «Коканд лойиха-курилиш» (Свидетельство Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства № 20-06/1013 от 28 января 2025 года). В результате созданные акселерограммы для территории города Бухары дали возможность проектирования зданий и сооружений.

3D-модели, созданные в результате анализа синтетических акселерограмм с помощью инженерных программ, внедрены в практику проектных организаций ООО «Меъмор Архитектура Сервис» и ООО «Коканд лойиха-курилиш» (Свидетельство Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства № 20-06/1013 от 28.01.2025 г.). Результаты позволили оценить максимальные значения скорости, ускорения и смещения, возникающие в слоях грунта и фундаментах зданий.

Апробация результатов исследования. Данное исследование обсуждалось на 3-х международных и 3-х республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, в том числе 4 статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 2 в зарубежных научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 117 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проводимых исследований, цели и задачи исследования, описываются объект и предмет исследования, показано его соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники Республики. Описаны научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта их научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, сведения об опубликованных работах, сведения о структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Степень изученности методов создания синтетических акселерограмм»** даны сведения о том, что в настоящее время в области прогнозирования сейсмических колебаний различных грунтовых толщах сделаны определенные шаги. Материалов касательно инструментально регистрируемых сильных движений недостаточно, а классификация типов сейсмических движений только начинается. Для такой классификации необходимо определить некоторые свойства и параметры колебаний, с помощью которых можно с необходимой точностью описать свойства сейсмических колебаний, важных для рассматриваемой проблемы. Исследования, проведенные Y. Nakamura, привели к важным открытиям относительно спектров реакции грунтов и состава осадочных слоев. Н.М. Murakami — один из ученых, который проводил важные исследования по изучению динамических свойств и спектров реакции грунтов. Первые исследования в этом направлении в СНГ были проведены Ф.Ф. Аптикаевым. По параметризации сейсмических колебаний существуют общие критерии параметризации процессов, в том числе сейсмических колебаний. В этом направлении Ф.Ф. Аптикаев и О.О. Эртелева в своих научных трудах по теме "Создание искусственных акселерограмм путем масштабирования реальных записей" путем масштабирования реальных акселерограмм, зарегистрированных на сейсмических станциях, то есть с учетом местных грунтовых условий, параметров времени, скорости, ускорения и смещения создали синтетические акселерограммы. Ученые, такие как В.И. Багданов, В.М. Грэйзер и Н.В. Шебалин провели ряд научных исследований для определения остаточных смещений и фактических движений грунта во время сильных землетрясений с использованием сейсмограмм. В.М. Грэйзер в своей монографии 1983 года под названием **«Движение грунта в эпицентральных зонах»** подробно рассмотрел состояние грунта во время сильных землетрясений.

K.W. Campbell известен как ведущий ученый в области измерения сейсмических толчков во время землетрясения. Он был известен прежде всего своими научными исследованиями, посвященными динамике толчков и их последствиям. K.W. Campbell наиболее известен своей статьёй опубликованной в 1997 году «Эмпирические соотношения затухания вблизи источника для горизонтальных и вертикальных компонентов пикового ускорения, наивысшей скорости земли и реакционных спектров на псевдоабсолютное ускорение».

В научных работах В.Б. Джойнера и Д.М. Буре занимались специальными записями взрывов и сейсмологическим анализом. Исследования В.Б. Джойнера чаще связывалось с изучением возникновения колебаний, распространения и воздействия этих событий на городскую инфраструктуру. Д.М. Буре имеет большой опыт в изучении эмпирических и теоретических свойств землетрясений, особенно в измерении и анализе колебаний, вызванных сильными землетрясениями. Его работы в основном связаны с силой, скоростью и спектральными свойствами землетрясений.

Также ученые, проводившие научные исследования в этой области за рубежом, такие как К.В. Кэмпбелл, Х. Канаи, Н. Амбрасейс, Аллин Корнелл, В.И. Соколов, А.А. Тихонов, Ю.А. Коваль, Н.А. Костюк, А.Г. Егоров и др. Они получили важные результаты в определении спектров реакции грунтов, их литологического состава и физического состояния.

В нашей республике учёные Института сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан провели ряд целевых исследований в этом научном направлении. В частности, научные сотрудники лаборатории сейсмической опасности и районирования Т.У. Артиков, Р.С. Ибрагимов, Т.Л. Ибрагимова, М.А. Мирзаев. Разработана карта общего сейсмического районирования (УСР-2017) и которая внедрена в практику Министерством строительства и жилищно-коммунального обслуживания Республики Узбекистан с учетом средних грунтовых условий с вероятностью $P=90\%$, $P=95\%$, $P=98\%$, $P=99\%$. Также разработаны карты механизмов очагов землетрясений, произошедших на территории Республики Узбекистан.

В своей научной работе В.А. Исмаилов (2018) классифицировал все типы грунтов, имеющие распространенные на территории Республики Узбекистан, на классы и подклассы по их физико-механическим и сейсмическим свойствам. В.А. Исмаилов и А.Х. Ибрагимов (2018) в соавторстве разделили на категории индекс сейсмической уязвимости (K_u) с учетом амплитудно-частотных свойств грунтов по данным HVSR и разработали таблицу в результате сейсмометрических исследований в Джизакской области.

В своих научных исследованиях А.Х. Ибрагимов разработал программу «Intensiv-Map», основанную на законах затухания землетрясений с изменением расстояния. Участвовал в разработке системы мгновенного оповещения населения о наблюдении сильного землетрясения в конкретных

районах республики в течение нескольких секунд через мобильное приложение «Предупреждение о сильном землетрясении».

Во второй главе диссертации под названием «Соответствие инженерно-геологических и сейсмологических условий исследуемой территории» приведены подробные сведения об инженерно-геологических условиях территории Республики Узбекистан и разработанная С.М. Касымовым и другими карта в масштабе 1:1 000 000. На карте показан геологический возраст грунтов, литологический состав, глубина залегания подземных вод, а также геологические процессы и события. Кроме того, приведена таблица, разработанная В.А. Исмаиловым, которая представляет физико-механические и сейсмические свойства всех типов грунтов, распространенных на территории Республики. Также представлена карта эпицентров землетрясений, произошедших с исторических времен на территории Узбекистана и его приграничных регионах и представлена нормативная карта общего сейсмического районирования территории Узбекистана ОСР – 2017, разработанная Т.У. Артиковым, Р.С. Ибрагимовым, Т.Л. Ибрагимовой и М.А. Мирзаевым, которая построена по макросейсмической шкале MSK-64, для вероятности $P=0,98\%$ в течении 50 лет уровень сейсмического воздействия не должна превышать интенсивность степени воздействия и оценена сейсмичность территории Республики для определения инженерно-геологических и сейсмологических условий территории Республики Узбекистан пользовались переработкой данных измерений микротремора.

