

**MEXANIKA VA INSHOOTLAR SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI  
INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.02/30.08.2022.T.61.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**BABAJANOV MANSURBEK BEKDURDIYEVICH**

**TEBRANMA HARAKAT YO‘NALISHINING QUMLI GRUNTLAR  
TURG‘UNLIGIGA TA’SIRI**

05.09.02 – Geotexnika (Asoslar, poydevorlar va yer osti inshootlari.  
Gruntlar va tog‘ jinslari mexanikasi)

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

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

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

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

**Babajanov Mansurbek Bekdurdiyevich**

Tebranma harakat yo‘nalishining qumli gruntlar turg‘unligiga ta’siri.....3

**Бабажанов Мансурбек Бекдурдиевич**

Влияние направления колебаний на устойчивость песчаных грунтов.....23

**Babajanov Mansurbek Bekdurdiyevich**

Influence of vibration direction on the stability of sandy soils.....45

**E’lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ

List of published works.....48

**MEXANIKA VA INSHOOTLAR SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI  
INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.02/30.08.2022.T.61.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI**

**BABAJANOV MANSURBEK BEKDURDIYEVICH**

**TEBRANMA HARAKAT YO‘NALISHINING QUMLI GRUNTLAR  
TURG‘UNLIGIGA TA’SIRI**

05.09.02 – Geotexnika (Asoslar, poydevorlar va yer osti inshootlari.  
Gruntlar va tog‘ jinslari mexanikasi)

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

**Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.1.PhD/T2140 raqam bilan ro‘yxatga olingan.**

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

**Ilmiy rahbar:**

**Rasulov Hayat Zairovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Salyamova Klara Djabbarovna**

texnika fanlari doktori, professor

**Sultanov Toxirjon Zokirovich**

texnika fanlari doktori, professor

**Yetakchi tashkilot:**

**G‘.O. Mavlonov nomidagi Seysmologiya instituti**

Dissertatsiya himoyasi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti huzuridagi fan doktori ilmiy darajasini beruvchi DSc.02/30.08.2022.T.61.02 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil “27” fevral soat 14<sup>00</sup> dagi majlisida bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100125, Toshkent sh., Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 33-uy, 1-majlislar zali. Tel.: (99871) 262-71-52; faks: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

Dissertatsiya bilan Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 20 raqam bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 100125, Toshkent sh., Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 33-uy. Tel.: (99871) 262-71-52).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil “12” fevral kuni tarqatildi.

(2023 yil “14” dekabrda 1 - raqamli reyestr bayonnomasi).

**D.A. Bekmirzayev**

Ilmiy darajalar beruvchi

Ilmiy kengash raisi, t.f.d., katta ilmiy xodim

**N.A. Nishonov**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, t.f.b.f.d. (PhD), katta ilmiy xodim

**B.E. Xusanov**

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
qoshidagi ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d.

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

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda yangi qurilayotgan muhim ahamiyatga ega bo'lgan bino va inshootlarning umrboqiyiligini oshirishda, ularning zamini va poydevorlarining mustahkamligi hamda ustuvorligini ta'minlash masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. So'nggi yillarda yuz bergan kuchli zilzilalar oqibatlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, zamin gruntlarining quyqalanishi ko'plab bino va inshootlarning shikastlanishiga sabab bo'ladi. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda, xususan, AQSH, Yaponiya, Janubiy Koreya, Rossiya va boshqa mamlakatlarda turar-joy binolari, gidrotexnika, yo'l, meliorativ va boshqa inshootlarning mustahkamligi va seysmik barqarorligini ta'minlash muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga, inshoot zamini gruntlarining seysmik mustahkamligi va turg'unligini oshirish, zaminning yuk ko'tarish qobiliyatini baholashning samarali usullarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda inshoot zaminidagi gruntlarning statik va dinamik ta'sirlardagi mustahkamlik va deformatsiya xususiyatlarini inobatga olib hisoblash nazariyasi va tajriba usullarini takomillashtirish bilan bog'liq ko'plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, gruntlarning seysmik mustahkamligi va turg'unligini oshirish, ularning deformatsiyalanishini baholashning samarali usullarini ishlab chiqish sohani rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlaridan hisoblanmoqda. Bu borada seysmik tebranishlar yo'nalishining grunt tuzilmasining mustahkamligiga ta'sirini o'rganish va zaminlarning yuk ko'tarish qobiliyatini hisoblash usulini ishlab chiqish zilzilabardosh qurilish amaliyotida dolzarb masalalaridan biri hisoblanadi.

Respublikamizda qurilish industriyasini rivojlantirish, qurilayotgan bino va inshootlarning zilzilabardoshligini ta'minlash hamda ularning zamin gruntlarining mustahkamligini oshirish bo'yicha keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilib muayyan natijalarga erishilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son "2022–2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmonida, jumladan, "...qurilish faoliyatida qurilish nuqsonlari yoki muammolarining oldini olish, qurilish va loyihalashtirish ishlari sifatini oshirish"<sup>1</sup> bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda seysmik ta'sirlardagi gruntlarning yuk ko'taruvchanligi va deformatsiyasining o'zgarishini hisobga olgan holda qumli zamin gruntlarining ustuvorligini ta'minlash usullarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 30 maydagi PF-144-son "O'zbekiston Respublikasining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 30 iyuldagi PQ-4794-son "O'zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2023 yil 16 maydagi PQ-158-son "O'zbekiston

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-sonli "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida"gi Farmoni

Respublikasi aholisi va hududining seysmik xavfsizligini ta'minlash tizimini yanada takomillashtirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalarni rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining XIV. "Seysmologiya, binolar va inshootlar seysmik xavfsizligi va qurilish" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Qumli gruntlarning dinamik xossalarni o'rganish, zilzilalar ta'sirida gruntning mustahkamligi va deformatsiyasining o'zgarishini tadqiqotlash, shuningdek qumli gruntli bino va inshootlar zaminlarining ishlash holatini asoslash bo'yicha xorijda Seed H.B., Harder L.F., Vaid Y.R., Thomas J., Kokusho T., Tanaka Y., Shannon W.L., Diletrich R.J., Rayatama L., Fukui F., Burland J.B., Gersevanov N.M., Maslov N.N., Florin V.A., Goldshteyn M.N., Ivanov P.L., Musaelyan A.A., Mavlyanov G.A., Zexniyev F.F., Axmedov D.D., Ruziyev A.R., Osipov V.I., Stavnitser L.R., Abramova T.T., Voznesenskiy YE.A., Eysler L.A., Shkitskiy Y.P. va boshqalar shug'ullanib, ushbu masalalarni hal qilishda fanning rivojiga katta hissa qo'shganlar.

Respublikamizda qumli gruntlarda inshootlar zamini muammolari, bunday gruntlardan muhandislik inshootlarini qurish, bo'sh gruntlarning seysmik mustahkamligi, inshootlarning grunt bilan o'zaro ta'siri va boshqa amaliy muhim tadqiqotlar H.Z.Rasulov, G.X.Xojmetov, K.S.Sultonov, I.U.Majidov, K.D.Salyamova, A.Z.Xasanov, A.D.Kayumov, R.H.Rasulov, Y.N.Chastoyedov, S.Sayfiddinov, M.Sh.Shermatov, A.Jo'rayev, B.M.Mardonov, A.U.Toshxo'jayev va boshqalar tomonidan olib borilgan hamda rivojlantirilgan.

Sohaga oid tadqiqotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, tebranishlar yo'nalishi gruntning strukturaviy mustahkamligiga ta'siri va zaminning yuk ko'tarish qobiliyatini o'zgarishi yetarlicha o'rganilmagan. Shundan kelib chiqqan holda, gruntning mustahkamligini oshirishda tebranishlar yo'nalishini hisobga olish hamda seysmik ta'sirlarda bino va inshootlar zaminlarining yuk ko'tarish qobiliyatini baholash bo'yicha ilmiy-tadqiqotlar olib borish talab etilmoqda.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Ushbu dissertatsiya tadqiqoti Toshkent arxitektura-qurilish instituti ilmiy-tadqiqot ishi rejasining №4 OT-F4-75 "Kuchli zilzilalar ta'sirida gruntlar mustahkamlik xossalarni o'zgarishini hisobga olib inshoot zaminining yuk ko'tarish qobiliyatini baholash usulini ishlab chiqish" (2017-2020) mavzusidagi fundamental loyiha doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** tebranma harakat yo'nalishining suvga to'yingan qumli gruntlar quyqalanishiga ta'sirini aniqlash va ushbu jarayonda gruntning turg'unligini baholash usulini takomillashtirishdan iboratdir.

**Tadqiqotning vazifalari:**

tebranma harakat yo'nalishining suvga to'yingan qumli gruntlar muvozanat tezlanishiga ta'sirini hisoblash usulini ishlab chiqish;

tebranma harakat yo'nalishining qumli gruntlar turg'unligiga ta'sirini tadqiq

etish uskunasi yangi konstruksiyasini ishlab chiqish;

tebranma harakat yoʻnalishining turli burchaklardagi taʼsiri natijasida muvozanat va seysmik tezlanishlar orasidagi bogʻlanishni, eksperimental tadqiqotlar asosida aniqlash;

suvgʻa toʻyingan qumli gruntlar seysmik turgʻunligini taʼminlash va ularning quyqalanishiga qarshi muhandislik usullarini ishlab chiqish.

**Tadqiqot obyekti** sifatida Respublikamiz hududida bino va inshootlar zaminini vazifasini bajaruvchi turli fizik-mexanik xossalarga ega boʻlgan qumli gruntlar olingan.

**Tadqiqot predmetini** seysmik taʼsirlardagi bino va inshootlar zaminining yuk koʻtaruvchanligi va qumli grunt strukturasi mustahkamligiga turli burchak ostida taʼsir etuvchi tebranma harakat yoʻnalishining taʼsirini aniqlash hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida tizimli tahlil, gruntlar mexanikasi, oliy matematikaning fundamental qonun va qoidalari, eksperimental tadqiqotlar hamda grafik-analitik usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

suvgʻa toʻyingan qumli gruntlar turgʻunligiga tebranma harakat yoʻnalishining taʼsirini hisobga olgan holda zamin gruntlarining muvozanat tezlanishini aniqlash usuli takomillashtirilgan;

seysmik taʼsirlarda suvgʻa toʻyingan qumli gruntlarning quyqalanishi, choʻkishi va ustuvorligini, tebranma harakat yoʻnalishini eʼtiborga olgan holda, eksperimental aniqlash uskunasi ishlab chiqilgan;

tebranma harakat yoʻnalishining turli burchaklardagi taʼsiri natijasida muvozanat va seysmik tezlanishlar orasidagi bogʻlanish, yangi ishlab chiqilgan maxsus tebranma uskunasi yordamida aniqlangan;

suvgʻa toʻyingan qumli gruntlarning seysmik turgʻunligini aniqlash va ularning zichligini oshirish hisobiga quyqalanishining oldini olish boʻyicha muhandislik usuli ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

tebranma harakat yoʻnalishini hisobga olgan holda, bino va inshootlar qumli zaminining yuk koʻtarish qobiliyatini aniqlash usuli ishlab chiqilgan;

seysmik taʼsirlarda gruntli zamin ustuvorligiga tebranishlar yoʻnalishining taʼsirini hisoblash dasturi ishlab chiqilgan;

qumli gruntlarning dinamik turgʻunligini taʼminlash va ularning quyqalanishini oldini olishning muhandislik usullari ishlab chiqilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Dissertatsiya ishida muammoning yechimi nazariy jihatdan qurilish mexanikasi, gruntlar mexanikasi, zamin va poydevorlar hamda qurilish konstruksiyalarida qabul qilingan gipotezalar shuningdek, analitik hisoblash usullaridan olingan yechimlarning tasdiqlangan dasturiy taʼminot tizimlaridan foydalanib, zamonaviy nazorat va oʻlchash uskunalarini yordamida eksperimental tadqiqotlar bajarilganligi ishning ishonchliligini taʼminlaydi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati turli burchak ostidagi seysmik taʼsirlarda gruntlarning yuk koʻtarish qobiliyatini aniqlashning nazariy va eksperimental usulini ishlab chiqilganligi bilan

izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati tebranma harakat yoʻnalishi taʼsirida gruntning strukturaviy mustahkamligi, turgʻunligi va zilzilabardoshligini aniqlashga imkon beradigan usul ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi. Tebranishning turli burchaklarida, shuningdek, ulardan yuqori seysmik hududlarda bino va inshootlar zaminining yuk koʻtarish qobiliyatini hisoblashda foydalanish imkonini beradi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Tebranma harakat yoʻnalishining qumli gruntlar turgʻunligiga taʼsirini baholash boʻyicha olingan ilmiy natijalar asosida:

seysmik taʼsirlarda qumli grunt muvozanat tezlanishi va dinamik turgʻunligini eksperimental aniqlash usuli Xorazm viloyati uchun bino va inshootlar zamin va poydevorlarini loyihalashda qoʻllanilgan (Oʻzbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xoʻjaligi vazirligining 2023 yil 14 iyundagi №08-06/5619-sonli maʼlumotnomasi). Natijada Xorazm viloyati uchun loyihalangan turar-joy binolarining zamin va poydevorlarini zilzilabardoshligini taʼminlash imkonini bergan;

suvgʻa toʻyingan qumli gruntlar dinamik turgʻunligini taʼminlash va ularning quyqalanishiga qarshi muhandislik usullari Xorazm viloyati uchun loyihalangan turar-joy binolarining zamini va poydevorining seysmik ustuvorligini taʼminlashda qoʻllanilgan (Oʻzbekiston Respublikasi Qurilish va uy-joy kommunal xoʻjaligi vazirligining 2023 yil 14 iyundagi №08-06/5619-sonli maʼlumotnomasi). Natijada bino va inshootlar zamin va poydevorlarini zilzilabardoshligini taʼminlab, binoning umumiy tannarxini 20 foizgacha kamaytirish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 5 ta xalqaro va 2 ta respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy va ilmiy-texnik anjumanlarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining eʼlon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi boʻyicha jami 15 ta ilmiy ishlar, jumladan, Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy jurnallarda 7 ta maqola, jumladan xorijiy jurnallarda 2 ta maqola chop etilgan hamda 1 ta EHM dasturi uchun guvohnoma olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish qismi, toʻrtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar roʻyxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 96 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida olib borilgan tadqiqot ishining zaruriyati va mavzusining dolzarbligi asoslangan, tadqiqot maqsadi va vazifalari hamda tadqiqot obyekti va predmeti shakllantirilgan, Oʻzbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yoʻnalishlariga mosligi koʻrsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyatlari bayon etilgan, tadqiqot natijalarini joriy qilinganligi, ishonchliligi asoslangan, nashr etilgan ishlar, Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi boʻyicha maʼlumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning “**Qumli gruntlardan zamin sifatida foydalanishning oʻziga xos xususiyatlari**” deb nomlangan birinchi bobida oʻrganilayotgan

muammoning holati va tahlili keltirilgan.

Ma'lumki, yer yuzasidagi seysmik tebranishlar zilzila o'chog'idan turli yo'nalishda tarqaluvchi seysmik to'lqinlar ta'sirida yuzaga keladi. Ushbu to'lqinlar gruntga nisbatan o'zlarining yo'nalishlari bo'yicha ta'sir ko'rsatadi. Bunda inshootda yuzaga keluvchi momentga nisbatan gorizontal yo'nalish ahamiyatli bo'lsa, zamin qa'ridagi gruntning turg'unligiga nisbatan esa ma'lum burchak ostida yo'nalgan to'lqinning ta'siri xavfli bo'lishi mumkinligi haqida so'nggi yillarda olib borilgan izlanishlarning natijasi ko'rsatdi. Yuqoridagilarga qo'shimcha ravishda ushbu holatni nazarda tutib dissertatsiyada quyidagi masalalarni ilmiy hal etishni lozim deb topildi:

1. Respublika hududidagi qumli gruntlarning geomorfologik tuzilmasi va donadorlik tarkibini o'rganish.

2. Qumli gruntlarning dinamik turg'unligini ifodalovchi ko'rsatkich – muvozanat tezlanishini va unga ta'sir etuvchi omillarni baholash.

3. Turli burchak ostida yo'nalish bo'ylab tebranma harakatlanuvchi uskuna yaratish va tajriba usullarini ishlab chiqish.

4. Turli yo'nalishdagi tebranma harakat ta'sirida muvozanat tezlanishini tajribada aniqlash.

5. Muvozanat tezlanishiga tebranma harakat yo'nalishini ta'sirini hisobga olish usulini ishlab chiqish.

O'zbekiston Respublikasining markaziy va shimoliy qismi qadimiy Qizilqum va Qoraqum sahrolarida joylashgan bo'lib, ikki daryo (Amudaryo va Sirdaryo) vohasini qamrab olgan. Sahrolarning ustki qismini barxan shaklidagi eol turiga mansub uchlamchi davrga oid neogen qum qatlamlari egallagan. O'ta g'ovak, changsimon zarralar aralashgan tekis sirtga ega bo'lgan mayda zarralardan tashkil topgan ushbu qumlarning qatlami 8-10 m, ba'zi joylarda esa 20-25 m qalinlikda joylashgan. Ularning ostida esa neogen yoshiga mansub asosan mayda zarrali qumlar orasida bo'sh sementlangan qumtosh qatlamchalar uchraydi. Neogen qumlarning sirti notekis (g'adir-budur) bo'lganligi bois ular nisbatan zich joylashgan.

Eol va neogen qumlari tutashuvida qalinligi 3m qalinlikkacha bo'lgan qattiq holatdagi loyli qumlar (supes) qatlamchalari uchraydi.

Shunday qilib, Respublika hududining so'z yuritilayotgan qismida asosan to'rtlamchi davrga mansub allyuviy va eol turiga oid qumlar, ularning ostida esa yuqori uchlamchi davrga oid neogen turiga mansub qum qatlamlari joylashgan. Ushbu gruntlar, asosan mazkur tegralardagi shahar va qishloqlarda barpo etiluvchi bino va inshootlar zaminini tashkil etadi.

Mazkur tegralarda sizot suvlarining yuqori sathi to'rtlamchi davrga oid allyuviy qum qatlamlarida joylashgan. Yer osti suvlari sathining chuqurligi 1,5 - 5m oralig'ida bo'lib, asosan minerallashgan va betonga nisbatan zararlidir.

Tektonik jihatdan Respublikaning shimoliy qismi 7 ballik, muhandis – geologik nuqtai nazardan seysmomikrotumanlashtirishga oid izlanuvlar natijasiga ko'ra 7 ballik zilzila sodir bo'lishi mumkin bo'lgan hududga kiradi.

Tadqiqotlar Xorazm viloyatida maxsus izlanishlar uchun olingan 4 ta qum namunalari ustida olib borildi. Fizik-mexanik ko'rsatkichlari bo'yicha ularni quyidagi 4 guruhga ajratilgan.

I - guruh. Yengil loyli qumlar: loysimon zarralar 3-6%, changsimon zarralar 5,0-13% va qumli zarralar 81-91%. Ularda o'ta mayda qumli zarralar (0,1-0,05 mm)ning o'rtacha miqdori – 48,5 -72,3%.

II - guruh. Ochiq sariq rangli eol turkumiga mansub silliq sirtli changsimon qumlar. Ularda loysimon zarralar 1,5 – 2,4%. Changsimon zarralar 2,1 - 10,8%, qum zarralari 87,0 - 96,3%. Mazkur guruhdagi qumlarda o'ta mayda zarralar (0,1 - 0,05 mm) 21,8 - 31,4%, mayda zarralar (0,1 – 0,25 mm) esa 44,0 - 61,5%. Ushbu gruntlar bir jinsli qumlardir.

III - guruh. Oq-sariq rangli notekis sirtga ega bo'lgan neogen turkumidagi qumlar. Ularda loyli zarralarning miqdori 1,7 - 1,9 %, changsimon zarralar 0,8 – 10 %, qumli zarralar esa 90,0 - 97,2 %, mayda zarralar (0,1 - 0,25 mm)ning umumiy miqdori - 64,0 - 84,0 %. Ushbu grunt qatlamlari qa'rida bo'sh sementlangan qumtoshlar uchraydi.

IV - guruh. Oq-sariq rangli bir jinsli (qo'shimchasiz) allyuviy turkumiga mansub mayda qumlar. Ularda loyli va changsimon zarralar uchramaydi. Mayda zarralar (0,1 - 0,25 mm)ning miqdori 68,0 - 71,5 %.

Qumning dinamik hossalari ichida zarralar zichligi va uning eng yuqori va eng quyi ko'rsatkichlari alohida o'rin tutadi. Ushbu ko'rsatkichlar zarralar sirtining tekis yoki notekisligiga bog'liq ravishda o'zgarishini yuqorida keltirilgan ma'lumotlarda kuzatish mumkin.

Ma'lumki, qumli gruntlar zichligini baholashda ularning nisbiy zichlik ko'rsatkichi " $I_D$ "dan foydalanish yaxshi natija beradi va uning yordamida qumlarning zichlik holatini taqqoslash mumkin.

Gruntning nisbiy zichligi quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$I_D = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}}, \quad (1)$$

Bunda  $e_{max} - e_{min}$  - qumning eng g'ovak va eng zich holatiga oid g'ovaklik koeffitsiyentlari.

$e_0$  - qumning tabiiy holatdagi g'ovaklik koeffitsiyenti.

**Qumli gruntlarning dinamik ta'sirida quyqalanishi.** Qumlarning dinamik ta'sirga nisbatan noturg'un hisoblanishi o'tgan asrning boshlaridayoq fanga ma'lum bo'lgan edi. Bu haqida dastlabki ma'lumotlar 1935 yilda Rossiyaning shimolidagi Svir daryosida barpo etilgan to'g'onda yuz bergan avariyaning ko'zdan kechirgan komissiyasi hisobotida yoritilgan.

Qumli gruntlarning dinamik hossalari tadqiqotlash ishlari keyinchalik N.M.Gersevanov, V.A.Florin, N.N.Maslov, P.L.Ivanovlar tomonidan keng miqyosda olib borildi va natijada "Qumlar tuzilmasini dinamik ta'sirda buzilishi" nazariyasi yaratildi.

Dinamik ta'sir ostida grunt ikki holatda bo'lishini bildiradi, ya'ni:

- tuzilmasi buzilmagan tabiiy sharoitdagi suvga to'yingan;
- to'la quyqa holatda bo'lishligi.

Ushbu nuqtai nazardan qumli gruntlarda barpo etilgan inshootlarning turg'unligi asosan ikki omil: muvozanat holati va gruntning xususiy og'irligiga bog'liq.

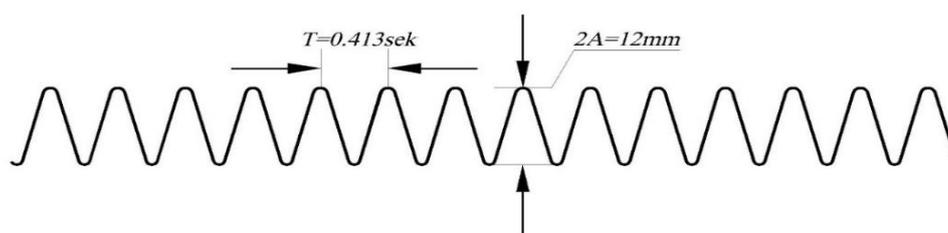
“Suvga to‘yingan qumlar turg'unligining sizish nazariyasi” ushbu sharoitdagi qumlarning dinamik ta'sirda turg'unligini buzilishi gruntning siljishga qarshiligini, mustahkamligini kamayishiga asoslanadi.

Unga ko'ra qumlarning dinamik ta'sirda siljishga qarshiligi ( $S_{din}$ ) muvozanat holatiga ( $S_M$ ) nisbatan kam bo'lishi kuzatiladi. Shu bilan birga ularning quyqalanish holati bilan kechadigan turg'unligini butunlay yo'qotishi, siljishga qarshilik miqdorini nolga teng bo'lishi kuzatiladi. Bu esa, o'z navbatida, suvga to‘yingan qumlarning siljishga qarshiligi ( $S_{din}$ ) ularning muvozanat holatidan dinamik holatiga o'tish jarayonida quyidagi oraliqda o'zgarishini ifodalaydi:

$$S_M \geq S_{din} \geq 0 \quad (2)$$

$S_M \geq S_{din}$  shart qumlarning siljishga qarshiligi ikkala sharoitda ham o'zgarmas ekanligini ifodalaydi. Ushbu shart grunt zichligining yuqori qiymati, yoki o'ta kuchsiz tebranish jarayonini ifodalaydi.  $S_{din} \geq 0$  bo'lganda grunt turg'unligini butunlay yo'qotib “quyqalanish” holatiga o'tganligini ko'rsatadi va ushbu holatda zamin kichik miqdordagi yukni ham ko'tara olmaydi. Ushbu holatda har qanday inshoot birdaniga katta miqdorli cho'kishga duchor bo'ladi.

Dissertatsiyaning “**Muvozanat tezlanishi va gruntning dinamik turg'unligi**” deb nomlangan ikkinchi bobida muvozanat tezlanishi  $\alpha_M$  ni tajriba yordamida aniqlash uchun maxsus jihozlangan tebranma harakatlanuvchi uskunadan foydalaniladi. Uskunaning asosiy qismlaridan birini tajriba maqsadiga muvofiq tayyorlangan tebranuvchan idish tashkil etadi. Idish dastavval 1/3 qismi suv bilan to'ldirilib, so'ng suvli idishga asta sekinlikda oz-ozdan qum to'ldiriladi. Ushbu jarayonda idishdagi ortiqcha suv uning yuqori qismiga o'rnatilgan maxsus teshikka ulangan shlang orqali chiqib ketadi. So'ng idishdagi qumning boshlang'ich zichligi aniqlanadi. Idish tajriba uchun zarur bo'lgan omillarni qayd etuvchi maxsus moslamalar (datchiklar) bilan jihozlangan bo'lib, tebranma uskuna asta – sekin harakatga keltiriladi. Uskunaning harakati tebranish ko'rsatkichlaridan (amplituda yoki chastota) birini doimiy saqlab, ikkinchisini o'zgarishi hisobiga amalga oshiriladi. Ushbu jarayon o'lchov asboblari yordamida uzluksiz qayd etib boriladi va tajriba yakunida yozib olingan tasmani tahlillash orqali muvozanat tezlanishi  $\alpha_M$  aniqlanadi (1- rasm).



**1-rasm. Uskunaning tebranish harakati yozuvi (A-tebranish amplitudasi, T-tebranish davri)**

**Muvozanat tezlanishi  $\alpha_M$  ni aniqlashning hisobiy usuli.** Hozirgi vaqtda ma'lum darajada o'z samarasini bergan yechimlardan biri bir jinsli yarim fazo sirti

bilan tarqalayotgan tekis to‘lqinning o‘zaro munosabatiga asoslangan yechimdir. Uning negizida seysmik urinma zo‘riqish miqdorini aniqlashning Rasulov H.Z. tomonidan taklif etilgan ifoda quyidagi ko‘rinishda shakllangan:

$$\tau_c = \frac{\gamma_n}{\pi g} 2 H \alpha_c, \quad (3)$$

bunda:  $\gamma_n$  – gruntning solishtirma og‘irligi;  $H$  – tebranuvchi qatlam qalinligi;  $g$  – erkin tushish tezlanishi;  $\alpha_c$  – zilzila jarayonida grunt tebranishining tezlanishi.

Tadqiqotning maqsadidan kelib chiqqan holda izlanishni ushbu yo‘nalishga oid nazariy va tajriba usullaridan foydalanildi. Maqsad inshoot zamini vazifasini o‘tovchi grunt qatlami turg‘unligiga nisbatan seysmik yo‘nalishning ta‘sirini tadqiq etish asosida grunt tuzilmasi turg‘unligiga nisbatan xavfli yo‘nalishni aniqlash va uni meyoriy hujjatlarda qabul qilingan gorizontal yo‘nalishga nisbatan farqini aniqlashdan iboratdir.

Ushbu maqsadda tadqiqotlarni nazariy yondoshuv asosida boshlab, turli yo‘nalishda tebranuvchi uskuna yaratish va unda turli gruntlarda tajribalar o‘tkazish rejalashtirildi va amalga oshirildi. Quyida ushbu yo‘nalishda bajarilgan izlanishlar bayon etiladi.

Tebranma harakat yo‘nalishini muvozanat tezlanishiga ( $\alpha_m$ ) ta‘sirining nazariy yechimiga quyidagilar asos qilib olindi.  $H$  qalinlikdagi grunt qatlami bir tekisda tebranadi deb faraz qilamiz. Bunday holatda qatlam qa‘ridagi har bir zarraning muvozanat holati ikki kuch: zarra turg‘unligini saqlovchi ( $\tau_q$ ) va uni siljishga olib keluvchi ( $\tau_c$ ) ta‘sirida bo‘ladi. Tebranish jarayonida zarra turg‘unligini ta‘minlovchi kuch gruntlar mexikasining qonuni bo‘yicha inshoot va gruntning sof og‘irligidan ta‘sir etuvchi bosimning tik yo‘nalish bo‘yicha tashkil etuvchisi ( $\sigma_d$ ), gruntning ichki ishqalanish burchagi ( $\varphi_n$ ) va qumli gruntning zichligiga ( $n$ ) bog‘liq bo‘lgan zarralararo bog‘lanish kuchlarining ( $c_n$ ) miqdoriga bog‘liq.

Grunt qatlami  $H$  qa‘ridagi har bir zarra ta‘sir etuvchi tashqi kuchga nisbatan quyidagicha qarshilik ko‘rsatadi:

$$\tau_q = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n + c_n \quad (4)$$

(4) ifodadagi indekslar ko‘rsatkichlar bog‘liq bo‘lgan omillarni ifodalaydi, ya‘ni:  $\tau_q$  – siljishga nisbatan qarshilik;  $\sigma_d$  – inshoot va gruntning sof og‘irligidan ta‘sir etuvchi inersiya holatidagi bosim;  $n$  – g‘ovakligi.

Grunt qatlamiga ta‘sir etuvchi tashqi kuch sifatida zarralarni muvozanat holatidan siljishga majbur etuvchi seysmik bosim qabul qilinadi. Ushbu bosim seysmik to‘lqinlar tarqalishi jarayonida yuzaga keluvchi urinma zo‘riqish  $\tau_s$  sifatida namoyon bo‘ladi. Ushbu jarayonda grunt qa‘ridagi har bir zarraning yuqori muvozanat holati  $a_m$  (muvozanat tezlanishi) quyidagi tenglik orqali ta‘minlanadi:

$$\tau_q = \tau_s \quad (5)$$

(5) ifoda bo‘yicha muvozanat tezlanishi  $a_m$  tebranayotgan gruntning muvozanat holatini eng yuqori chegarasi hisoblanadi. Unga ko‘ra tebranish tezlanishning  $0 - \alpha_m$  oralig‘ida grunt o‘z muvozanat holatini saqlab, elastik jism sifatida qaraladi. Ushbu holatda grunt o‘z tuzilmasini saqlaydi ( $\varphi_n, c_n = \text{const}$ ) va uning siljishga qarshiligi ( $\tau_s$ ) qatlamda inshoot – zamin tebranishidan yuzaga keluvchi inersiya holatidagi bosim ta‘sirida aniqlanadi ( $\sigma \neq \text{const}$ ).

Seysmik urinma zo'riqish ( $\tau_s$ ) va uning grunt qatlami bo'ylab tarqalishi seysmik to'lqinlarning bir jinsli va ko'pjinsli qatlamlar bo'ylab tarqalishiga oid dinamik masalalarni yechish orqali hal etiladi. Mazkur masalalarning murakkablik darajasi inshoot barpo etiluvchi mintaqaning seysmik faolligi, uning geologik va gidrogeologik sharoitlariga bog'liqdir.

Shuni aytib o'tish lozimki, grunt qatlamining seysmik zo'riqish holatiga oid masalalar yechimining murakkablik darajasi nafaqat uning muhandis – geologik va gidrogeologik sharoitlari, balki zilzilaning harakteri va vaqt bo'ylab o'zgarishi haqidagi ma'lumotlarning mavjud emasligi bilan ham ortib boradi. Odatda, ushbu ma'lumotlar zilzila sodir bo'lgandan so'ng ma'lum bo'ladi. Shu bilan birga zilzilaning kuchi (seysmik koeffitsiyent) qurilish olib boriluvchi tegra uchun tuzilgan seysmik mikrorayonlashtirish haritasi, ba'zan esa kutilayotgan zilzilaning spektr tarkibiga qarab taxminan ma'lum bo'lishi mumkin.