Целью данных исследований является кроме определения физических свойств грунтов, определяемых в результате геологических изысканий, определение удельных параметров вибрации грунтов. Использовался сейсмометр “Guralp” для измерения микросейсмических волн колебаний грунта. Данный сейсмометр представляет собой цифровой трехкомпонентный сейсмометр, который одновременно регистрирует азимутальную и вертикальную составляющие динамики грунта. Измерения в двенадцати городах Республики Узбекистан были проведены с использованием данного метода и проанализированы данные микротремора и MASW (рисунок 1).

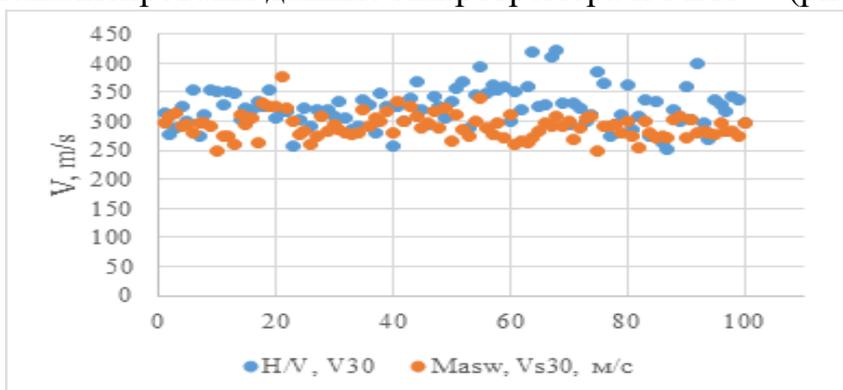
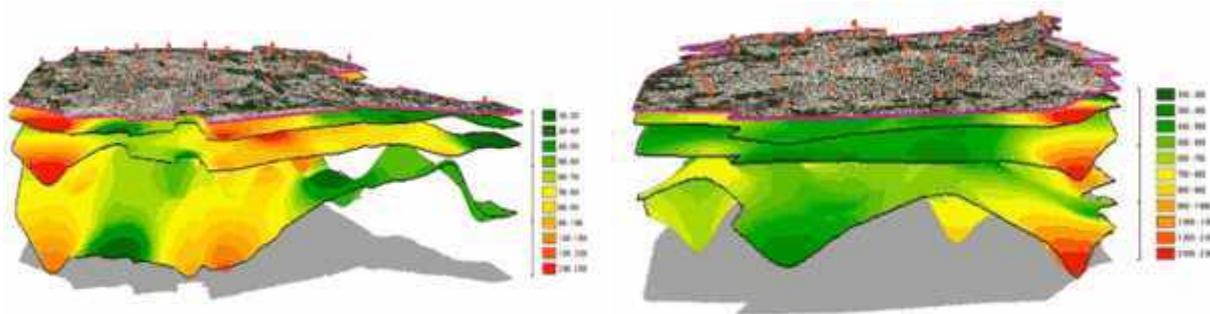


Рисунок 1. График скоростей, найденных методами микротремора и MASW (На примере района города Карши)

Анализ данных показал, что при использовании методов микротремора и MASW (метод поверхностных волн) скорости, полученные примерно по 1000 точкам измерений на глубине 30 м, отличались друг от друга на (7–10)%. Проведенные статистические анализы обеспечили определенные удобства при определении сейсмических свойств грунтов методом микротремора.

При помощи метода микротремора были разработаны 3D модели распределения скорости сейсмических волн в зависимости от глубины для городских территорий (рисунок 2).



а) продольные

б) поперечные

Рисунок 2. 3D карты распространения продольных и поперечных волн в городе Бухара

Исследование показало, что толщина первого слоя изменялась от 1,6 до 8,4 м, а скорости, соответственно, продольных волн распространялись в отношении от 246 м/с до 560 м/с, а скорость поперечных волн в промежутке – от 150 м/с до 280 м/с. Небольшие значения наблюдались также в плотности горных пород. Во втором слое в промежутках толщины от 1,6 м до 20 м, изменялись, во втором слое изменялись скорости продольных волн от 265 м/с до 1247 м/с, а скорости поперечных волн изменялись в пределах от 210 м/с до 700 м/с. Толщина третьего слоя колеблется в пределах (27-100) м. А скорости изменялись: максимальные значения продольной волны составляли 2650 м/с, а поперечной волны 1275 м/с. При разделении грунтов на слои учитывались скорости распространения сейсмических волн.

В третьей главе диссертации под названием «**Технологии создания синтетических акселерограмм**» представлены три метода технологии создания синтетических акселерограмм. 1. Создание синтетических акселерограмм по таблицам рассчитанных спектральных ускорений; 2. Создание синтетических акселерограмм на основе спектров реакции грунтов; 3. Обобщение спектров акселерограмм произошедших землетрясений и создание синтетической акселерограммы на основе обобщенного спектра.

Создание синтетических акселерограмм с использованием таблиц, рассчитанных спектральных ускорений - в методе создания синтетических акселерограмм с использованием таблиц расчетных спектральных ускорений основными данными, вводимыми в программы расчета акселерограмм,

являются параметры волн. Амплитудные спектры Фурье, рассчитанные для различных землетрясений одинаковой интенсивности, основаны на способности извлекать коэффициенты зависящего от времени ряда Фурье из соответствующего физического спектра в зависимости от магнитуды, расстояния и состояния грунта, при этом определяемые спектральные значения вычисляются как равномерно распределенные случайные величины. В первом выражении уравнение использовалось для расчета спектральных ускорений.

$$\text{Log PSA} = b_1 + b_2M + b_3M^2 + (b_4 + b_5M) \log \sqrt{R^2_{jb} + b^2_{\sigma} + b_7S_s + b_8S_A + b_9F_N + b_{10}F_R} + \varepsilon\sigma, \quad (1)$$

здесь M_W — магнитуда, R_{jb} — радиус, S_s и S_A — сейсмические скорости в грунтах (V_{S30}), F_N и F_A — механизм очага.