Seysmotektonik ma'lumotlar asosida bo'lg'usi zilzilaning o'chog'i (gipotsentr) aniqlanib, uning yordamida, agar mazkur qatlam bo'ylab garmonik to'lqin tarqalishga oid yechim mavjud bo'lganda, maydon sirtiga nisbatan seysmik to'lqinlar tarqalish burchagi va qatlam bo'ylab siljish, deformatsiya va zo'riqishlar aniqlanishi mumkin.

Hozirgi vaqtda bir jinsli grunt qatlami bo'ylab tarqaluvchi tekis to'lqin bilan maydon sirti orasidagi ta'sirga oid masalaning yechimlari ma'lum.

Gruntning mustahkamlik ko'rsatkichlariga seysmik to'lqin yo'nalishining ta'siriga oid izlanishlar so'nggi yillarda Stavnitser L.R., Kokusho T., Tanaka Y., H.Z. Rasulov va b. lar tomonidan olib borilgan.

Masalan, tekis to'lqinning yarim fazo chegarasi bilan tutashuvi haqidagi masala seysmik siljishning skalyar  $\xi$  va vektor  $\psi$  potensiallari yordamida H.Z. Rasulov tomonidan hal etilgan bo'lib to'lqinlar tarqalishi jarayonida gruntga ta'sir etuvchi urinma zo'riqish ( $\tau_s$ ) umumiy holda quyidagi ko'rinishda ifodalangan:

$$\tau_s = 4\gamma \frac{v_k^2}{v_6^2} c_k \xi e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} \left[ \cos \frac{\omega H}{v_6} - e^{-i\omega \frac{H}{v_k}} \right] + 2i\gamma v_k c_v \sin \frac{\omega H}{v_v} e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}}, \quad (6)$$

bu yerda  $v_k$ - ko'ndalang to'lqin tarqalish tezligi;  $v_6$ - bo'ylama to'lqin tarqalish tezligi;  $c_k$ - ko'ndalang to'lqinning (xoz) tekisligiga nisbatan proyeksiyasi;  $c_v$ - shu to'lqinning xoz ga perpendikulyar bo'lgan tekislikka proyeksiyasi;  $\omega$  – aylanma chastota;  $\xi$ - seysmik to'lqinning grunt sirti tomon yo'nalishi;  $H$  – qatlam qalinligi;  $\gamma$ - gruntning solishtirma og'irligi.

Ushbu ifoda asosida quyidagi amallarni bajarish mumkin.

Agar quyidagi bog'liqliklar nazarda tutilsa

$$e^{ix} = \cos x - i \sin x$$

$$e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} = 1, \quad e^{-i\omega \frac{H}{v_k}} = \cos \frac{\omega H}{v_k}, \quad e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} = 1 \quad (7)$$

gruntga ta'sir etuvchi seysmik urinma zo'riqishni quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\tau_s = 2\gamma \frac{v_k^2}{v_6^2} \frac{\alpha_c}{\omega} \xi \left[ \cos \frac{\omega H}{v_6} - \cos \frac{\omega H}{v_k} \right] + \gamma \frac{v_k \alpha_c}{\omega} \sin \frac{\omega}{v_k}, \quad (8)$$

bunda  $\alpha_c$ - tebranish jarayonida grunt harakatining tezlanishi.

Grunt qatlamining sirti tomon seysmik to'liqning yo'nalishi ( $\xi$ ) ni  $\beta$  burchak ostida deb qaralsa:

$$\xi = tg\beta, \quad (9)$$

To'liqlarning grunt sirtidan qaytishi zarralar tebranishini 3-4 marta ortishi (interferensiya effekti) ga olib kelishini A.Z.Kats quyidagicha ifodalagan:

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{(2n-1)}{4}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

bu yerda  $H$  – qatlam qalinligi.

S.V.Medvedevning takidlashiga ko'ra tebranish davri ( $T$ ) grunt sharoitida bog'liq bo'lib, bir jinsli qatlamlar uchun quyidagi tenglik yuzaga keladi:

$$T = \frac{4H}{v_k} \quad (11)$$

Ma'lumki bo'sh grunt qatlami bo'ylab tarqaluvchi bo'ylama va ko'ndalang to'liqlar orasidagi farq katta miqdorni tashkil etmaydi. (masalan, QMQ 2.01.03-19, bo'yicha mayda va changsimon qumlarda ushbu farq 0.25% dan oshmaydi).

(9) - (11) va yuqoridagi mulohazalar asosida (8) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\tau_s = \gamma \frac{\alpha_c}{\pi g} 2H + \gamma \frac{\alpha_c}{2\pi g} H tg\beta \quad (12)$$

yoki

$$\tau_s = \frac{\alpha_c}{\pi g} (2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} tg\beta) \quad (13)$$

(4) va (13) ifodalar asosida tebranayotgan grunt qatlami qa'ridagi istalgan nuqtada joylashgan zarraning siljishga qarshi muvozanat holati (5) ga asosan quyidagi tenglik asosida yuzaga keladi:

$$\sigma_d tg\varphi_n + c_n = \frac{\alpha_c}{\pi g} (2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} tg\beta) \quad (14)$$

Ushbu ifodada  $\alpha_c$  tebranayotgan grunt muvozanat holatining yuqori chegarasini, ya'ni **muvozanat tezlanishini** ifodalaydi:

$$\alpha_M = \frac{\pi g (\sigma_d tg\varphi_n + c_n)}{2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} tg\beta} \quad (15)$$

yoki

$$\alpha_M = \frac{2\pi g (\sigma_d tg\varphi_n + c_n)}{\gamma H (4 + tg\beta)} \quad (16)$$

(15) va (16) ifodalar tebranayotgan zich holatdagi qumli grunt qatlamining muvozanat holatini umumiy shaklda aks ettiradi. Undan gruntning muvozanat tezlanishi zarralar aro ishqalanish kuchi ( $\varphi$ ) dan tashqari grunt zichligiga bog'liq bo'lgan bog'lanish kuchi ( $c_n$ ) va qatlamga ta'sir etuvchi inshootdan tushayotgan bosim ( $\sigma_d$ ) ta'sirini ham kuzatish mumkin.

Shu bilan birga tabiatda qumlar g'ovak va o'rtacha zichlik holatida (allyuviy, eol va b.) bo'lishi amalda ko'plab kuzatiladi. Mazkur qumlarda  $c_n$  bo'lmasligi, yoki uning miqdori juda kam bo'lishligini nazarda tutilsa (16) ifodani quyidagi ko'rinishda tasvirlash mumkin:

Unga ba'zi o'zgartirishlar kiritib quyidagi ifoda olindi.

$$\alpha_M = \frac{2\pi g \sigma_d tg\varphi_n}{\gamma H (4 + tg\beta)}, \quad (17)$$

yoki  $\sigma_d = \gamma_w z + p_d$  (bunda  $\gamma_w z$  – kuzatilayotgan sathdan yuqorida joylashgan gruntning sof og‘irligi,  $p_d$  – inshootdan uzatiluvchi inersiya ta’sirini nazarda tutuvchi bosim)ni hisobga olinsa va  $p_d = 0$  holat uchun:

$$\alpha_M = \frac{2\pi g \gamma_w z t g \varphi_n}{\gamma H (4 + tg\beta)} \quad (18)$$

(18) - ifoda asosida hisoblangan miqdorlar bo‘yicha tuzilgan muvozanat tezlanishining ta’sir yo‘nalishiga bog‘liqligi 2-rasmda tasvirlangan.

Undan tebranish jarayonida grunt tuzilmasining buzilishi ta’sir yo‘nalishiga bog‘liq ekanligini kuzatish mumkin. Ushbu holat barcha yo‘nalishlarga ta’luqli bo‘lib, ayniqsa  $15^0$ - $30^0$  burchaklar orasidagi tebranish grunt tuzilmasining buzilishiga katta ta’sir ko‘rsatishini kuzatish mumkin.

Demak ushbu burchak ostidagi tebranishlar ta’sirida grunt tuzilmasi nisbatan tez va jadallik bilan buzilish holati yuzaga keladi. Ushbu holat L.R.Stavnitser tomonidan tebranuvchi stabilometr asbobida o‘tkazilgan tajribalarda ham kuzatilgan. Unda qumli grunt tuzilmasini buzilishiga  $30^0$  -  $45^0$  burchaklar oralig‘idagi tebranishlar katta ta’sir ko‘rsatishi ta’kidlangan.

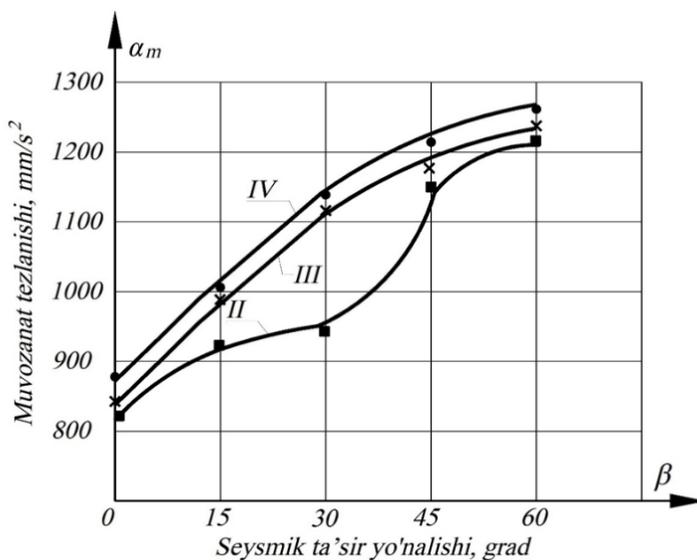
Dissertatsiyaning “**Tebranna harakat yo‘nalishining muvozanat tezlanishiga ta’sirini tadqiqotlash**” deb nomlangan uchinchi bobida izlanishlar maqsadiga muvofiq tajriba obyekti sifatida turli genesis va tuzilmalarga ega Xorazm viloyati tegrasida keng tarqalgan qumli gruntlardan foydalandik. Ushbu gruntlar haqidagi ma’lumotlar I-bobda keltirilgan. Tadqiqotlar 4 turdagi grunt namunalari ustida olib borildi. Tajribalar suvga to‘yingan va har xil zichlik holatidagi qumlarda o‘tkazildi. Izlanishlar ilmiy rahbar yo‘llanmasi bo‘yicha muallif tomonidan barpo etilgan turli burchak ostida tebranishlar yuzaga keltiruvchi maxsus uskunada olib borildi.

Tadqiqotga jalb qilingan gruntlar ko‘rsatkichlarining sezilarli farqlanishi, ayniqsa, ular zarralarining zichligi, g‘ovakligi, ishqalanish va bog‘lanish kuchlarining turiligi olingan natijalarni keng ko‘lamda tadbiqini ta’minlaydi.

(18)-ifodaga e’tiborni qaratamiz.

$$\alpha_M = \frac{2\pi g \gamma_w z t g \varphi_n}{\gamma H (4 + tg\beta)}$$

Ushbu ifodaga asosan qumli zaminda barpo etilgan inshootning zilzila ta’siriga turg‘unligi (muvozanat tezlanishi)  $\alpha_M$  gruntning mustahkamlik ko‘rsatkichlariga oid



**2-rasm. Muvozanat tezlanishi va seysmik ta’sir orasidagi bog‘lanish grafiqi: II-grunt, III-grunt, IV-grunt.**

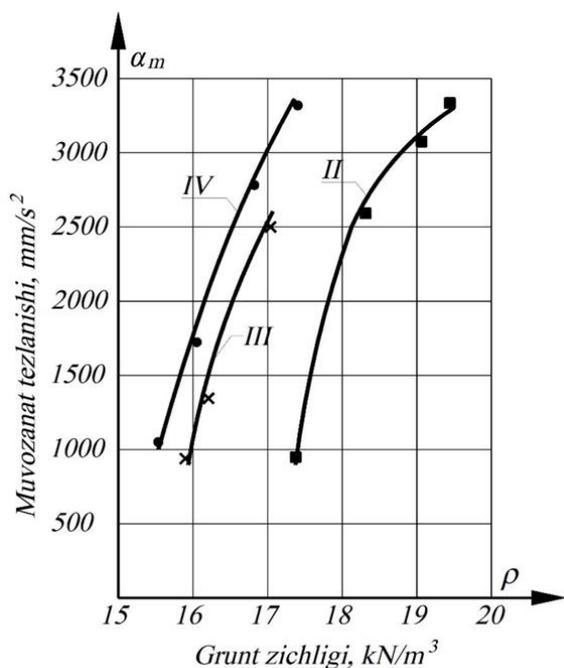
ichki omillar: ichki ishqalanish burchagi ( $\varphi_n$ ), gruntning sof og'irligidan yuzaga keluvchi zo'riqishning tik tashkil etuvchilari ( $\gamma_w, z$ ), grunt qatlamining qalinligi, shuningdek tashqi omillar: tebranma harakatning tezlanishi ( $\alpha_c$ ) va uning tashkil etuvchilari: amplituda ( $A$ ), chastota ( $f$ ), davr ( $T$ ) va seysmik ta'sir burchagi ( $\beta$ ) ga bog'liq ekanligini kuzatish mumkin.

Bir vaqtning o'zida ko'plab omillarga bog'liq bo'lgan qumli zamin turg'unligini aniqlashga oid yuqoridagi ifodani amaliy tadqiqotidan avval uni tajribada sinash masalasini muhim deb bildik.

Quyidagi tajriba izlanishlar maqsadidan kelib chiqqan holda turli burchak ostidagi tebranishlar ta'sirida qumli zaminlarning dinamik turg'unligiga ( $\alpha_m$ ) ta'sir ko'rsatuvchi omillarni tadqiqotlashga bag'ishlanadi.

Ushbu muammo yuzasidan olib borilgan izlanishlarda quyidagi masalalarga asosiy e'tibor qaratildi:

- turli burchak ostidagi tebranma harakat ta'sirida gruntning mustahkamlik ko'rsatkichlarini muvozanat tezlanishiga ta'sirini aniqlash;
- muvozanat tezlanishiga dinamik kuch va uning tashkil etuvchilari ta'sirini o'rganish;
- muvozanat tezlanishiga turli burchak ostidagi dinamik ta'sirni aniqlashga oid



**3-rasm. Muvozanat tezlanishi bilan grunt zichligi orasidagi bog'lanish grafiqi: II-grunt; III-grunt; IV-grunt.**

orasidagi bog'lanish kuchi saqlanar ekan unda muvozanat tezlanishining miqdori birmuncha yuqori bo'ladi. Yuqorida aytib o'tganimizdek qumlarda bog'lanish kuchlari ularning zich va kam namlangan holatlarida u yoki bu miqdorda uchrashi mumkin. Qumlardagi bog'lanish kuchlari u yoki bu ta'sirda (masalan, dinamik)

(18)-ifoda yordamidagi hisobiy ko'rsatkichlarni tajriba natijalari bilan taqqoslash.

Quyida tadqiqot ishlari olib borilgan gruntlarning fizikoviy mexanik ko'rsatkichlari, tajriba uskunasi, o'lchov asboblari va tajriba uslublari haqida so'z yuritiladi.

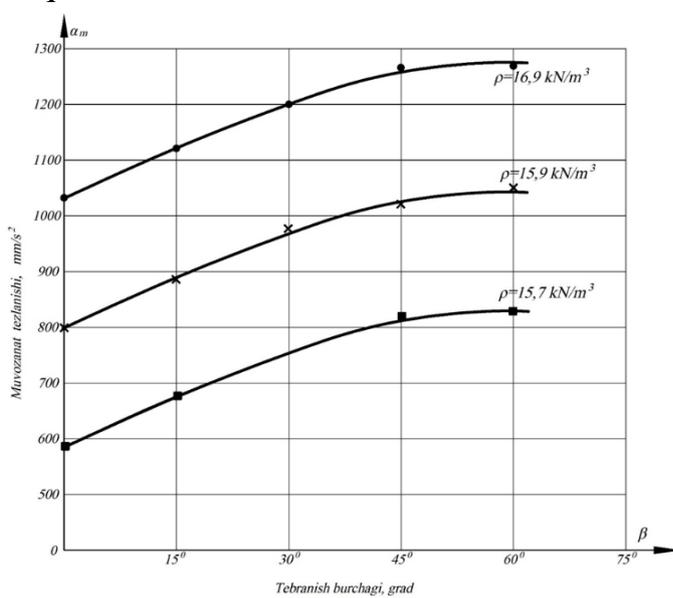
Turli genezisga ega bo'lgan qumlarning tebranish jarayonidagi mustahkamligini tahlillash ularning suvga to'yingan holati uchun alohida ahamiyat kasb etishini ko'rsatdi. Har qanday qumlarning suvga to'yinishi ularga xos bo'lgan muvozanat tezlanishini kamaytiradi. Bu esa ushbu holatdagi qumda bog'lanish kuchlarining bo'lmasligi va ishqalanish kuchlarini esa, muallaqlanish ta'sirida kamayishi haqida dalolat beradi. Shundan kelib chiqib aytish mumkinki, agar tebranayotgan qum zarralari

buzilgach, qayta tiklanmaydi va mazkur holat ularning zichligiga ta'sir etadi (3-rasm).

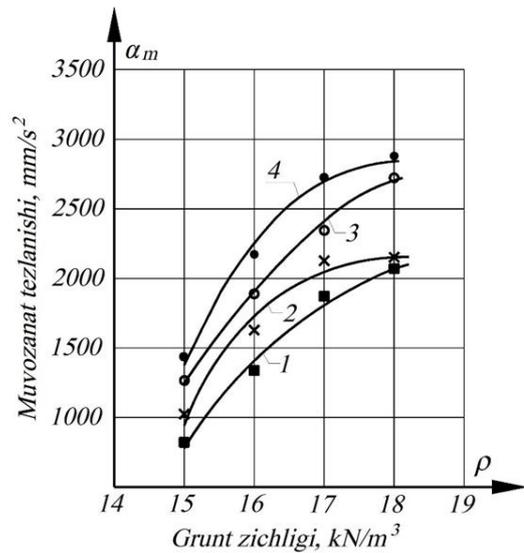
**Grunt zichligi.** Biz tanlab olgan qumlarga turli burchak yo'nalishida dinamik ta'sir ettirib o'tkazgan eksperimental tadqiqotlar natijalaridan ma'lum bo'ldiki gruntning muvozanat tezlanishi uning zichligi bilan to'g'ridan to'g'ri bog'lanishda ekanligini ko'rsatdi.

4-rasmdagi chizmada tadqiqot ўtkazilgan № III raqamli gruntga oid  $tg\beta = f(n)$  bog'lanish o'z aksini topgan. Unda g'ovaklik ko'rsatkichi tajriba o'tkazilayotgan namunaning zichlik holatini ifodalaydi. Bu jihatdan 5-rasmda keltirilgan chizma e'tiborni tortadi. IV raqamli qumlarga xos  $tg\beta = f(D)$  bog'liqlik gruntning nisbiy zichligini ifodalagani bois bu jabhada uni umumiy deb hisoblash mumkin.

Ma'lumki, gruntning zichlik holati uning mustahkamligiga to'g'ridan to'g'ri aloqador.



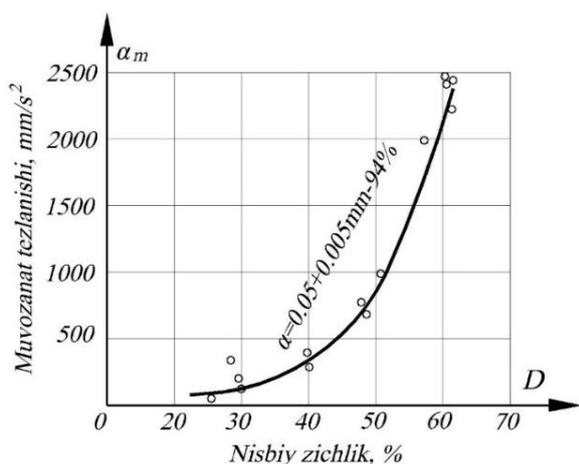
**4-rasm. Turli zichlikdagi qumlarda tebranish burchagining muvozanat tezlanishiga ta'siri: III-Grunt uchun**  
 $\rho = 15,7 \text{ kN/m}^3$ ;  $\rho = 15,9 \text{ kN/m}^3$ ;  
 $\rho = 16,9 \text{ kN/m}^3$



**5-rasm. Muvozanat tezlanishini grunt zichligiga bog'liqligi:**  
 1- $\beta=15^0$ ; 2- $\beta=30^0$ ; 3- $\beta=45^0$ ;  
 4- $\beta=60^0$ .

Shu bilan birga grunt mustahkamligini belgilovchi ko'rsatkichlar (ichki ishqalanish burchagi  $\varphi$  va bog'lanish kuchi  $c$ ) grunt turg'unligiga ta'siri o'ta muhim ekanligi maxsus o'tkazgan tajribalarda namoyon bo'ldi.

Ushbu holatni 6-rasmdagi chizmadan kuzatish mumkin. Unda  $tg\beta = f(D)$  bog'liqlik tasvirlangan bo'lib, turli zichlikdagi qumlarning dinamik ta'sirga nisbatan turg'unligi tasvirlangan. Mazkur tajribalar turli zichlikdagi qumlarni tebratish yordamida olib borildi. Ma'lum yo'nalish ta'siridagi tezlanishda erishilgan zichlik ko'rsatkichi keyingi tajriba uchun boshlang'ich miqdor bo'lib hizmat qildi. O'z - o'zidan ma'lumki ushbu zichlikdagi grunt tuzilmasini buzilish holatiga keltirish uchun oldingiga nisbatan kuchliroq dinamik ta'sir lozim bo'ladi. Ushbu turdagi tajribalar 2800–3200  $\text{mm/s}^2$  (9 ballik zilzila kuchi) miqdoridagi tezlanish ta'sirigacha davom ettirildi.



**6-rasm. Qumli gruntlarga xos muvozanat tezlanishini gruntning nisbiy zichligiga bog‘liqligi.**

gruntga o‘ziga xos mustahkamlik baxsh etishidan darak beradi. Huddi shunday fikrni grunt tarkibidagi o‘ta mayda changsimon zarralar (0,05 - 0,005 mm) haqida ham aytish mumkin.

Dissertatsiyaning **“Turli yo‘nalishdagi seysmik ta’sirda muvozanat tezlanishini aniqlash usulini amaliy tadbiri”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida Respublikamiz hududining 40% dan ortig‘i qumlardan iborat bo‘lib, ularning qalinligi ko‘pgina joylarda 20÷30 m ni tashkil qiladi. Ular deyarli suvga to‘yingan holda qattiq qatlam ustida yotadi. Shuning uchun yer osti suvlarining sathi 0,5 – 1,0 metr chuqurlikda joylashgan. Bu zamin qumlarining suv bilan to‘yinishiga yordam beradi. Xorazm viloyati 7 ballik seysmik faol rayonlarga kiradi. Zilzilaning epitsentriga qarab seysmik to‘lqinlarning tarqalish burchagi turlicha bo‘lishi mumkin.

Suvga to‘yingan qumlarning seysmik mustahkamligi sharoitlarini o‘rganish uchun laboratoriya asboblarning muhim elementlaridan biri u yoki bu sistemaning tebranish qurilmasi hisoblanadi. Bugungi kunda gorizont va vertikal tebranmalarni hosil qiladigan turli xil tebranish qurilmalari yaratilgan.

Tebranma harakat yo‘nalishining grunt mustahkamligiga ta’sirini aniqlash uskunasi o‘ziga xos xususiyatlaridan biri tebranish harakati ko‘rsatkichlari (chastota, amplituda) dan birini o‘zgartirmay saqlab ikkinchisini o‘zgarishi hisobiga 0° dan 90° burchaklar ostida tezlanishga erishishni ta’minlashdir. Uskuna tebranish chastotasini 1-10 Gs va amplitudasini esa 0,1 - 12 mm oraliqda o‘zgartirishga imkon beradi. Izlanishlar maqsadidan kelib chiqqan holda tajriba ishlarini 6 - 9 ballgacha kuch bilan ta’sir etuvchi tezlanishlar yuzaga keltirildi (1-jadval).

Tebranma uskuna qurilish sohasiga taalluqli bo‘lib, u seysmik ta’sirlar ostidagi bino va inshootlar poydevor ostidagi (gruntli to‘g‘onlardagi) gruntlarni cho‘kishini eksperimental tadqiq qilish uchun mo‘ljallangan.

$tg\beta = f(n)$  bog‘lanish haqida so‘z yuritilganda quyidagiga e’tibor qaratish lozim. Genetik jihatdan farqlanuvchi qumlar (eol, delyuviy, alyuviy) ustida o‘tkazgan tajribalarimizda ularning dastlabki zichlik holati o‘zaro yaqin bo‘lishiga qaramay turli  $\beta$  burchak ta’sirida grunt turg‘unligi turlicha bo‘lib chiqdi. Bir xil zichlikka ega bo‘lgan neogen qumlarida bo‘lgan gruntlarda  $\beta$  ning miqdori kichik qiymatga ega bo‘ldi. Mazkur holat ularning dinamik turg‘unligidan darak beradi. Bu esa, o‘z navbatida, loyli zarralar grunt tarkibidagi bog‘lanish kuchlarini oshirishi bois,

**Zilzila jarayonida ( $T= 0,1$  s.) gruntning tezlanishi**

Zilzila intensivligi, ball	Gruntning maksimal tezlanish oraliqlari $\text{sm/s}^2$ , tebranish davri 0,1 s.	Gruntning maksimal tebranish tezligi oraliqlari $\text{sm/s}$	Seysmometr mayatnigining maksimal ko'chish oraliqlari, mm.
6	30-60	3,0-6,0	1,5-3,0
7	61-120	6,1-12,0	3,1-6,0
8	121-240	12,1-24,0	6,1-12,0
9	241-480	24,1-48,0	12,1-24,0
10	481-960	48,1-96,0	24,1-48,0

**Texnik vazifasi** – chastota o'zgartiruvchining turli chastotalarida eksentrikdagi ko'chish dvigatelining aylanishini tartibga solish bilan tebranish stendida tebranish chastotasini avtomatik ravishda haqiqiy zilzilaning ta'siriga yaqin keladigan o'zgarishini ta'minlash, keyinchalik bino va inshootlarning yer osti qismini cho'kishi va barqarorligi haqiqiy hisobiga qo'shish maqsadida idishga o'rnatilgan datchiklar yordamida gruntning siljishi va tezlashishining haqiqiy qiymatlari aniqlanadi.

Eksperimental tadqiqotlarda dvigateldagi Dimmer AC 5 modulli Arduino Uno R3 mikrokontrollerdan foydalanilgan holda kompyuter va mahsus boshqaruv dasturi yordamida avtomatik ravishda o'rnatilgan tebranish chastotalari – texnik natija hisoblanadi. Bino va inshootlarning seysmik mustahkam zaminini loyihalashda asosiy parametrlarni aniqlash uchun, idishli ishchi maydonining turli qiyaliklarida, haqiqatda bo'ladigani kabi, turli yo'nalishdagi seysmik ta'sirlarga mos keladigan gruntning parametrlarini aniqlash mumkin. Haqiqatda bino va inshootlarning seysmik mustahkam zamin va poydevorlarini loyihalash maqsadida o'tkaziladigan eksperimental tadqiqotlar natijasida gruntning tebranish amplitudasi va chastotalarining turli intensivligida zamin gruntlarining mexanik parametrlari va harakatini aniqlash imkoni yaratildi.

Muallif tomonidan yaratilgan tebranma uskunaning barcha elementlari va detallari ko'rsatilgan tebranish stendining (vibrostand) umumiy ko'rinishi 7-rasmda tasvirlangan.

Tajriba idishi 250x250x400 mmli o'lchamga ega bo'lib, uning yuqori va ostki qismlarida germetik yopiluvchi maxsus teshiklar mavjud. Ularning yuqoridagisi ortiqcha suvni chiqarib yuborishga, ostidagisi esa tajriba yakunida gruntni chiqarib tashlashga mo'ljallangan (8 - rasm).

Tajriba jarayonida quyidagi ko'rsatkichlar o'lchab borildi:

- a) dinamik ta'sirning kuchi (tezlanish);
- b) grunt namunasining boshlang'ich, tajriba jarayonidagi va tajriba so'nggidagi zichligi;
- b) grunt sathiga va qa'riga o'rnatilgan reperlar harakatining boshlanishi;
- r) dinamik bosim yuzaga kelishi;



**7 - rasm. Tajriba uskunasi-ning umumiy ko‘rinishi**

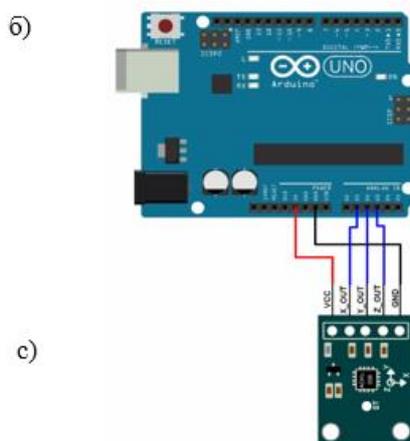
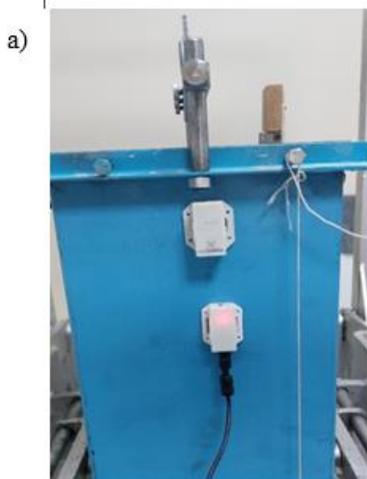


**8 - rasm. Tajriba uskunasi-ning grunt to‘ldiriladigan idishi**

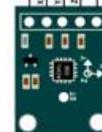
**Tadqiqot uslubi va o‘lchov asboblari.** Dinamik ta’sir miqdorini o‘lchash. O‘tkazgan barcha tajribalarimizda dinamik ta’sir (tebranish) ning miqdori sifatida O‘z RST 836-97 O‘zbekiston Respublikasi Standarti ko‘rsatmasiga muvofiq zilzilalarning eng yuqori qiymatli tezlanishi miqdoridan foydalanildi.

Yuqorida aytib o‘tganimizdek tebranma uskunani elektr divigatel yordamida  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  ( $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ) burchaklar ostida tebranish chastota yoki amplitudaning o‘zgarishi hisobiga amalga oshirildi.

Tebranma harakatni o‘lchagich asboblari tanlashda uning tashkil etuvchilarini (chastota, amplituda, tebranish davri va h.) yetarlicha aniq va bexato hisoblashga alohida e’tibor berish talab etilishini nazarda tutgan holda tajribalarda quyidagi asboblardan foydalandik: tebranma haraktini o‘lchagich Dimmer AC 5 modulli Arduino Uno R3 mikrokontroller va akselerometr GY-61 ADXL335 (9-rasm. Tajriba ko‘rsatkichlarini qayd etish asboblari).



c)



**9-pacm. Uskunaning garmonik tebranma harakatining yozuvini o‘lchagich. a) idishga o‘rnatilgan akselerometr: b) Arduino Uno R3 mikrokontroller c) uch o‘lchamli akselerometr GY-61 ADXL335**

Tebranish jarayonida grunt turg'unligini qayd etish uchun quyidagi uslub taklif etildi. Tebranish jarayonida grunt deformatsiyasining boshlanishiga olib keluvchi tebranma harakatni o'lchashga asoslangan ushbu uslubning mohiyati quyidagicha. Maxsus pezometr asboblari bilan jihozlangan tajriba idishga ma'lum fizik - mexanik xususiyatga ega bo'lgan suvga to'yingan namlikdagi grunt avvaldan belgilangan zichlik bo'ylab joylashtiriladi. Gruntni joylashtirib bo'lgach, reper o'rnatiladi. Deformatsiyani o'lchash uchun miqdorni 0,01 mm aniqlikda ko'rsatuvchi soat tipidagi laboratoriya indikatoridan foydalanildi.

Tayyorgarlik ishlari yakunlangach, uskuna asta - sekinlik bilan ortib boruvchi tebranma harakatga keltiriladi. Uzluksiz kuzatuv jarayonida grunt deformatsiyasining (quyqalanish) boshlanishi aniqlanadi. Ushbu holat bir - birini to'ldiruvchi ikki usul yordamida bajariladi:

- pezometrda suv sathi ko'tarilishining boshlanishi;
- reper harakatining boshlanishi.

Deyarli bir vaqtda yuzaga keluvchi ushbu jarayonga olib keluvchi tebranma harakatning miqdori (tezlanish hisobida) mazkur grunt turg'unligi saqlanishining yuqori chegarasi sifatida qabul qilinadi. Ya'ni bu tezlanishdan kichik barcha ta'sirlar ostida mazkur gruntning turg'unligi ta'minlanadi deb hisoblanadi.