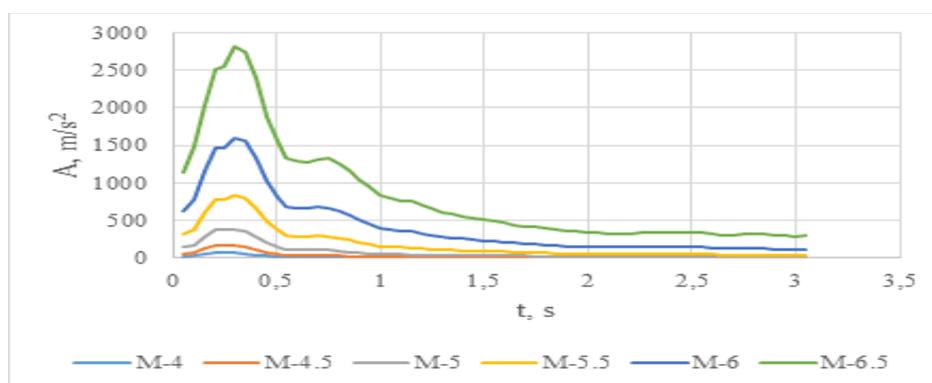


Рисунок 3. Спектр землетрясений разной магнитуды на одинаковом расстоянии

Грунты являются основными факторами, определяющими свойства распространения и затухания сейсмических волн, а также параметры, характеризующие взаимодействие между источниками и приемниками. К важнейшим параметрам для расчета синтетических акселерограмм относятся: механизм очага землетрясения, параметры геометрического расхождения, независимое от частоты упругое поглощение, зависимость длительности сейсмического сигнала от эпицентрального расстояния. Эти параметры, необходимые для расчетов, рассчитываются на основе существующих записей землетрясений.

Синтетические акселерограммы были построены на основе таблицы спектральных ускорений с помощью программного обеспечения (рисунок 3). Обработка данных производилась с использованием программного обеспечения Seismoartif, разработанного компанией Seismosoft и нормировалась по отношению к ускорению, которое может возникнуть в грунтах (рисунок 4).

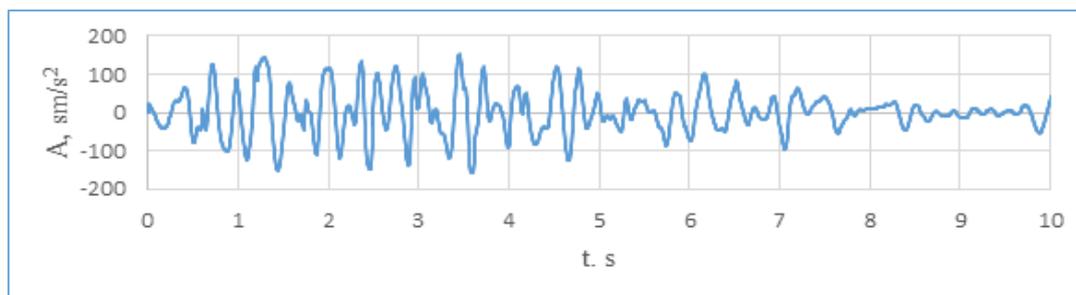


Рисунок 4. Синтетическая акселерограмма, нормированная к заданному ускорению

2. Создание синтетических акселерограмм на основе спектров реакции грунта — для этого необходима следующая необходимая информация. 1. Категории грунтов по сейсмическим свойствам; 2. Механизм очага; 3. Максимальное ускорение грунтов; 4. Динамический коэффициент (d); 5. Коэффициент динамического напряжения (β); 6. Спектр реакции. Спектры реакции являются одним из наиболее важных, полезных и широко используемых понятий в теории и практике расчета конструкций на сейсмостойкость. Проблема расчета спектров реакций детально изучена, и существуют эффективные алгоритмы расчета. Общепринятая форма спектра реакции получается путем усреднения спектральных уровней на каждой частоте. Однако, согласно правилам параметризации, не совсем корректно использовать измеряемую величину, т.е. частоту, для построения безразмерного параметра (форма по определению безразмерна). Этот метод приводит к снижению «среднего» уровня спектра и расширению частотного диапазона. Ниже представлен алгоритм расчета спектра реакции, приведенный во втором выражении:

$$\log t = 0,15M_s + 0,5 \log R + C_1 + C_2 - 1,3 \pm 0,3, \quad (2)$$

Движения, происходящие в очаговом механизме землетрясений в выражении (2), определяются коэффициентами сжатия $C_1 - 0,25$, расширения $C_1 - 0,0$ и смещения $C_1 - (-0,25)$, и в зависимости от типов грунтов эти значения составляют для первой категории $C_2 - 0,15$, для второй категории $0,00$ и для третьей категории $0,4$.

Также длительность периода колебания (ширина импульса), интервал времени между первым и последним моментами максимальной амплитуды, представляет собой увеличение полуокружности. Ширина импульса τ служит полукруговым параметром, и представлено ее эмпирическое выражение (Выражение 3).

$$A_i(t) = A_{max} \left(\frac{3t\tau}{9t^2 - 9t\tau + 4\tau^2} \right), \quad (3)$$

где t — время, а τ — фаза колебания основной длительности. По Ф.Ф. Аптикаеву, он определяется как интервал времени, в течение которого амплитуда колебательной огибающей превышает $1/2$ максимального уровня.

$$B_{i,2} = B_{i,1} \left(\frac{\beta(T)}{\beta_1(T)} \right), \quad (4)$$

где β — коэффициент динамического напряжения, где $\beta_1(T)$, в нашем случае, — обобщенный спектр динамического усиления, а $\beta_2(T)$ — кривая, полученная на первом этапе повторения.

$$a_{\beta}^0(t) = A(t) \sum_{i=1}^n B_i \sin(\omega_i t + \varphi_i), \quad (5)$$

В данной работе использован метод построения акселерограмм, рекомендованный Приложением 3 нормативного документа РБ — 06-98 (Определение начальных сейсмических колебаний грунтов для обоснования проектов) и алгоритм синтеза сейсмических воздействий, рассчитываемых по выражению (5). Могут быть зарегистрированы акселерограммы, соответствующие динамическому усилителю спектра. Для более точной оценки сейсмических воздействий в программах проектирования строительства необходимо синтезировать трехкомпонентные акселерограммы и обеспечить их статистическую независимость. Две акселерограммы считаются статистически независимыми, если абсолютное значение коэффициента корреляции не превышает 0,3. Значение динамического усилителя максимальной горизонтальной вибрации составляет $\beta X(T)=3,2$. Цель допускает отклонение от спектра до 10% (рисунок 5).