Eksperimental tadqiqot natijalari bilan 11-ifoda yordamida aniqlangan nazariy hisoblashlar va tajriba asosida olingan muvozanat tezlanishlarini qiymatlari mos keladi. Ular orasidagi farq 10% ni tashkil etadi. Demak bino va inshootlarni loyihalashda nazariy keltirib chiqarilgan formuladan foydalanish imkonini beradi.

## **XULOSA**

1. Tebranma harakat yo'nalishining qumli gruntlar turg'unligiga ta'sirini aniqlash uchun "Tebranma harakat yo'nalishining grunt mustahkamligiga ta'sirini aniqlash" uskunasi yaratildi.

2. Tebranishning turli burchaklarida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida qumli gruntlarda murakkab dinamik jarayon vujudga keladi. G'ovaklar bo'ylab ma'lum gidrodinamik gradiyent ostida xarakatlanuvchi suv oqimining tuzilmasi buzilgan zarralarni muallaq holga keltirishi, natijada vaznini yo'qotib ostki muvozanat holatidagi qatlamni yuksizlantirishi va asta - sekinlik bilan uni ham quyqalanish jarayoniga tortishi kabi holatlar kuzatiladi. Ushbu jarayonning davomiyligi seysmik ta'sir vaqti bilan o'lchanadi.

3. Turli burchak ostida ta'sir etuvchi tebranma harakat ta'sirida grunt zaminidagi qumlarning muvozanat tezlanishi qancha yuqori bo'lsa, ularning mustahkamligi shuncha yuqori bo'lishi aniqlandi.

4. Muvozanat tezlanishini professor H.Z.Rasulov taklif etgan usullaridan foydalanib aniqlashning nazariy usuli keltirib chiqarildi va tavsiya etildi.

5. Turli qum namunalari ustida o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijasi ko'plab omillarga bog'liq ekanligi ko'rsatildi. Ulardan asosiylari: gruntning donadorlik tarkibi, jinslilik holati; loyli zarralarning miqdori; zarra sirtining g'adirbudurligi; gruntning zichligi (g'ovakligi); dinamik ta'sir tezlanishi va ko'rsatkichlari (amplituda, chastota, davr), ta'sir davomiyligi va h.

6. Tavsiya etilgan muvozanat tezlanishini aniqlash ifodasidan foydalanib turli burchak ostidagi tebranma harakat ta'sirida gruntning zichligini muvozanat tezlanishiga ta'siri aniqlandi.

7. Tebranma harakat yo'nalishining turli burchaklarida muvozanat tezlanishi va seysmik tezlanishlar orasidagi bog'lanish aniqlandi.

8. Turli burchak ostida ta'sir etuvchi tebranma harakat natijasida qumlarning zichligi ortishi kuzatildi hamda ularning quyqalanishi uchun katta muvozanat tezlanishi kerak bo'lishi kuzatildi.

9. O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida olingan muvozanat tezlanishlari nazariy formula bo'yicha olingan muvozanat tezlanishlari bilan taqqoslandi, taqqoslash natijalari 5-10 %ni tashkil etdi.

10. Qumli gruntli zaminlarda bino va inshootlarni loyihalash uchun muvozanat tezlanishini aniqlash ifodasidan foydalanish tavsiya etiladi.

11. Izlanishlar asosida tebranma harakat yo'nalishining qumli gruntlar turg'unligiga ta'siri natijasida quyqalanishga qarshi muhandislik usullarini takomillashtirish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan: 1). Qoziqli poydevorlar qo'llash; 2). Qumli grunt zichligini oshirish; 3). Drenajdan foydalanish.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.08.2022.Т.61.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И  
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**БАБАЖАНОВ МАНСУРБЕК БЕКДУРДИЕВИЧ**

**ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ  
ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ**

05.09.02 – Геотехника (Основания, фундаменты и подземные сооружения.  
Механика грунтов и горных пород)

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

**Ташкент – 2024**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №B2022.1.PhD/T2140.**

Диссертация выполнена в Ташкентском архитектурно-строительном университете.  
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу ([www.instmech.academy.uz](http://www.instmech.academy.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Расулов Хаят Заирович,</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Салямова Клара Джаббаровна,</b> доктор технических наук, профессор <b>Султанов Тохиржон Зокирович,</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Институт сейсмологии имени Г.А.Мавлянова</b>

Защита диссертации состоится «27» февраля 2024 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc 02/30.08.2022.Т.61.02 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений. (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33, зал заседаний-1. Тел.(99871) 262-71-52; факс: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института механики и сейсмостойкости сооружений (зарегистрирована за № 20). (Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел. (99871) 262-71-52).

Автореферат диссертации разослан «12» февраля 2024 года.  
(реестр Протокола рассылки № 1 от «14» декабря 2023 года.)

**Д.А. Бекмирзаев**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н.

**Н.А. Нишинов**  
Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, PhD, ст.н.с.

**Б.Э. Хусанов**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н.

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В целях повышения долговечности вновь возводимых, имеющих важное значение, зданий и сооружений в мире особое внимание придается задачам обеспечения прочности и приоритетности их оснований и фундаментов. Анализ последствий сильных землетрясений, произошедших в последние годы, показывает, что разжижение грунтов оснований приводит к повреждению многих зданий и сооружений. В настоящее время в развитых странах, в частности в США, Японии, Южной Кореи, России и других странах, обеспечение прочности и сейсмостойкости жилых зданий, гидротехнических сооружений, дорог, мелиоративных и других сооружений приобретает все большее значение. При этом особое внимание уделяется разработке эффективных методов оценки несущей способности грунтов, повышению сейсмостойкости и устойчивости грунта сооружения.

В мире проводится множество научных исследований, связанных с совершенствованием теории и экспериментальных методов расчета прочностных и деформационных свойств грунтов при статических и динамических воздействиях. В этом направлении приоритетными направлениями развития отрасли считаются повышение сейсмопрочности и устойчивости грунтов, разработка эффективных методов оценки их деформированности. В связи с этим изучение влияния направления сейсмических колебаний на прочность грунтовой структуры и разработка метода расчета несущей способности грунтов является одним из актуальных вопросов в практике сейсмостойкого строительства.

В нашей республике особое внимание уделяется развитию строительной индустрии, обеспечению сейсмостойкости строящихся зданий и сооружений, повышению прочности грунтов их оснований. В Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»<sup>2</sup> в том числе по «...предупреждение строительных дефектов или проблем в строительной деятельности, повышение работ по проектированию и строительству» определены важные задачи. При реализации этих задач важна разработка методов обеспечения устойчивости грунтов песчаных оснований с учетом изменения несущей способности и деформации грунтов вследствие сейсмических воздействий.

Данная диссертация в определенной степени работает в свете реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2022 года № ПФ-144 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы сейсмической безопасности Республики Узбекистан», в Указе Президента Республики Узбекистан от 30 июля 2020 года № PQ-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», в

---

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

Постановлении от 16 мая 2023 года № PQ-158 «О дополнительных мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» других нормативных правовых документах, связанных с этой деятельностью.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики XIV. «Сейсмология, сейсмическая безопасность зданий и сооружений и строительство».

**Степень изученности проблемы.** Изучением динамических свойств песчаных грунтов, исследованием изменения прочности и деформаций грунтов под воздействием землетрясений, а также обоснованием состояния работы оснований зданий и сооружений с песчаными грунтами за рубежом занимались: Seed H.B., Harder L.F., Vaid Y.R., Thomas J., Kokusho T., Tanaka Y., Shannon W.L., Diletrich R.J., Rayatama L., Fukui F., Burland J.B., Герсеванов Н.М., Маслов Н.Н., Флорин В.А., Гольдштейн М.Н., Иванов П.Л., Мусаэлян А.А., Мавлянов Г.А., Зехниев Ф.Ф., Ахмедов Д.Д., Рузиев А.Р., Осипов В.И., Ставницер Л.Р., Абрамова Т.Т., Вознесенский Е.А., Эйслер Л.А., Шкицкий И.П. и другие.

В нашей республике проблемы оснований сооружений на песчаных грунтах, возведения инженерных сооружений на таких грунтах, сейсмостойкости рыхлых грунтов, взаимодействия различных сооружений с грунтовой средой и другие практические вопросы изучали: Расулов Х.З., Ходжметов Г.Х., Султанов К.С., Мажидов И.У., Салямова К.Д., Хасанов А.З., Каюмов А.Д., Расулов Р.Х., Частоедов Ю.Н., Сайфиддинов С., Шерматов М.Ш., Жораев А., Мардонов Б.М., Тошхужаев А.У. и другие.

В этих исследованиях недостаточно изучено влияние направления колебаний на структурную прочность грунта и изменение несущей способности фундамента в этих условиях и т. д. Исходя из этого, требуется проведение научных исследований с учётом направления колебаний при повышении прочности грунтов, а также при оценке несущей способности оснований зданий и сооружений при сейсмическом воздействии.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательской работы образовательного учреждения, в котором выполняется диссертация.**

Данная диссертационная работа выполнена в свете тем (2017-2020 гг.), в рамках плана НИР Ташкентского архитектурно-строительного института № 4 ОТ-Ф4-75 «Разработка методики оценки несущей способности основания здания с учетом изменения прочностных свойств лёссовых грунтов при воздействии сильных землетрясений»

**Цель исследования** определить влияние направления колебаний на разжижение водонасыщенных песчаных грунтов и совершенствование метода оценки устойчивости грунтов при этом процессе.

**Задачи исследования:**

разработка метода расчета влияния направления колебательных

движений на равновесное ускорение песчаных грунтов, насыщенных водой;  
разработка новой конструкции установки для исследования влияния направления колебательного движения на устойчивость песчаных грунтов;  
определение связи между равновесными и сейсмическими ускорениями в результате влияния направления колебательного движения под разными углами на основе экспериментальных исследований;  
разработка инженерных методов обеспечения сейсмостойкости водонасыщенных песчаных грунтов и предотвращения их разжижения.

**Объект исследования** песчаные грунты с различными физико-механическими свойствами, служащие основанием зданий и сооружений на территории Республики.

**Предметом исследования** являются исследования по определению роли направления колебаний на несущую способность оснований зданий и сооружений при воздействии сейсмических колебаний и на структурную прочность основания из песчаного грунта.

**Методы исследования.** методы систематического анализа, механики грунтов, основные законы и правила высшей математики, планирования эксперимента и графоаналитические методы.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

усовершенствован метод определения равновесного ускорения грунтов оснований, с учетом влияния направления колебательного движения, на устойчивость водонасыщенных песчаных грунтов;

разработана установка экспериментального определения с учетом разжижения, просадки и устойчивости водонасыщенных песчаных грунтов при сейсмическом воздействии, направления колебательного движения;

определена, с помощью вновь разработанного специального колебательного оборудования, связь между равновесными и сейсмическими ускорениями в результате воздействия направления колебательного движения под разными углами;

разработан инженерный метод определения сейсмостойкости водонасыщенных песчаных грунтов и предотвращения их разжижения за счет увеличения плотности.

**Практические результаты исследования** следующие:

усовершенствован метод определения сейсмической прочности грунта с учетом воздействия колебаний под разными углами;

разработан метод определения несущей способности песчаного грунта зданий и сооружений с учетом направления колебательного движения;

разработаны инженерные методы обеспечения динамической устойчивости песчаных грунтов и предотвращения их разжижения.

**Достоверность результатов исследования.** Использование метода математической статистики, проведение опытов на песчаных грунтах при воздействии колебаний под разными углами, сопоставление результатов исследований с подобными экспериментов, сопоставление результатов теоретических исследований с результатами экспериментальных исследований обеспечивает достоверность работы.

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

Научная значимость результатов исследований объясняется разработкой теоретического и экспериментального метода определения несущей способности грунтов при сейсмическом воздействии под разными углами.

Практическая значимость исследования объясняется тем, что разработан метод, позволяющий определять структурную прочность, устойчивость и сейсмостойкость грунтов под воздействием направления колебаний. Это дает возможность использовать их при расчете несущей способности оснований зданий и сооружений при различных углах колебаний, а также в зонах повышенной сейсмичности.

**Внедрение результатов исследования.** На основании полученных научных результатов по оценке влияния направления колебаний на устойчивость песчаных грунтов:

метод экспериментального определения равновесного ускорения и динамической устойчивости песчаного грунта при сейсмическом воздействии использован при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений для Хорезмской области (свидетельство №08-06/5619 от 14 июня 2023 года Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан). В результате, это позволило обеспечить сейсмостойкость оснований и фундаментов жилых домов, проектируемых для Хорезмской области.

для обеспечения сейсмостойкости оснований и фундаментов жилых домов, проектируемых для Хорезмской области, использованы инженерные методы обеспечения динамической устойчивости водонасыщенных песчаных грунтов и предотвращения их разжижения (свидетельство № 08-06/5619 от 14 июня 2023 года Министерства Строительства и жилищно-коммунального хозяйства Республики Узбекистан). В результате научных исследований обеспечив сейсмостойкость оснований и фундаментов зданий и сооружений, удалось снизить общую стоимость здания до 20%.

**Апробация результатов исследований.** Основные результаты диссертационной работы обсуждались на 5-ти международных и 2-ух республиканских научно-практических и научно-технических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации всего опубликовано 15 научных работ, в том числе 7 статей в научных журналах, рекомендованных к публикации ВАК, в том числе 2 статьи в зарубежных журналах, а также получен 1 сертификат для программы ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составил 96 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во вводной части** диссертации обосновывается необходимость и актуальность темы исследовательской работы, формируются цель и задачи исследования, а также объект и предмет исследования, показана соответствие

с приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан.

Представлены научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, внедрение результатов исследования, достоверность результатов исследования, опубликованные работы, структура и объем диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Особенности использования песчаных грунтов в качестве оснований»** представлены состояние и анализ изучаемой проблемы.

Известно, что сейсмические колебания на поверхности земли вызываются сейсмическими волнами, распространяющимися в разные стороны от эпицентра землетрясения. Относительно грунта, эти волны воздействуют по своим направлениям. Результаты исследований, проведенных в последние годы, показали, что относительно момента возникающего в сооружении горизонтальное направление имеет важное значение, а воздействие волны, направленной под определенным углом, может быть опасным с точки зрения устойчивости грунта в недрах основания. В дополнение к вышеизложенному, учитывая данную ситуацию, было признано необходимым научно решить следующие задачи диссертации:

1. Изучение геоморфологического строения и зернового состава песчаных грунтов на территории Республики.

2. Оценка показателя динамической устойчивости песчаных грунтов - равновесного ускорения и влияющих на него факторов.

3. Разработка экспериментальных методов и создание установки колебания вдоль направленности под разными углами.

4. Экспериментальное определение равновесного ускорения под действием колебания в разных направленностях.

5. Разработка метода учета влияния направленности колебания на равновесное ускорение.

Центральная и северная часть Республики Узбекистан расположена в древних пустынях Кызылкум и Каракумы, охватывающих оазис двух рек (Амударьи и Сырдарьи). Верхнюю часть пустынь занимают неогеновые песчаные пласты третичного периода, относящиеся к эоловому типу. Слой этих песков мощностью 8-10 м, местами 20-25 м, состоит из мелких частиц с плоской поверхностью вперемешку с очень пористыми, пылевидными частицами. Под ними залегают рыхло сцементированные прослойки песчаника между преимущественно мелкозернистыми песками неогенового возраста. Поскольку поверхность неогеновых песков неровная (шероховатая), они относительно плотно сложенные.

На стыке эоловых и неогеновых песков встречаются прослойки твердых глинистых песков (супесей) мощностью до 3 м.

Таким образом, в указанной части территории Республики в основном залегают аллювиальные и эоловые пески четвертичного периода, а под ними залегают пласты неогеновых песков верхнетретичного периода. Эти грунты

образуют основание для создающихся зданий и сооружений, в основном в городах и селах этих территорий.

На этих территориях высокий уровень грунтовых вод приходится на аллювиальные песчаные пласты четвертичного периода. Глубина залегания уровня подземных вод находится в пределах 1,5 - 5 м, в основном они минерализованы и вредны относительно бетону.

В тектоническом отношении центральная и северная часть Республики составляет 7 баллов, а с инженерно-геологической точки зрения, по результатам сейсмомикротуманированных исследований, относится к району, где происходит землетрясение силой 8 баллов.

Наши исследования проводились на 4 пробах песка, взятых для специальных исследований в Хорезмской области. По своим физико-механическим показателям они разделены на следующие 4 группы.

Группа I. Легкие глинистые пески следующего состава: глинистые частицы 3-6%, пылеватые частицы 5,0-13% и песчаные частицы 81-91%. Среднее количество сверх мелких частиц песка (0,1-1,05 мм) в них составляет 48,5-72,3%.