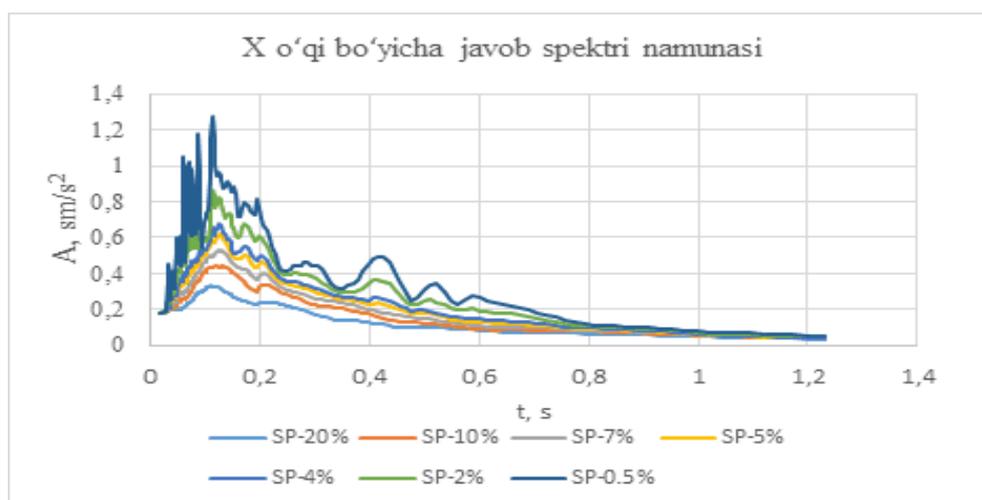


Рисунок 5. Спектры реакции различных законов затухания

Спектр реакции грунта — это диаграмма, показывающая, как геологические слои реагируют на колебания разных частот. В этом спектре форма амплитуды, построенная в зависимости от времени, отражает упругие и пластические свойства движений поверхности земли.

Синтетические акселерограммы, основанные на спектре реакции грунта, обеспечивают некоторое удобство при представлении сейсмических эффектов по трем осям в программах проектирования (рисунок 6).

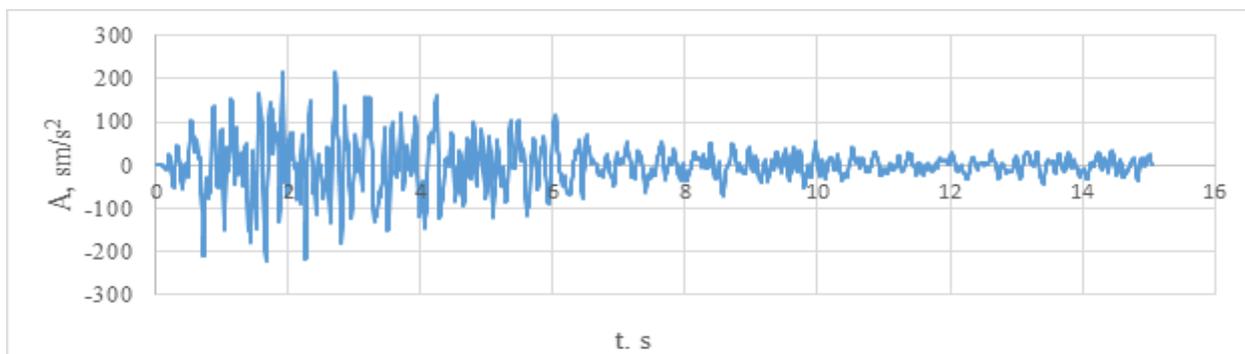


Рисунок 6. Синтетическая акселерограмма, созданная на основе спектра реакции грунта

3. Обобщение спектра акселерограмм произошедших землетрясений и создание синтетической акселерограммы на основе усредненного спектра - при прогнозировании воздействия реального землетрясения с использованием синтетических акселерограмм учитывается связанность различных факторов. При оценке сейсмического воздействия главная задача состоит в том, чтобы синтетические акселерограммы отражали реальные сейсмические условия для проектируемых зданий, а не переувеличивая и не преуменьшая воздействие возможных землетрясений. Для создания синтетических акселерограмм использовались реальные записи землетрясений. Были выбраны землетрясения с магнитудой более $M > 4$. В нашем исследовании были проанализированы записи нескольких сейсмических станций и выбраны две локальные сейсмические станции.

Для определения среднего спектра было использовано около 50 реальных записей землетрясений. Для предварительной оценки сейсмического воздействия на здания и сооружения сейсмическое воздействие задается по трем осям, а оценка реального сейсмического воздействия на здания и сооружения считается необходимым фактором. Требуется создавать синтетические акселерограммы по трем осям. Поэтому для оценки реального сейсмического воздействия использовались реальные спектры землетрясений. Используя метод среднего спектра, реальные записи землетрясений были объединены по трем компонентам и определены средние значения объединенных спектров. Для трех компонентов были созданы синтетические акселерограммы на основе усредненного спектра. Созданные акселерограммы основаны на землетрясениях, происходящих на разломах и очагах землетрясений, расположенных на определенной территории и включают в себя параметры 10 очагов землетрясений. Событие, произошедшее в одном очаге землетрясения, наблюдалось в разных точках. Получен обобщенный средний спектр, однако удаленность каждой сейсмической станции от

эпицентра, тип грунта и разновидность приборов, установленных на сейсмических станциях, вносят ряд погрешностей. В целях исключения некоторых погрешностей в результате обработки записей землетрясений из эпицентров, где ощущалась воздействующая сила, был получен обобщенный усредненный спектр (рисунок 7).