Группа II. Пылевидные пески с гладкой поверхностью светло-желтого цвета соответствующие эоловой серии. Глинистые частицы в них 1,5-2,4%. Пылевидные частицы 2,1 - 10,8 %, частицы песка 87,0 - 96,3 %. В песках этой группы сверх мелкие частицы (0,1-0,05 мм) 21,8-31,4%, а мелкие (0,1-0,25 мм) - 44,0-61,5%. Эти грунты представляют собой однородные пески.

Группа III. Пески с бело-желтой неровной поверхностью неогеновой серии. Количество глинистых частиц в них 1,7-1,9 %, пылевидных частиц 0,8-10 %, песчаных частиц 90,0-97,2 %, общее количество мелких частиц (0,1-0,25 мм) 64,0-84,0 %. В основании этих грунтовых слоев встречаются рыхло сцементированные песчаники.

Группа IV. Бело-желтые однородные (без примесей) мелкие пески, относящиеся к аллювиальной серии. В них не встречаются глинистые и пылевидные частицы. Количество мелких частиц (0,1-0,25 мм) составляет 68,0-71,5%.

Среди динамических свойств песка особое место занимают плотность частиц и их высшие и низшие показатели. В приведенных выше данных можно наблюдать изменения показателей в зависимости от ровности или неровности поверхности частиц.

Известно, что при оценке плотности песчаных грунтов хороший результат дает использование показателя их относительной плотности « $I_D$ », с помощью которого можно сравнивать плотностное состояние песков.

Относительная плотность грунта определяется с помощью следующего выражения:

$$I_D = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}}, \quad (1)$$

где  $e_{max} - e_{min}$  - коэффициенты пористости для наиболее пористого и наиболее плотного состояния песка,  $e_0$  - коэффициент пористости песка в его естественном состоянии.

**Разжижение песчаных грунтов при динамическом воздействии.** О неустойчивости песков по отношению к динамическим воздействиям, науке было известно еще в начале прошлого века. Первичная информация об этом содержится в отчете комиссии, расследовавшей аварию, случившуюся в 1935 году на плотине, построенной на реке Свирь на севере России.

Позднее Н. М. Герсеванов, В. А. Флорин, Н. Н. Маслов, П. Л. Иванов в широких масштабах проводили исследования динамических свойств песчаных грунтов, в результате чего была создана теория «Нарушение структуры песка при динамическом воздействии».

Под динамическом воздействии грунт находится в двух состояниях, т.е.:

- насыщенный водой в естественных условиях с неповрежденной структурой;

- находится в состоянии полного разжижения.

С этой точки зрения устойчивость сооружений, построенных на песчаных грунтах, в основном зависит от двух факторов: состояния равновесия и собственного веса грунта.

«Фильтрационная теория устойчивости водонасыщенных песков» основана на том, что устойчивость песков при динамическом воздействии нарушается из-за уменьшения сопротивления смещению (прочности) грунта.

По нему наблюдается, что сопротивление перемещению песков при динамическом воздействии ( $S_{дин}$ ) меньше по сравнению с равновесным состоянием ( $S_M$ ). В то же время наблюдается, что они полностью теряют устойчивость в состоянии разжижения, а величина сопротивления смещению равна нулю. Это, в свою очередь, означает, что сопротивление смещению водонасыщенных песков ( $S_{дин}$ ) при переходе от равновесного состояния к динамическому изменяется в следующих пределах:

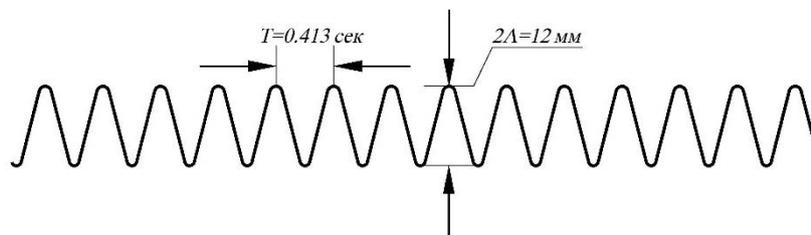
$$S_M \geq S_{дин} \geq 0 \quad (2)$$

Условие  $S_M \geq S_{дин}$  означает, что сопротивление сдвигу песка не изменяется в обоих условиях. Это условие представляет собой высокое значение плотности грунта или очень слабый колебательный процесс. Когда  $S_{дин} \geq 0$ , это говорит о том, что грунт полностью потерял устойчивость и перешел в состояние «разжижения», и в этом случае основание не может выдержать даже небольшой нагрузки. В этом случае любое сооружение внезапно подвергается большому количеству осадки (сверх осадке).

Во второй главе диссертации «**Равновесное ускорение и динамическая устойчивость грунта**» производится определение равновесного ускорения  $\alpha_m$  с помощью эксперимента с использованием специально оборудованного колебательно движущегося устройства. Одной из основных частей оборудования является колеблющийся сосуд, подготовленный в соответствии с целью эксперимента. Сначала ёмкость на 1/3 наполняется водой, а затем в ёмкость с водой постепенно заливается песок. При этом процессе лишняя вода в емкости выливается через шланг, подсоединенный к специальному отверстию, установленному в его верхней части. Затем определяют начальную плотность песка в ёмкости. Ёмкость снабжена специальными приборами

(датчиками), фиксирующими необходимые для эксперимента факторы, и колебательное оборудование медленно приводится в движение. Движение устройства осуществляется за счет поддержания одного из показателей колебания (амплитуды или частоты) постоянным и изменения другого.

Этот процесс непрерывно регистрируется с помощью измерительных приборов, а в конце опыта путем анализа записанной ленты определяется равновесное ускорение  $\alpha_m$  (рис. 1).



**Рис. 1. Запись колебательного поведения устройства (А-амплитуда колебания, Т-период колебания)**

### **Расчетный метод определения равновесного ускорения $\alpha_m$ .**

В настоящее время одним из решений, оказавшихся в определенной степени эффективным, является решение, основанное на взаимодействии плоской волны, распространяющейся с поверхностью однородного полупространства. На основании этого сейсмического испытания, по определению величины напряжения предложенное Расуловым Х.З. выражение формируется в следующем виде:

$$\tau_c = \frac{\gamma_n}{\pi g} 2 H \alpha_c \quad (3)$$

где:  $\gamma_n$  – удельный вес грунта;  $H$  – толщина колеблющегося слоя;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha_c$  – максимальное ускорение колебаний грунта при процессе землетрясения.

Поэтому, исходя из цели исследования, мы использовали теоретические и экспериментальные методы, относящиеся к данному направлению наших исследований.

Целью является определение опасного направления по отношению к устойчивости грунтовой структуры на основе исследования влияния сейсмической направленности на устойчивость грунтового слоя выполняющего обязанности основания сооружения и его оценка по отношению к принятому в действующих нормативных документах горизонтальному направлению.

С этой целью начав исследования на основе теоретического подхода, спланировали и реализовали создание устройства, которое колеблется в разных направлениях и проводит эксперименты на разных грунтах. Ниже приводится описание наших исследований в этом направлении.

Теоретическое решение вопроса о влиянии направленности колебания на равновесное ускорение ( $\alpha_m$ ) основывалось на следующем. Представим, что она колеблется равномерно вдоль слоя грунта толщиной  $H$ . В этом случае на

равновесное состояние каждой частицы в нижней части слоя влияют две силы: удерживающие устойчивость частицы ( $\tau_k$ ) и приводящие её к смещению ( $\tau_c$ ). Согласно закону механики грунтов, силой, обеспечивающей устойчивость частиц при колебании, является вертикальная составляющая давления, действующая на собственный вес конструкции и грунта ( $\sigma_d$ ), угол внутреннего трения грунта ( $\varphi_n$ ) и величина сил межчастичных связей ( $c_n$ ) в зависимости от плотности песчаного грунта ( $n$ ).

Каждая частица в нижней части слоя грунта  $H$  сопротивляется внешней силе следующим образом:

$$\tau_k = \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n + c_n \quad (4)$$

Индексы в выражении (4) представляют собой факторы, от которых зависят показатели, а именно:  $\tau_k$  - сопротивление сдвигу;  $\sigma_d$  - давление в инерционном состоянии, вызванное собственным весом сооружения и грунта;  $n$  - пористость.

В качестве внешней силы, действующей на слой грунта, принимается сейсмическое давление, заставляющее частицы смещаться из положения равновесия. Это давление проявляется как напряжение  $\tau_c$ , возникающее при процессе распространения сейсмических волн. При этом процесс высшего равновесное состояние  $a_m$  (равновесное ускорение) каждой частицы в низовой части грунта обеспечивается следующим уравнением:

$$\tau_k = \tau_c \quad (5)$$

Согласно выражению (5), равновесное ускорение  $a_m$  является верхней границей равновесного состояния колеблющегося грунта. В соответствии с ним грунт рассматривается как упругое тело, сохраняющее свое равновесное состояние в диапазоне колебательных ускорений  $0 - a_m$ . В этом случае грунт сохраняет свою структуру ( $\varphi_n, c_n = \operatorname{const}$ ), а его сопротивление смещению ( $\tau_k$ ) определяется действием давления в инерционном состоянии, вызванным колебаниями сооружение-основание в слое ( $\sigma \neq \operatorname{const}$ ).

Сейсмическое испытание напряжения ( $\tau_c$ ) и его распределение по грунтовому слою определяются путем решения динамических задач, связанных с распространением сейсмических волн через однородные и неоднородные слои. Уровень сложности этих задач зависит от сейсмической активности, геологических и гидрогеологических условий региона, где возводится сооружение.

Следует отметить, что уровень сложности решения задач, связанных с сейсмически напряженным состоянием грунтового слоя, возрастает не только с его инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, но и с отсутствием информации о характере землетрясения и его изменениях со временем. Обычно эта информация становится известна после происхождения землетрясения. При этом сила землетрясения (сейсмический коэффициент) можно приблизительно узнать на основании составленной карты сейсмического микрорайонирования района строительства, а иногда и спектрального состава ожидаемого землетрясения.

На основе сейсмотектонических данных определяется очаг (гипоцентр)

предстоящего землетрясения, и с его помощью, при наличии решения для распространения гармонических волн по этому слою, могут быть определены угол распространения сейсмических волн относительно поверхности площади, смещения, деформации и напряжения вдоль слоя.

В настоящее время известны решения задачи о взаимодействии между плоской волной распространяющейся вдоль однородного слоя грунта с поверхностью площади.

Исследования влияния направления сейсмических волн на показатели прочности грунта в последние годы проводились учеными такими как Ставницер Л.Р., Кокушо Г., Танака Ю., Расуловым Х.З. и другими.

Например, задача о сопряжении плоской волны с границей полупространства была решена Расуловым Х.З. с помощью скалярного  $\xi$  и векторного  $\psi$  потенциалов сейсмического смещения и испытательное напряжение ( $\tau_c$ ) действующее на грунт в процессе распространения волны, обычно выражается в следующем виде:

$$\tau_c = 4\gamma \frac{v_k^2}{v_6^2} c_k \xi e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} \left[ \cos \frac{\omega H}{v_6} - e^{-i\omega \frac{H}{v_k}} \right] + 2i\gamma v_k c_v \sin \frac{\omega H}{v_v} e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} \quad (6)$$

В этом выражении:  $v_k$  – скорость распространения поперечных волн;  $v_6$  – скорость распространения продольных волн;  $c_k$  – проекция поперечной волны относительно плоскости (хоз);  $c_v$  – проекция этой волны на плоскость, перпендикулярную хоз;  $\omega$  – частота вращения;  $\xi$  – направление сейсмической волны в сторону поверхности грунта;  $H$  – толщина слоя;  $\gamma$  – удельный вес грунта.

На основании этого выражения можно выполнить следующие действия.

Если предполагаются следующие зависимости

$$e^{ix} = \cos x - i \sin x$$

$$e^{-i\omega \frac{x\xi^1}{v_b}} = 1, \quad e^{-i\omega \frac{H}{v_k}} = \cos \frac{\omega H}{v_k}, \quad e^{-i\omega \frac{x\delta^1}{v_k}} = 1 \quad (7)$$

то, сейсмическое волновое напряжение, действующее на грунт, можно выразить в виде:

$$\tau_c = 2\gamma \frac{v_k^2}{v_6^2} \frac{\alpha_c}{\omega} \xi \left[ \cos \frac{\omega H}{v_6} - \cos \frac{\omega H}{v_k} \right] + \gamma \frac{v_k \alpha_c}{\omega} \sin \frac{\omega}{v_k}, \quad (8)$$

где  $\alpha_c$ - ускорение движения грунта при колебательном процессе.

Если рассматривать направление сейсмической волны в сторону поверхности слоя грунта ( $\xi$ ) под углом  $\beta$ :

$$\xi = \operatorname{tg} \beta, \quad (9)$$

Возникновение усиления колебаний частиц в 3-4 раза при возврате волн с поверхности грунта (эффект интерференции) А. З. Кац выразил следующим образом. [48]:

$$\frac{H}{\lambda} = \frac{(2n-1)}{4}, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (10)$$

где  $H$  – толщина слоя.

По мнению С. В. Медведева, период колебаний ( $T$ ) зависит от грунтовых условий, и для однородных слоев имеет место равенство:

$$T = \frac{4H}{v_k} \quad (11)$$

Известно, что разница между продольной и поперечной волнами, распространяющимися вдоль слабого слоя грунта, не составляет большой разницы. (например, по КМК 2.01.03-19 эта разница в мелких и пылевидных песках не превышает 0,25%).

На основании (9) – (11) и изложенных выше соображений выражение (8) можно записать в следующем виде:

$$\tau_c = \gamma \frac{\alpha_c}{\pi g} 2H + \gamma \frac{\alpha_c}{2\pi g} H \operatorname{tg} \beta \quad (12)$$

или

$$\tau_c = \frac{\alpha_c}{\pi g} (2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} \operatorname{tg} \beta) \quad (13)$$

На основе выражений (4) и (13) состояние равновесия против смещения частицы, расположенной в любой точке в пределах колеблющегося слоя грунта, на основании (5) определяется из следующего уравнения:

$$\sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n + c_n = \frac{\alpha_c}{\pi g} (2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} \operatorname{tg} \beta). \quad (14)$$

В этом выражении  $\alpha_c$  представляет собой верхний предел равновесного состояния колеблющегося грунта, то есть **равновесное ускорение**:

$$\alpha_m = \frac{\pi g (\sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n + c_n)}{2H\gamma + \frac{\gamma H}{2} \operatorname{tg} \beta} \quad (15)$$

или

$$\alpha_m = \frac{2\pi g (\sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n + c_n)}{\gamma H (4 + \operatorname{tg} \beta)} \quad (16)$$

Выражения (15) и (16) отражают общий вид равновесного состояния колеблющегося плотного слоя песчаного грунта. Из него можно наблюдать равновесное ускорение грунта, помимо силы трения между частицами ( $\varphi$ ), силы связи ( $c_n$ ), зависящей от плотности грунта, и влияния падения давления ( $\sigma_d$ ) со стороны сооружения, влияющего на слой.

В то же время в природе практически достаточно много наблюдаются пески пористые и средней плотности (аллювиальные, эоловые и др.). Если предположить, что в этих песках отсутствует  $c_n$  или его количество очень мало, то выражение (16) можно описать в следующем виде:

Следующее выражение было получено путем внесения в него некоторых изменений.

$$\alpha_m = \frac{2\pi g \sigma_d \operatorname{tg} \varphi_n}{\gamma H (4 + \operatorname{tg} \beta)}, \quad (17)$$

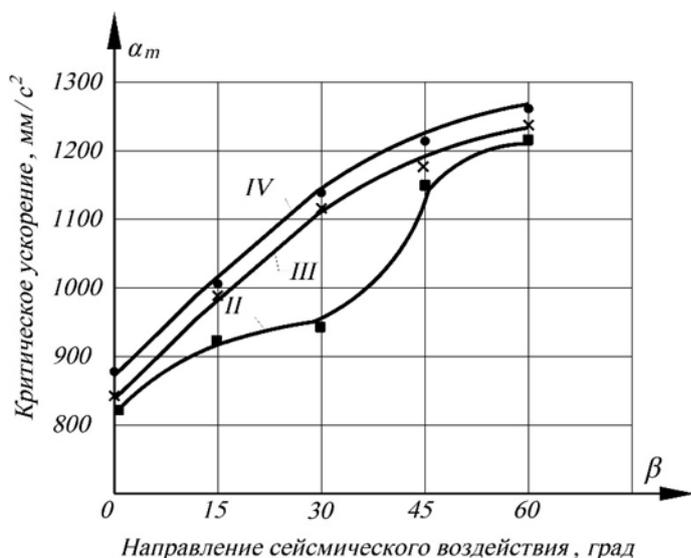
или  $\sigma_d = \gamma_w z + p_d$  (где  $\gamma_w z$  – собственный вес грунта расположенного над наблюдаемым уровнем,  $p_d$  — давление, учитывающее действие инерции, передаваемой от сооружения и для случая  $p_d = 0$ :

$$\alpha_m = \frac{2\pi g \gamma_w z \operatorname{tg} \varphi_n}{\gamma H (4 + \operatorname{tg} \beta)}. \quad (18)$$

На рис. 2 представлена зависимость направления воздействия равновесного ускорения от рассчитанных количеств на основе выражения 18.