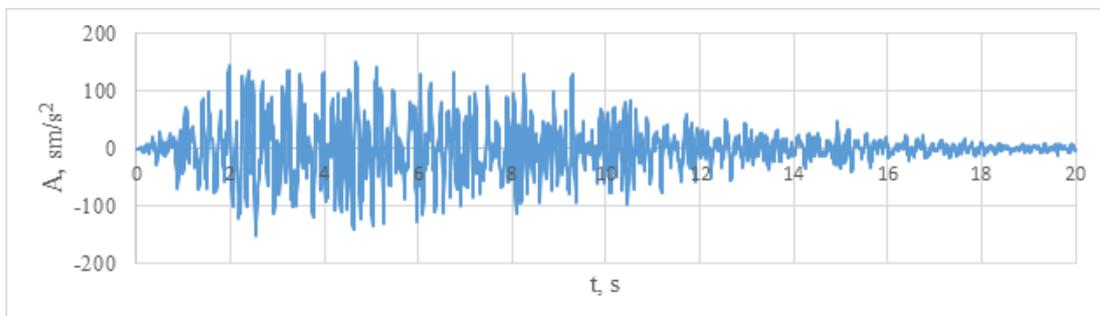
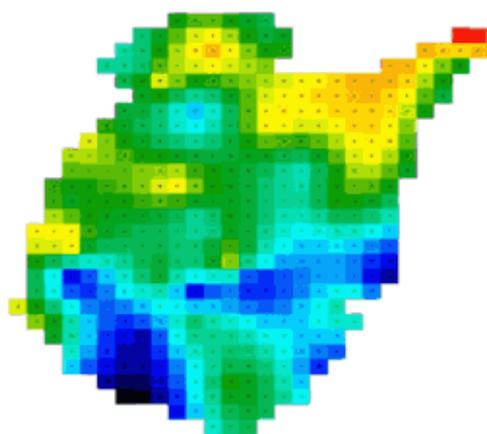


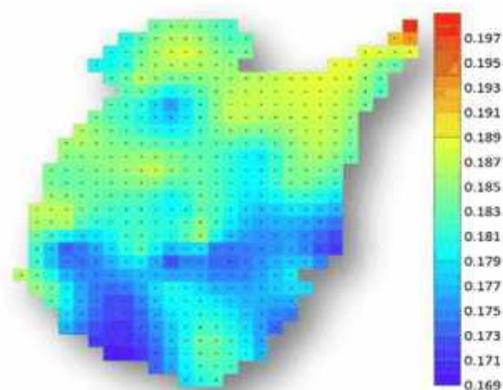
Рисунок 7. Синтетическая акселерограмма на основе среднего спектра, обобщающего реальные записи землетрясений

Кроме того, в ходе научно-исследовательской работы территория города Бухары была разделена на ячейки и для каждой ячейки была разработана база данных синтетических акселерограмм на основе среднего спектра реальных землетрясений. Выбрана территория города Бухары и внедрены синтетические акселерограммы в современные программы проектирования зданий и сооружений. Для оценки сейсмического риска была разработана карта пиковых ускорений района в масштабе 1:25 000. Для оценки сейсмичности территории обращается внимание на вероятность превышения определенной интенсивности за определенный период (в течении 50 лет). Для оценки сейсмического состояния грунтов на территории города Бухары было проведено более 50 измерений методом микротремора. На основании полученных данных измерений были рассчитаны скорости распространения волн в грунтах по глубине. Для каждой точки измерения, расположенной на участке, учитывалась скорость поперечной волны (V_s30) согласно классификации Еврокода 8 (CEN 2004) и на ее основе производились расчеты. Для анализа, проведенных для данного исследования, использовали версию 3.19. программы "Open Quake".

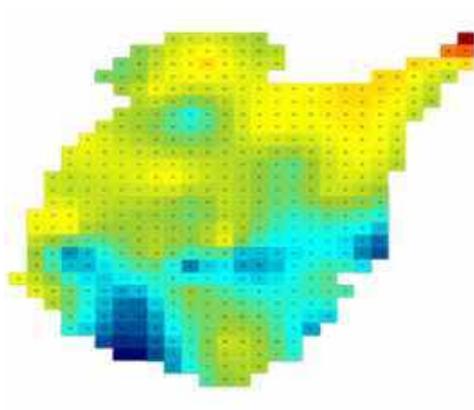
После анализа результатов работ, проведенных в районе города Бухары, была разработана карта пиковых ускорений в масштабе 1:25 000 для определения вероятности отсутствия увеличения интенсивности в течение 50 лет. На основе разработанной карты она была разделена на ячейки размером 500 м на 500 м, и для каждой ячейки была создана база данных синтетических акселерограмм на основе реального среднего спектра землетрясений. Синтетические акселерограммы имеют длительность вибрации 20 секунд, а созданная база данных акселерограмм соответствует международным требованиям (рисунок 8).



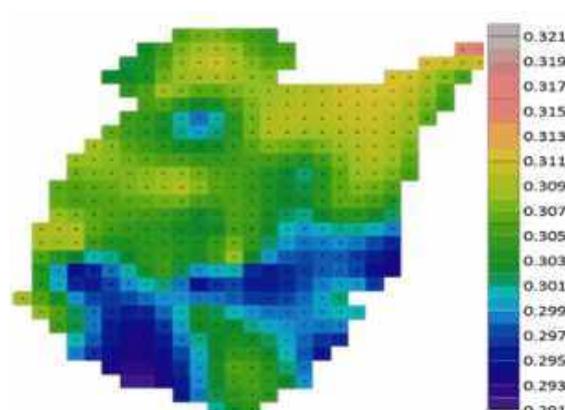
Для вероятности $P = 90\%$
(PGA, $\text{см}/\text{с}^2$)



Для вероятности $P = 95\%$
(PGA, $\text{см}/\text{с}^2$)



Для вероятности $P = 98\%$
(PGA, $\text{см}/\text{с}^2$)



Для вероятности $P = 99\%$
(PGA, $\text{см}/\text{с}^2$)

Рисунок 8. База созданных синтетических акселерограмм, основанных на среднем спектре с учетом различных почвенных условий территории города Бухары, разделенных на ячейки

Целью деления территории города Бухары на ячейки была разработка с целью предварительной оценки сейсмического риска для проектных работ по строительству. Учтено максимальное воздействие возможных землетрясений, а тот факт, что ячейки разделены на большие масштабы, еще больше повышает точность. Это создаст определенные удобства для будущих планируемых строительных работ, а если на разработанной площади ячейки 500 м на 500 м будет спроектировано здание или сооружение, то можно будет использовать созданную базу.