Из него видно, что повреждение структуры грунта при процессе колебания зависит от направления воздействия. Эта ситуация применима ко всем направлениям, и можно заметить, что особенно большое влияние на разрушение структуры грунта оказывает колебание между углами 15°-30°.

Итак, под действием колебаний под этим углом грунтовая структура относительно быстро и резко подвергается поврежденному состоянию. Это состояние наблюдалось и в опытах, проведенных Л. Р. Ставницером на колебательном приборе стабилometре. Им отмечено, что большое влияние на разрушение структуры песчаного грунта оказывают колебания в диапазоне углов 30° - 45°.



**Рис. 2. График зависимости между равновесным ускорением и сейсмическим воздействием. На рисунке: грунт II, грунт III, грунт IV.**

Опыты проводились на водонасыщенных и разной плотности песках. Исследования проводились на специальной установке, создающей колебания под разными углами, которое автор построил по заданию научного руководителя.

Существенная разница в параметрах исследуемых грунтов, особенно в плотности, пористости, сил трения и связи их частиц, обеспечивает широкую применимость полученных результатов.

Давайте сосредоточимся на выражении 18.

$$\alpha_m = \frac{2\pi g \gamma_w z t g \varphi_n}{\gamma H (4 + t g \beta)}$$

Исходя из этого выражения, сейсмостойкость (равновесное ускорение)  $\alpha_m$  сооружения, построенного на песчаном грунте, определяется внутренними факторами, связанными с показателями прочности грунта: углом внутреннего трения ( $\varphi_n$ ), вертикальными составляющими напряжения, вызванными собственным весом грунта ( $\gamma_w z$ ), толщины слоя грунта, а также возможно наблюдать взаимосвязь внешних факторов: ускорение колебательного

В третьей главе диссертации под названием «Исследование влияния направления колебательного движения на равновесное ускорение» в соответствии с целями исследования в качестве экспериментального объекта использовались песчаные грунты, широко распространенные на территории Хорезмской области, различного генезиса и строения. Информация об этих грунтах приведена в Главе 1. Исследования проводились на 4 типах

движения ( $\alpha_c$ ) и его составляющих: амплитуды ( $A$ ), частоты ( $f$ ), периода ( $T$ ) и угол сейсмического воздействия ( $\beta$ ).

Автор сочел важным задачу испытать его опытом перед практическим исследованием, проверить вышеизложенное утверждение относительно определения устойчивости песчаного грунта, которая зависит одновременно от многих факторов.

Исходя из цели исследования, следующий эксперимент посвящен изучению факторов, влияющих на динамическую устойчивость ( $\alpha_m$ ) песчаных грунтов при воздействии колебаний под разными углами.

При исследовании данной проблемы сосредоточили внимание на следующих вопросах:

- определить влияние показателей прочности грунта на равновесное ускорение под действием колебательного движения под разными углами;

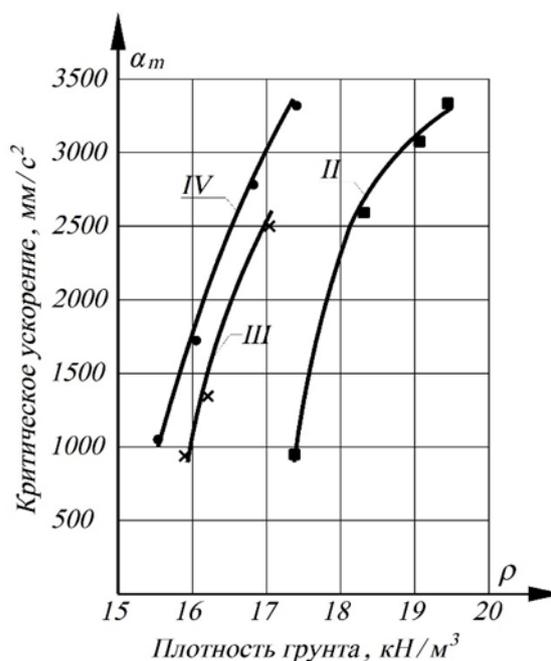
- изучить влияние динамической силы и ее составляющих на равновесное ускорение;

- сравнение расчетных показателей по выражению 18 с экспериментальными результатами по определению динамического воздействия на равновесное ускорение под разными углами.

Ниже оговариваются физико-механические параметры исследуемых грунтов, экспериментальная установка, измерительные приборы и методы эксперимента.

Анализ устойчивости песков различного генезиса в процессе колебания показал, что особое значение имеет их водонасыщенность. Водонасыщение любых песков снижает присущее им равновесное ускорение. Это свидетельствует о том, что песок в таком состоянии не имеет сил связи и силы трения уменьшаются под воздействием приостановки. На основании этого можно сказать, что если сила связи между колеблющимися частицами песка сохраняется, то величина равновесного ускорения будет несколько выше.

Как уже упоминалось выше, силы связи в песках могут встречаться в том или ином количестве в их плотных и мало увлажненных состояниях. При нарушении сил связи в песках тем или иным воздействием (например, динамическим) они не восстанавливаются, и это состояние воздействует на их плотность (рис. 3).



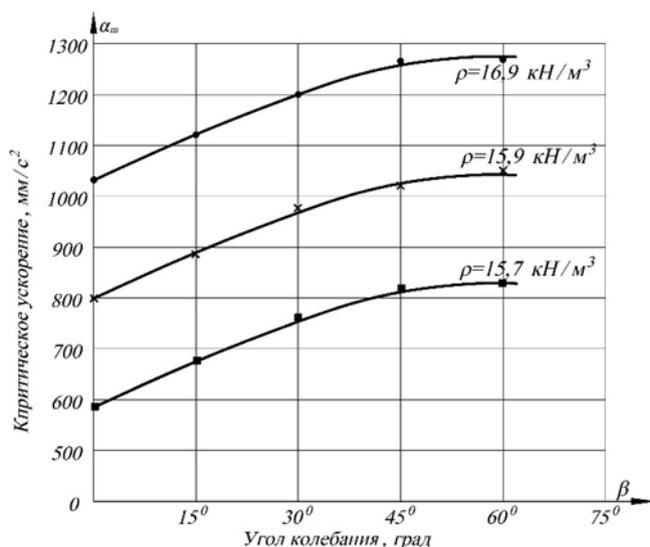
**Рис. 3. График зависимости между равновесным ускорением и плотностью грунта. На рисунке: грунт II, грунт III, грунт IV.**

**Плотность грунта.** Из результатов экспериментальных исследований, в ходе которых произведено динамическое воздействие на выбранные пески в различных угловых направленностях, стало ясно, что равновесное ускорение грунта напрямую связано с его плотностью.

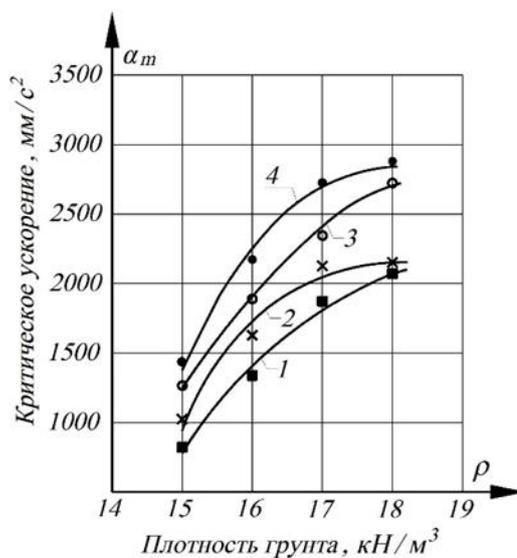
На графике рис. 4 показана связь  $\text{tg}\beta = f(n)$  для исследуемых грунтов № III. В нем показатель пористости представляет собой состояние плотности тестируемого образца. В этом отношении примечателен график, представленный на рис. 5. Поскольку характерная для песков номера IV зависимость  $\text{tg}\beta = f(D)$  представляет собой относительную плотность грунта, которую можно считать в этом отношении общей.

Известно, что состояние плотности грунта напрямую связано с его прочностью. В то же время в специально проведенных нами экспериментах было показано, что очень важное влияние на устойчивость грунта оказывают показатели, определяющие прочность грунта (угол внутреннего трения  $\varphi$  и прочность связи  $c$ ).

Эту ситуацию можно проследить из графика на рисунке 6. На нём описывается зависимость  $\text{tg}\beta = f(D)$  и устойчивость песков разной плотности к динамическим воздействиям. Эти эксперименты проводились с использованием колебания песков разной плотности.



**Рис.4. Влияние угла колебаний на равновесное ускорение в песках разной плотности:**  
**Грунт III,  $\rho = 15,7 \text{ кН/м}^3$ ;  $\rho = 15,9 \text{ кН/м}^3$ ;  $\rho = 16,9 \text{ кН/м}^3$ .**

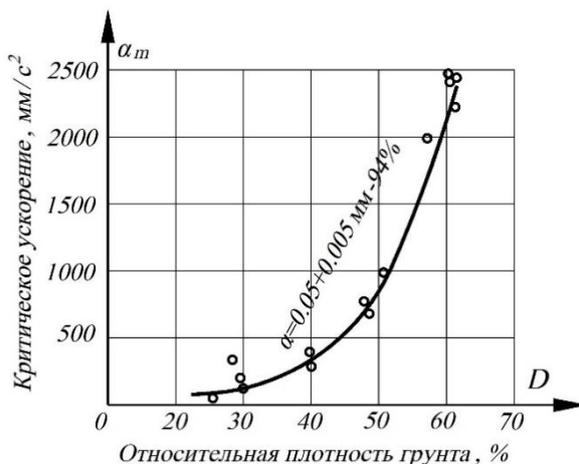


**Рис.5. Зависимость равновесного ускорения от плотности грунта: 1 –  $\beta = 15^\circ$ ; 2 –  $\beta = 30^\circ$ ; 3 –  $\beta = 45^\circ$ ; 4 –  $\beta = 60^\circ$ .**

Достижимый при ускорении показатель плотности под действием определенного направления служил исходной величиной для следующего эксперимента. Само собой разумеется, что для приведения грунтовой структуры такой плотности в состояние разрушения когда требуется более сильное динамическое воздействие, чем предыдущее. Эксперименты такого

типа продолжались до воздействия ускорения в размере 2800 - 3200 мм/с<sup>2</sup> (сила землетрясения 9 баллов).

Говоря о соотношении  $\text{tg}\beta = f(n)$ , важно обратить внимание на следующее. В опытах на генетически различных песках (эоловых, делювиальных, аллювиальных), несмотря на то, что их исходные плотностные состояния близки друг к другу, устойчивость грунта была разной при воздействии разных углов  $\beta$ . Значения  $\beta$  в грунтах, содержащихся в неогеновых песках при той же плотности, имеет малую величину. Такая ситуация свидетельствует об их динамической устойчивости. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что глинистые частицы увеличивают силы сцепления в грунте и придают грунту удельную прочность. То же самое можно сказать и об сверх мелких пылевидных частицах (0,05 - 0,005 мм) в составе грунта.



**Рис.6. Зависимость равновесного ускорения, характерного для песчаных грунтов, от относительной плотности грунта.**

В четвертой главе диссертации под названием «**Практическое применение метода определения равновесного ускорения при сейсмическом воздействии в различных направлениях**» более 40 % территории нашей Республики составляют пески, мощность которых в большинстве мест составляет 20÷30 м. Они лежат на твердом слое, почти в водонасыщенном состоянии. Поэтому уровень грунтовых вод находится на глубине 0,5-1,0 метра. Это помогает пескам основания насыщаться водой. Хорезмская область относится к сейсмоактивным регионам силой 7 баллов. В зависимости от эпицентра землетрясения угол распространения сейсмических волн может быть различным.

Одним из важных элементов лабораторного оборудования для изучения условий сейсмостойкости водонасыщенных песков является колебательная установка той или иной системы. На сегодняшний день созданы различные колебательные установки, создающие горизонтальные и вертикальные колебания.

Одной из уникальных особенностей установки для определения влияния направленности колебания на прочность грунта является обеспечение ускорения под углами от 0° до 90° за счет изменения другого при сохранении неизменным одного из показателей колебаний (частота, амплитуда). Установка позволяет изменять частоту колебаний в диапазоне 1-10 Гц и амплитуду в диапазоне 0,1-12 мм. Исходя из цели нашего исследования, были созданы ускорения экспериментальными работами (до 6 - 9 баллов) с силовыми воздействиями (табл. 1) согласно.

Вибрационная установка относится к строительной отрасли и предназначена для экспериментальных исследований по осадке грунтов под фундаментом зданий и сооружений (в теле земляных дамб) при сейсмическом воздействии.

Таблица 1.

**Ускорение грунта в процессе землетрясения ( $T=0,1$  с).**

Интенсивность землетрясения, балл	Диапазоны максимального ускорения грунта $\text{см/с}^2$ , период колебаний 0,1с.	Диапазоны максимальной скорости колебания грунта, $\text{см/с}$	Максимальные диапазоны перемещений маятника сейсмометра, мм.
6	30-60	3,0-6,0	1,5-3,0
7	61-120	6,1-12,0	3,1-6,0
8	121-240	12,1-24,0	6,1-12,0
9	241-480	24,1-48,0	12,1-24,0
10	481-960	48,1-96,0	24,1-48,0

**Техническая задача** состоит в том, чтобы регулировать вращение объемного двигателя в эксцентрик на разных частотах преобразователя частоты, обеспечить автоматическое изменение частоты колебаний в вибростенде, близкое к эффекту реального землетрясения, а затем добавить смещения и ускорения грунта к фактическому расчету осадки и устойчивости подземной части зданий и сооружений с помощью датчиков, установленных в ёмкости и определять фактические значения ускорения.

В экспериментальных исследованиях техническим результатом является автоматическое задание частот колебания с помощью компьютера и специальной управляющей программы с использованием микроконтроллера Arduino Uno R 3 с модулем Dimmer AC 5 в двигателе. Для определения основных параметров при проектировании сейсмостойкого основания зданий и сооружений, можно определить параметры грунта, соответствующие сейсмическим воздействиям в разных направлениях, как это бывает в реальности, на разных уклонах рабочей зоны ёмкости. Фактически в результате экспериментальных исследований, проведенных с целью проектирования сейсмостойких оснований и фундаментов зданий и сооружений, удалось определить механические параметры и движение грунта оснований при различной интенсивности амплитуды колебаний и частоты.

Общий вид колебательного стенда (вибростенда) с указанием всех элементов и деталей предлагаемой к созданию полезной модели изображен на рис. 7.

Испытательная ёмкость имеет размеры 250x250x400 мм, а её верхняя и нижняя части имеют специальные герметично закрывающиеся специальные отверстия. Верхнее из них предназначено для удаления избытка воды, а нижний – для удаления грунта в конце опыта (рис. 8).

В процессе эксперимента измерялись следующие показатели:

- а) сила динамического воздействия (ускорение);
- б) плотность образца грунта в начале, в процессе опыта и в конце опыта;
- в) начало движения реперов, установленных на уровне и в нижней части грунта;
- г) возникновение гидродинамического давления.



**Рис.7. Общий вид экспериментальной установки**



**Рис.8. Ёмкость для наполнения грунтом экспериментальной установки**

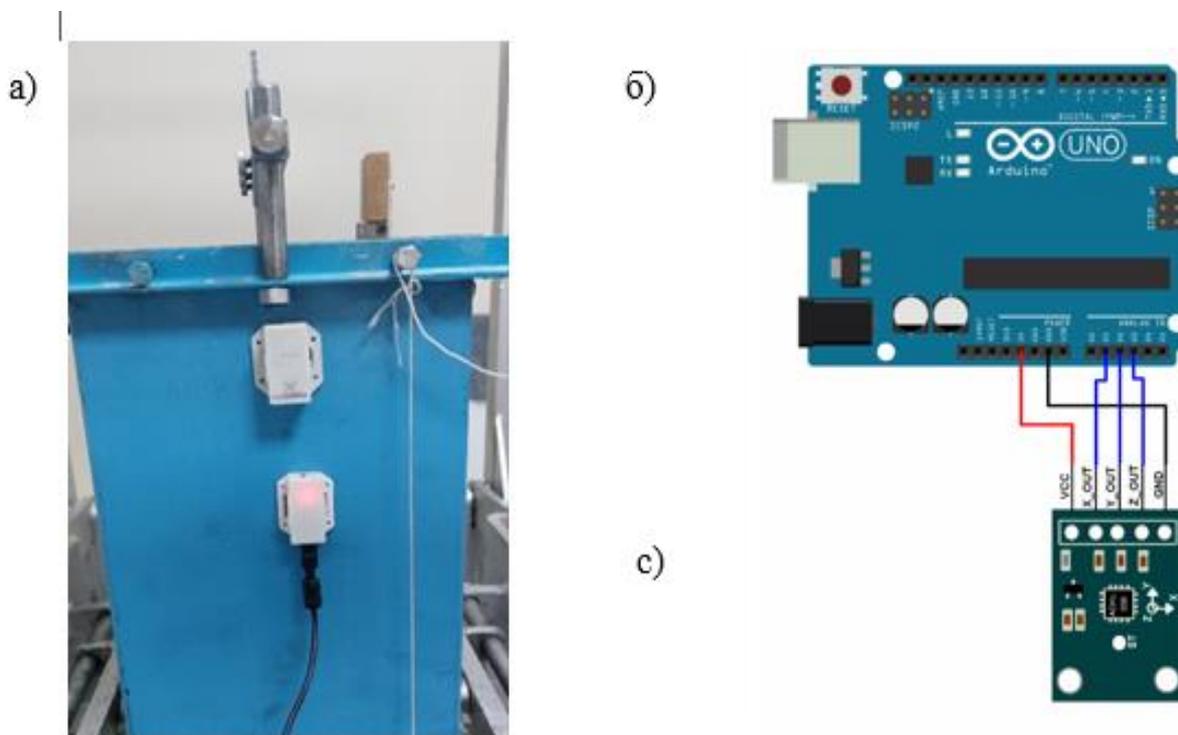
**Метод исследования и средства измерения.** Измерение количества динамического воздействия. Во всех экспериментах в качестве величины динамического воздействия (колебания) использовалась величина наибольшего ускорения землетрясений согласно указаниям Стандарта Республики Узбекистан УзРСТ 836-97.

Как указывалось выше, колебания установки осуществлялась за счет изменения частоты или амплитуды колебаний под углами  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  ( $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ) с помощью электрического двигателя.

Учитывая необходимость уделять особое внимание точному и безошибочному расчету ее составляющих (частота, амплитуда, период колебаний и т.п.) при выборе средств измерения колебаний в экспериментах использовались следующие приборы: устройство измерения колебания микроконтроллер Arduino Uno R3 с модулем Dimmer AC 5 и акселерометр GY-61 ADXL335 (рис. 9. Приборы для записи экспериментальных данных).

Для регистрации устойчивости грунта при процессе колебания был предложен следующий метод. Суть этого метода, основанного на измерении колебательного движения, приводящего к возникновению деформации грунта при колебательном процессе, заключается в следующем. В экспериментальную ёмкость, оборудованную специальными

пьезометрическими приборами, по заданной плотности укладывается водонасыщенный грунт с определенными физико - механическими свойствами. После размещения грунта устанавливается репер. Для измерения деформации использовался лабораторный индикатор часового типа, который показывал величину с точностью до 0,01 мм.



**Рис.9. Измеритель, регистрирующий гармоническое колебательное движение установки: а) акселерометр, установленный на ёмкости; б) микроконтроллер Arduino Uno R3 в) трехмерный акселерометр GY-61 ADXL335.**

После завершения подготовительных работ установку приводят в движение с постепенно нарастающим колебанием. В процессе непрерывного наблюдения определяется начало деформации грунта (разжижение). Это выполняется двумя взаимодополняющими способами:

- начало подъема уровня воды в пьезометре;
- начало движения репера.

Величина колебательного движения, приводящая к тому, что этот процесс происходит почти одновременно (за счёт ускорения), считается верхним пределом сохранения этой устойчивости грунта. То есть считается, что устойчивость этого грунта обеспечивается при всех воздействиях, меньших, чем это ускорение.

Значения равновесных ускорений, полученные на основе теоретических расчетов и определенные экспериментально с помощью выражения 18, соответствуют результатам экспериментальных исследований. Разница между ними составляет 10%. Поэтому при проектировании зданий и сооружений дает возможность использования теоретически выведенной формулы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С целью определения влияния направленности колебания на устойчивость песчаных грунтов создана установка «Определение влияния направленности колебания на устойчивость грунта».

2. В результате экспериментальных исследований, проведенных при различных углах колебаний в песчаных грунтах происходит сложный динамический процесс. Известны случаи, когда движущийся по порам поток воды под определенным гидродинамическим градиентом взвешивает частицы с нарушенной структурой, в результате чего разгружает нижний равновесный слой, теряя нагрузку, и постепенно втягивает его в процесс разжижения. Продолжительность этого процесса измеряется временем сейсмического воздействия.

3. Определено, что чем выше равновесное ускорение песков в грунте под действием колебательного движения, действующего под разными углами, тем выше их прочность.

4. Разработан и рекомендован теоретический метод определения равновесного ускорения с использованием методов, предложенных профессором Х. З. Расуловым.

5. Результаты экспериментов, проведенных на разных образцах песка, показали, что это зависит от многих факторов. Основные из них: зерновой состав грунта, родностное состояние; количество глинистых частиц; шероховатость поверхности частиц; плотность (пористость) грунта; ускорение и показатели динамического воздействия (амплитуда, частота, период), продолжительность воздействия и т.п.

6. Используя предложенное выражение определения влияние плотности грунта на равновесное ускорение под действием колебательного движения под разными углами.

7. Определена зависимость между равновесным ускорением и сейсмическим ускорением при различных углах направленности колебания.

8. В результате колебательного движения, действующего под разными углами, наблюдалось увеличение плотности песков и было определено, что для их разжижения необходимо большое равновесное ускорение.

9. При сравнении равновесных ускорений, полученных в результате экспериментальных исследований с равновесными ускорениями, полученными по теоретической формуле, результаты сравнения составили 5-10%.

10. Для проектирования зданий и сооружений на песчаных грунтах рекомендуется применять выражение равновесного ускорения основания.

11. На основании исследований, в результате влияния направления колебаний на устойчивость песчаных грунтов, разработаны рекомендации по совершенствованию инженерных методов борьбы с разжижением: 1). Применение свайных фундаментов; 2). Повышение плотности песчаного грунта; 3). Использование дренажа.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.08.2022.T.61.02 AWARDING THE  
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND  
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

**BABAJanov Mansurbek Bekdurdiyevich**

**INFLUENCE OF VIBRATION DIRECTION ON THE STABILITY  
OF SANDY SOILS**

05.09.02 – Geotechnics (Grounds, foundations and underground structures.  
Soil and rock mechanics)

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

**Tashkent – 2024**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and innovations of the Republic of Uzbekistan under number № B2022.1.PhD/T2140**

The dissertation was conducted at the Tashkent University Architecture and Construction.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific Council ([www.instmech.academy.uz](http://www.instmech.academy.uz)) and on the information- educational portal “ZiyoNet” at the address ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).)

**Scientific advisor:**

**Rasulov Khayat Zairovich,**

doctor of technical science, professor

**Official opponents:**

**Salyamova Klara Djabbarovna,**

doctor of technical science, professor

**Sultonov Tohirjon Zokirovich,**

doctor of technical science, professor

**Leading organization:**

Institute of Seismology named after G.O.Mavlonov

Defense will take place «27» February 2024 at 14<sup>00</sup> at the meeting of the Scientific Council DSc. 02/30.08.2022.T.61.02 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures (Address 100125, Tashkent, Durmon yuli street, 33, Conference hall – 1. Tel: (99871) 262-71-52; fax: (99871) 262-71-32, e-mail: [instmech@academy.uz](mailto:instmech@academy.uz)).

Dissertation is possible to review in Information-resource center of the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures (registration number №. 20). (Address: 100125, Tashkent, St. Durmon Yuli, 33. Tel. (99871) 262-71-52).

Abstract of the dissertation sent out on «12» February 2024 y.  
(mailing report № 1 on «14» December 2023 y.)

**D.A. Bekmirzayev**

Chairman of the Scientific Council for awarding scientific degrees, Doctor of technical sciences

**N.A. Nishonov**

Scientific secretary of the scientific Council for awarding scientific degrees, PhD

**B.E. Xusanov**

Chairman of the academic seminar under the scientific council awarding scientific degrees, doctor of Physical and mathematical sciences

## **INTRODUCTION (Annotation of dissertation of the doctor Philosophy (PhD))**

**The aim of the research work is** determine the influence of the direction of vibrations on the liquefaction of water-saturated sandy soils and improve the method for assessing the stability of soils during this process

### **Research objectives:**

development of a method for calculating the influence of the direction of oscillatory motion on the equilibrium acceleration of sandy soils saturated with water;

development of a new design of an installation to study the influence of the direction of oscillatory motion on the stability of sandy soils;

determination of the relationship between equilibrium and seismic accelerations as a result of the influence of the direction of oscillatory motion at different angles based on experimental studies;

development of engineering methods to ensure seismic resistance of water-saturated sandy soils and prevent their liquefaction.

**The object of research** sandy soils with various physical and mechanical properties that serve as the foundation of buildings and structures on the territory of the Republic.

### **The scientific novelty of the research is as follows:**

the method for determining the equilibrium acceleration of foundation soils has been improved, taking into account the influence of the direction of oscillatory motion on the stability of water-saturated sandy soils;

an experimental installation has been developed taking into account liquefaction, subsidence and stability of water-saturated sandy soils under seismic influence, the direction of oscillatory movement;

determined, with the help of newly developed special oscillatory equipment, the relationship between equilibrium and seismic accelerations as a result of the influence of the direction of oscillatory motion at different angles;

An engineering method has been developed to determine the seismic resistance of water-saturated sandy soils and prevent their liquefaction by increasing density.

### **The practical results of the study are as follows:**

the method for determining the seismic strength of soil has been improved, taking into account the effects of vibrations at different angles;

a method has been developed for determining the bearing capacity of sandy soil of buildings and structures, taking into account the direction of oscillatory movement;

Engineering methods have been developed to ensure the dynamic stability of sandy soils and prevent their liquefaction.

**The structure and scope of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation was 96 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; part I)**

1. Rasulov Kh.Z., Rasulov R.Kh., Babajanov M.B. Vibrocreepage the humidified loess // International Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology Volume 6, Issue 9, September India 2019, p. 10847-10850 / ISSN: 2350-0328. (Impact Factor-7, 129)

2. Расулов Х.З., Бабаджанов М.Б. Разжижение водонасыщенных связных грунтов в условиях сейсмических воздействий // Ўзбекистон архитектураси ва қурилиши. Тошкент, 2019. №5, 36-37 бетлар. (05.00.00 №29).

3. Babajanov M.B., Jumanov S.U., Narbayev U.I. Yer osti inshootlarning zilzila ta'sirida turg'unligi // TAQI, "Arxitektura-qurilish dizayn" ilmiy-amaliy jurnal maxsus son Toshkent, 2019, 198-200 betlar. (05.00.00 №4).

4. Rasulov H.Z., Rasulov R.H., Babajanov M.B. Безопасная нагрузка на основания сооружений с учетом сейсмической инерционной силы // O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi, Ilmiy jurnal «Ilm-fan va innovatsion rivojlanish» Toshkent, 2019, №5. 56-62 betlar. (05.00.00. OAK Rayosatining 2019 yil 28 fevraldagi 262/9.2-son qarori).

5. Rasulov H.Z., Rasulov R.H., Babajanov M.B. Связь порога сейсмопросадочности с сопротивлением грунта сдвигу // O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi, Ilmiy jurnal «Ilm-fan va innovatsion rivojlanish» Toshkent 2020, №1. 105-113 betlar. (05.00.00. OAK Rayosatining 2019 yil 28 fevraldagi 262/9.2-son qarori).

6. Rasulov H.Z., Rasulov R.H., Tashxodjayev A.U., Babajanov M.B. Vibration creep of loess soils // IOP Conference Series. Earth and Environmental Science; Bristol Volume 614, 1st, (Dec 2020). DOI:10.1088/1755-1315/614/1/012064. (Scopus CiteScore-0,5).

7. Rasulov H.Z., Babajanov M.B. Seysmik to'liqin yo'nalishining muvozanat tezlanishiga ta'siri // O'zbekiston Respublikasi Innovatsion rivojlanish vazirligi, Ilmiy jurnal «Ilm-fan va innovatsion rivojlanish» Toshkent 2021, №3. 56-62 betlar. (05.00.00. OAK Rayosatining 2019 yil 28 fevraldagi 262/9.2-son qarori).

**II бўлим (II часть; part II)**

8. Rasulov R.H., Babajanov M.B., Allamuratov A.B., Fayzullayev L.M., Saydahmedov N.S. Qumli to'g'onlarning seysmik turg'unligi Sultonsanjar to'g'oni misolida // Научные труды международной научно-технической конференции Актуальные вопросы повышения энергоэффективности гражданских зданий и сельских жилых домов Ташкент 10-11 апреля 2019 год., с. 203-204.

9. Расулов Х.З., Бабажанов М.Б., Алламуратов А.Б., Сайдахмедов Н.С. Допускаемая нагрузка на основание грунтовых плотин при сейсмических воздействиях // Научные труды международной научно-технической конференции Актуальные вопросы повышения энергоэффективности

гражданских зданий и сельских жилых домов Ташкент 10-11 апреля 2019 год., с. 247-250.

10. Расулов Х.З., Бабажанов М.Б. Критерие нарушения структуры грунта при сейсмических воздействиях // Роль и значение науки в обществе и ее влияние на инновационное развитие, Сборник статей Международной научно-практической конференции Магнитогорск, 19 июля 2020 г. - Уфа: OMEGA SCIENCE, 2020. – 277 с./ ISBN 978-5-907347-35-9.

11. Расулов Х.З., Расулов Р.Х., Бабажанов М.Б. Сейсмопросадка увлажненных лессов // Инновационные технологии в решении актуальных проблем сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии // Материалы международной научной конференции, посвященной 110-летию академика Г.А.Мавлянова (20-21 октября 2020 г.), с. 236-239.

12. Расулов Х.З., Бабажанов М.Б. Зависимость сеймопросадочной деформации сооружений от прочности грунта основания // Инновации, интеграция, экономия в области архитектуры и строительства // Сборник материалов международной научно-практической конференции (5-6 мая 2021 г.). с. 556-559.

13. Babajanov M.B. “C++” Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur uchun berilgan guvohnoma O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellectual mulk agentligi №DGU 15243 01.03.2022 talabnoma raqami DGU 2022 0883.

14. Расулов Р.Х., Бабажанов М.Б. Виброползучесть лессовых грунтов // Zamonaviy arxitektura, binolar va inshootlarning mustahkamligi, ishonchliligi va seysmik xavfsizlik muammolari // Respublika ilmiy amaliy konferensiya materiallari to‘plami. Namangan (6-8 may 2021 y.). 127-130 b.

15. Rasulov R.H., Tashxodjayev A.U., Babajanov M.B. Seysmik ta’sirda gruntning mustahkamligi // O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi Toshkent Arxitektura qurilish instituti Inshoot mustahkamligi, turg’unligi va zilzilabardoshligi muammolarining yechimida geotexnika va poydevorsozlik ilmining zamonaviy usullari va texnologiyalari konferensiya materiallari I-qism 2021 yil 21-22 oktabr, Toshkent, O‘zbekiston, 43-47 bet.

Avtoreferatning o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi nusxalari  
«Mexanika muammolari O‘zbekiston jurnali» tahririyatida  
tahrirdan o‘tkazildi

Bichimi 60x64  $\frac{1}{16}$ . Raqamli bosma usuli. Times garniturası.  
Shartli bosma tabog‘i 3. Adadi: 100.  
“AKTIV PRINT” bosmaxonasida chop etilgan.  
Bosmaxona manzili: Toshkent sh., Chilonzor mavzesi 25, 1A-uy