В четвертой главе диссертации под названием «**Оценка синтетических акселерограмм, созданных для грунтовых условий с использованием инженерных компьютерных программ**», были экспериментально проверены в современных инженерных программах синтетические

акселерограммы, созданные на основе трех различных технологий. В частности, оценка проводилась с использованием программы «Strata». Суть программы заключается в том, что определяются параметры сценарного землетрясения, а именно наибольшее ускорение, максимальная скорость сейсмических волн, уровень подземных вод, период и частота колебаний. Тип грунта, скорость поперечных волн в каждом слое известной каждой толщи, плотность грунта и объемная масса каменных горных пород и уровень подземных вод. Результаты оценки синтетических акселерограмм, полученных для различных сейсмологических условий грунтов с помощью программы «Strata», представлены в таблице 1.

Таблица 1

Пиковые значения ускорений синтетических акселерограмм, созданных с помощью программы Strata

PGA (см/с ²)	Синтетическая акселерограмма по таблицам рассчитанных спектральных ускорений	Синтетическая акселерограмма, созданная на основе спектра реакции грунта	Синтетическая акселерограмма, созданная на основе среднего спектра реальных землетрясений
	<i>PGA</i> (g)	<i>PGA</i> (g)	<i>PGA</i> (g)
158	0,18	0,19	0,21
211	0,32	0,28	0,27
372	0,45	0,44	0,46

Проведена оценка синтетических акселерограмм, созданных с помощью программного обеспечения «Plaxis 3D». Для решения поставленной задачи с помощью «Plaxis 3D» используется малая модель типа HS. При решении динамических задач, таких как распространение волн в грунте в Plaxis 3D, использование параметров грунта, изменяющихся в зависимости от деформации в модели HS, а не их неизменных значений в статике, позволяет получать более точные результаты. Мы оцениваем синтетические акселерограммы, разработанные с помощью программного обеспечения «Plaxis 3D», с использованием выбранной условно-инвариантной модели, в различных грунтовых условиях и с использованием различных технологий. С помощью нашей условной модели мы проанализировали изменения значений скорости, ускорения и смещения в узлах. Полученные результаты приведены в таблице 2. В научном исследовании для оценки синтетических акселерограмм использовалась расчетная программа “LIRA-SAPR”, применяемая при сейсмическом проектировании зданий и сооружений. В настоящее время в нашей стране ведутся масштабные строительные работы, при этом используется модель 16-этажного жилого дома на основе расчетной программы “LIRA-SAPR” является одним из важнейших процессов, необходимых для обеспечения сейсмической безопасности. При сейсмическом

анализе использование синтетических акселерограмм особенно эффективно, поскольку они позволяют воспроизводить реальные эффекты землетрясений и дают более точную оценку того, как здание будет реагировать на сейсмические воздействия.

Таблица 2

Результаты сравнения синтетических акселерограмм, созданных с помощью программы «Plaxis 3D»

<i>PGA</i> (<i>см/с²</i>)	Синтетическая акселерограмма, созданная на основе эмпирических уравнений			Синтетическая акселерограмма, созданная на основе спектра реакции грунта			Синтетическая акселерограмма, созданная на основе среднего спектра		
	<i>a_x</i> (<i>см/с²</i>)	<i>v_x</i> (<i>см/с</i>)	<i>u_x</i> (<i>см</i>)	<i>a_x</i> (<i>см/с²</i>)	<i>v_x</i> (<i>см/с</i>)	<i>u_x</i> (<i>см</i>)	<i>a_x</i> (<i>см/с²</i>)	<i>v_x</i> (<i>см/с</i>)	<i>u_x</i> (<i>см</i>)
158	523,6	37,7	18,9	606,4	36,3	15,7	592,3	39,1	19,1
211	777,1	55,1	24,8	733,4	57,3	32,9	763,1	52,1	34,1
372	984,4	110,5	58,2	1010,9	123,1	50,7	1014,2	58,6	58,1

Максимальные деформации, возникающие в анализируемых зданиях, определяются с помощью синтетических акселерограмм с использованием программы “LIRA-SAPR”. При сейсмическом анализе важно проанализировать деформации здания, поскольку они указывают на слабые или сильные стороны структуры.

Таблица 3

Результаты испытаний и сравнения синтетических акселерограмм, созданных с помощью программы “LIRA-SAPR”

<i>PGA</i> (<i>см/с²</i>)	Синтетическая акселерограмма, созданная на основе эмпирических уравнений			Синтетическая акселерограмма, созданная на основе спектра реакции грунта			Синтетическая акселерограмма, созданная на основе среднего спектра		
	смещение здания вдоль оси "X", (см)	смещение здания вдоль оси "Y", (см)	смещение здания вдоль оси "Z", (см)	смещение здания вдоль оси "X", (см)	смещение здания вдоль оси "Y", (см)	смещение здания вдоль оси "Z", (см)	смещение здания вдоль оси "X", (см)	смещение здания вдоль оси "Y", (см)	смещение здания вдоль оси "Z", (см)
158	18,9	10,8	6,3	19,01	10,9	6,2	19,2	11,5	6,72
211	31,9	17,3	11,2	33,4	17,4	10,8	39,7	18,9	12,3
372	76,3	38,9	20,8	80,2	42,03	20,1	82,6	43,3	21,7

В нашей научной работе выбранная модель была испытана в 16-этажном жилом здании при трех различных сейсмических нагрузках. При этом учитывались внешние факторы, воздействующие на здание, в том числе параметры грунта, слогающего основание здания. В ходе научно-

исследовательской работы были разработаны синтетические акселерограммы, полученные на основе эмпирических (расчетных ускорений) уравнений для трех типов сейсмических воздействий. В частности, при ускорениях $a=158 \text{ см/с}^2$, $a=211 \text{ см/с}^2$ и $a=372 \text{ см/с}^2$. 2. Синтетические акселерограммы, созданные на основе спектра реакции грунта. В частности, при ускорениях $a=158 \text{ см/с}^2$, $a=211 \text{ см/с}^2$ и $a=372 \text{ см/с}^2$. 3. Обобщение спектров реальных акселерограмм землетрясений и синтетических акселерограмм на основе среднего спектра. В частности, при ускорениях $a=158 \text{ см/с}^2$, $a=211 \text{ см/с}^2$ и $a=372 \text{ см/с}^2$. Синтетические акселерограммы, созданные на основе различных технологий, подвергались трехосному воздействию на нашу условную модель, разработанную в программе “LIRA-SAPR”, полученные результаты представлены в таблице 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По теме диссертации получены следующие основные результаты:

1. На основе проведенных полевых инструментально-сейсмометрических и сейсморазведочных исследований в более 1000 точка установлены корреляционные графики зависимости между амплитудно-частотными характеристиками микротремор и скоростными параметрами, полученными методом MASW.

2. С использованием метода микротремор установлены особенности изменения значения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн по глубине в различных грунтовых толщах на территории городов и построены 3D модели скоростных характеристик грунтовых толщ.

3. На основе алгоритма расчета спектральных ускорений разработана программа по созданию синтетических акселерограмм и получен сертификат Агентства по интеллектуальной собственности.

4. Созданы трехкомпонентные синтетические акселерограммы на основе спектров реакции грунтов с учетом факторов, реагирующих на колебания геологических слоев на разных частотах.

5. Разработаны программа по созданию синтетических акселерограмм на основе усредненного спектра, полученного при обработке записей реальных землетрясений, которая позволяет оценить уровень сейсмических воздействии на строительных площадках с учетом грунтовых условий.

6. Синтетические акселерограммы, разработанные на основе спектральных ускорений, спектра реакции грунта и среднего спектра, рассчитанных с учетом различных грунтовых условий на территории Узбекистана, были оценены путем моделирования с использованием инженерного программного обеспечения “LIRA-SAPR”.

7. Для территории города Бухары была разработана база данных синтетических акселерограмм на основе усредненного спектра реальных землетрясений, которая передана проектным организациям с целью использования при проектировании высотных зданий.

Автор выражает благодарность научным руководителям к.ф.-м.н. А.Х. Ибрагимову и д.г.-м.н., проф. В.А. Исмаилову и за ценные советы и практическую помощь в формулировании темы и обсуждении диссертации, также выражает признательность д.ф.-м.н. Р.С. Ибрагимову за ценные советы по статистической обработке и анализу разработанных синтетических акселерограмм.

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

INSTITUTE OF SEISMOLOGY

RAHMATOV ASILBEK RAHMAT OGLI

**TECHNOLOGY FOR CREATING SYNTHETIC ACCELEROGRAMS TO
ASSESS SEISMIC IMPACT AT CONSTRUCTION SITES**

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 of 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/FM1219.

The dissertation has been prepared at the Institute of Seismology.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) on the website of the Scientific Council (www.seismos.uz) and on the information and educational portal "ZiyoNet" (www.ziynet.uz)

Scientific adviser: **Ismailov Vakhitkhan Alikhanovich**
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor

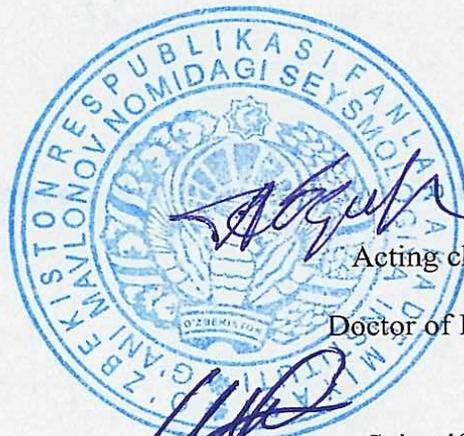
Official opponents: **Khamidov Lutfulla Abdullaevich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Kuchkarov Kakhramon Isroilovich
Doctor of Philosophy in Physical and Mathematical Sciences (PhD)

Leading organization: **National University of Uzbekistan**

The defense will take place «25» July, 2025 at 09:00 at 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).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Center of the Institute of Seismology (is registered under № 1156) (Address: 100128, Tashkent city, Zulfiyakhonim street, 3; Ph.: +99871 241-51-70).
The abstract of the dissertation is distributed on «11» July 2025.
(register of this distributed protocol from № 15 dated «11» July 2025)



K.N. Abdullabekov
Acting chairman of the Scientific Council for
awarding scientific degrees,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Academician

Z.F. Shukurov
Scientific secretary of the Scientific Council
awarding scientific degrees,
doctor of Philosophy (PhD)

A.I. Tuychiev
Deputy chairman of Scientific seminar at
Scientific council for awarding of scientific degrees,
doctor of Physical and Mathematical Sciences

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

The aim of the research work It is to develop a technology for creating synthetic accelerograms that represent the seismic effects of strong earthquakes on construction sites, taking into account the various soil conditions of the territory of Uzbekistan.

The objectives of the research work The territories of the regional centers of the Republic of Uzbekistan were taken.

studying the technologies for creating synthetic accelerograms, which are currently available and in use, and choosing effective technology for our region by systematizing them;

Conduct instrumental seismometric and geophysical field studies to study the parameters of strong earthquakes that occur on the territory of Uzbekistan and to assess soil conditions;

Development of 3D models of seismic wave propagation in soil layers using the example of regional centers of the Republic of Uzbekistan;

creation of a technology for constructing synthetic accelerograms using calculated acceleration tables;

to summarize the spectra of real accelerograms of earthquakes that occurred in our region and create a technology for synthetic accelerograms based on the averaged spectrum;

creation of synthetic accelerograms based on the response spectra of soils;

modeling the created synthetic accelerograms using modern engineering programs as well as testing grunt and buildings in 3D models.

the object of the study The territories of the regional centers of the Republic of Uzbekistan were selected as

The subject of the research Technology for creating synthetic accelerograms to assess seismic impact at construction sites

The scientific novelty of the study consists in the following:

Based on the seismic vibration spectra of various soil layers, the variation of shear wave velocity with depth has been determined, and 3D models of the layers have been created;

a technology for generating synthetic accelerograms that enables quantitative assessment of seismic impacts at construction sites has been developed;

a database of synthetic accelerograms based on the average spectrum of real earthquakes has been developed, taking into account the seismic characteristics of soils distributed in the Bukhara city area;

As a result of analyzing synthetic accelerograms using engineering software, the maximum values of velocity, acceleration, and displacement occurring in soil layers and building foundations were evaluated.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the technology of creating synthetic accelerograms for assessing seismic impact at construction sites:

A 3D model of the propagation velocities of transverse waves separated by depth based on the method of specific vibration spectra of various soil layers was introduced into the practice of the design organizations “Me’mor arhitektura servis” LLC and “Kokand proyekto-kurilsh” LLC (Reference of the Ministry of Construction and

Housing and Communal Services No. 20-06/1013 dated January 28, 2025). As a result, for the first time, 3D models of soil layers were developed on the example of regional centers of the Republic of Uzbekistan, which made it possible to assess seismic impacts;

The mid-spectrum technology for creating synthetic accelerograms based on the analysis of real earthquake recordings has been introduced into the practice of the design organizations “Me’mor Arhitektura Servis” LLC and “Kokand Proyekt-Kurilsh” LLC (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services No. 20-06/1013 dated January 28, 2025). As a result, synthetic accelerograms made it possible to realistically assess the seismic situation affecting the construction site;

The base of synthetic accelerograms developed for the territory of the city of Bukhara based on mid-spectrum technology, reflecting real earthquakes, was introduced into the practice of the design organizations “Me’mor Arhitektur Servis” LLC and “Kokand Proyekt-Kurilsh” LLC (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services No. 20-06/1013 dated January 28, 2025). As a result, the accelerograms created for the territory of the city of Bukhara made it possible to design buildings and structures.

3D models created as a result of the analysis of synthetic accelerograms using engineering programs were introduced into the practice of the design organizations “Me’mor Arhitektur Servis” LLC and “Kokand Proyekt-Kurilsh” LLC (Reference of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services No. 20-06/1013 dated January 28, 2025). The results made it possible to estimate the maximum velocity, acceleration, and displacement values that occur in soil layers and building foundations.

Structure and size of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and a list of used literature. The total size of the dissertation is 120 pages.

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

I Bo‘lim (I Часть; Part I)

1. 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 ILMIY AMALIY JURNALI. №4, 2024. (05.00.00; №4).

2. Рахматов А.Р., Қодиров М, Амиркулов Ж. Технология создания реальных и синтетических акселерограмм // ЎЗМУ ХАБАРЛАРИ. 2023 3/1/1. Табиий фанлар. Тошкент - 2023 й. С. 219-223. (04.00.00; №7)

3. Rahmatov A.R. Jizzax shahri uchun umumlashgan spektr asosida sintetik akselerogramma yaratish // Geologiya va mineral resurslar (ilmiy-amaliy jurnal) №4, 2024 yil. bet. 38-43. (04.00.00; №2)

4. Rahmatov A.R., Yuldashev E.Sh. Litologik tarkibi bir xil, zichliklari har xil bo‘lgan gruntlarda seysmik tebranishlarni o‘zgarishi // O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi yosh olimlar kengashi yosh olimlar axborotnomasi ilmiy jurnali, №4, 2022 yil, 61-65 b.

5. Rakhmatov A, Bozorov J. Evaluation of synthetic accelerograms created using various technologies based on soil models // International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences India, Current Ongoing Issue: 2024 Vol. 14, pp. 62-70. ISSN: 2277-2081.

II Bo‘lim (II часть; Part II)

6. Рахматов А.Р. Оценка изменения скорости сейсмических волн по глубине в грунтах на основе результатов микросейсмических наблюдений / Международная научная конференция «Актуальные проблемы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий» Ташкент 3-4 октября 2023 года. С. 236-242.

7. Рахматов А.Р., Мамарозиков Т.У., Ядигаров Э.М., Ибрагимов А.Х. Комплекцирование методов определения V_{s30} / Международная научная конференция “Актуальные проблемы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий” Ташкент 3-4 октября 2023. С. 242-248.

8. Rahmatov A.R., Muhammadqulov N.M. Sintetik akselerogramma yaratish texnologiyasi (Buxoro shahri misolida) / Mirzo Ulug‘bek nomidagi, O‘zbekiston Milliy universiteti Geologiya va muhandislik geologiyasi fakulteti “Yer haqidagi fanlarning dolzarb muammolari respublika ilmiy anjumani 05 - may 2024 yil. 80-84 b.

9. Rahmatov .R., Muhammadqulov N.M. Umumlashgan spektr asosida sintetik akselerogramma yaratish / “Bino va inshootlarning seysmik xavfsizligi, energiya

samaradorligi, zamonaviy qurilishda innovatsion texnologiyalar” xalqaro ilmiy-texnik anjuman. 22-23 oktabr, Toshkent, 2024 yil. 67-72 b.

10. Raxmatov A.R. Real zilzila yozuvlarini birlashtirib, umumlashgan spektr asosida sintetik akselerogramma yaratish / “Uchinchi Renessans Yosh Olimlari: Zamonaviy Vazifalar, Innovatsiya va Istiqbol” xalqaro ilmiy-amaliy anjuman to‘plami 3-may 2024-yil. 104-108 b.

11. Raxmatov A.R. Seysmik tebranishlar parametrlarini bashorat qilishning sof empirik usuli / Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti “Yer haqidagi fanlarning dolzarb muammolari” / Ilmiy konferensiya materiallari to‘plami. 5 may, 2023 yil. 151-155 b.

12. Raxmatov A.R., Alimov B.G. Tarixiy obidalarning grunt sharoitini hisobga olgan holda seysmik ta’sirni baholash (Tillakori obidasi misolida) / Respublika miqyosidagi ilmiy va ilmiy – texnik anjumani O‘zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini taminlash muammolari 2021-yil 20-21-sentyabr. 141-146 b.

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

Bosishga ruxsat etildi: 10.07.2025 yil
Bichimi: 60x84^{1/16}, “Times New Roman”
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,25. Adadi 100. Buyurtma: № 155
“Innovatsion rivojlanish nashriyot-matba uyi”
bosmaxonasida chop etildi.
100174, Toshkent sh., Olmazor tumani, Talabalar ko‘chasi, 96 uy.