

**M.T.O'ROZBOYEV NOMIDAGI MEXANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI”
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

XAMIDOV SAIDJON SOBITJON O‘G‘LI

**GRUNTLARDA NOCHIZIQ TO‘LQIN TARQALISH
JARAYONLARI VA ULARNING GRUNTLI INSHOOTLAR
MUSTAHKAMLIGI UCHUN AMALIY AHAMIYATI**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

**Fizika - matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
avtoreferati mundarijasi**

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

**Contents of Dissertation Abstract of the Doctor of Philosophy (PhD)
on Physical-mathematical Sciences**

Xamidov Saidjon Sobitjon o'g'li

Gruntlarda nohiziq to'liq tarqalish jarayonlari va ularning gruntli inshootlar mustahkamligi uchun amaliy ahamiyati.....3

Хамидов Саиджон Собитжон угли

Процессы распространения нелинейных волн в грунтах и их практическое значение для прочности грунтовых сооружений.....21

Xamidov Saidjon Sobitjon ugli

Processes of propagation of nonlinear waves in soils and their practical significance for the strength of soil structures masses40

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works42

**M.T.O'ROZBOYEV NOMIDAGI MEXANIKA VA INSHOOTLAR
SEYSMIK MUSTAHKAMLIGI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY
DARAJALAR BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 RAQAMLI
ILMIY KENGASH**

**“TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ XO‘JALIGINI
MEXANIZATSIYALASH MUHANDISLARI INSTITUTI”
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI**

XAMIDOV SAIDJON SOBITJON O‘G‘LI

**GRUNTLARDA NOCHIZIQ TO‘LQIN TARQALISH
JARAYONLARI VA ULARNING GRUNTLI INSHOOTLAR
MUSTAHKAMLIGI UCHUN AMALIY AHAMIYATI**

01.02.04 – Deformatsiyalanuvchan qattiq jism mexanikasi

**Fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.PhD/FM raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (www.instmech.academy.uz) va "Ziyonet" axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Sultanov Karim Sultanovich
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Mardonov Batirjon
fizika-matematika fanlari doktori, professor

Mamatova Nigora Tuxtabayevna
fizika-matematika fanlari nomzodi

Yetakchi tashkilot:

Toshkent arxitektura-qurilish universiteti

Dissertatsiya himoyasi O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi DSc.02/30.12.2019.t/fm.61.01 raqamli Ilmiy kengashining 2024 yil «15» yanvar soat 14:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100047, Toshkent sh., Do'rmon yo'li ko'chasi, 40-uy.320-majlislar zali. Tel.: (+99871) 262-71-52, faks: (+99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz.)

Dissertatsiya bilan O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (24 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100047, Toshkent sh., Do'rmon yo'li ko'chasi, 40-uy. M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti, ARM bo'limi. Tel.: (+99871) 262-71-52, e-mail: instmech@academy.uz.)

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «26» dekabr kuni tarqatildi.
(2024yil «24» dekabrda 25-raqamli reester bayonnomasi).

M.Mirsaidov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi
t.f.d., professor, akademik

M.K. Usarov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy
kotibi, f.-m.f.d., professor

R.A. Abirov

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

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasining annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda gruntli inshootlar juda ko‘p uchraydigan ob‘yektlar hisoblanib, ularning qurulishi tobora ortib bormoqda. Zilzila natijasida hosil bo‘ladigan to‘lqinlarning tarqalish jarayonida gruntli inshootlarga ta‘sirini o‘rganish asosiy muammolardan biri bo‘lib kelmoqda. So‘ngi vaqtlarda yuz berayotgan zilzilalar natijasida gruntli inshootlarni loyihalash va mustahkamlikka hisoblashda aniq hisob kitoblarga alohida ahamiyat berilmoqda. Grunt parametrlarini aniqlashda o‘tkazilgan tajribalar katta ahamiyatga egadir, ammo iqtisodiy jihatidan ancha qimmat ekanligi e‘tiborga olish lozim. Shuning uchun, bugungi kunda ko‘plab olimlar tomonidan grunt parametrlarini nazariy yo‘l bilan aniqlashga katta e‘tibor qaratilgan. Hozirgi kunda ko‘plab mamlakatlarda, jumladan AQSH, Rossiya, Yaponiya, Xitoy, O‘zbekiston va boshqa mamlakatlarda gruntlarda to‘lqin tarqalish masalalarini hal etish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Gruntli inshootlar mustahkamligini ta‘minlash dolzarb muammolardan biri hisoblanadi.

Jahonda grunda tarqaliyotgan to‘lqin parametrlarini aniqlashda namlikni, statik va dinamik siqilish modullarini hisobga olgan holda turli fizik hamda matematik modellarni ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlarga e‘tibor qaratilmoqda. Gruntlarda nochiziq to‘lqin tarqalish jarayonlarini gruntli inshootlar mustahkamligiga ta‘sirini aniqlash dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. Buning uchun grunt holatini to‘g‘ri baholash zaruriyati yuzaga keladi. Grunt holatini aniq bilgan holda to‘lqin tarqalish jarayonida grunt parametrlarini hisoblash hamda kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini aniqlash dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda seymik xavfsizlikni ta‘minlash tizimlarini yanada takomillashtirish hamda baholashga qaratilgan ko‘plab ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 30 maydagi “O‘zbekiston Respublikasining seymik xavfsizligini ta‘minlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”¹gi PF-144 sonli Farmonida bino va inshootlar zilzilabardoshligini ta‘minlashning ustuvor yo‘nalishlari ko‘rsatib o‘tilgan. 2022–2026 yillarda Yangi O‘zbekistonni rivojlantirish strategiyasida yer osti inshootlarining seymik mustahkamligi muammolarini hal etish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlarni yanada rivojlantirish vazifasi ham belgilab qo‘yilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda gruntlarda nochiziq to‘lqin tarqalish jarayonlarini gruntli inshootlar mustahkamligiga ta‘sirini o‘rganish muhim ahamiyatga ega.

Mazkur dissertatsiya tadqiqoti O‘zR Prezidentining 2017 yil² va 2020 yildagi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy-huquqiy

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 30-maydagi “O‘zbekiston Respublikasining seymik xavfsizligini ta‘minlash tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” PF-144 sonli Farmoni

²O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017 yil 9-avgustdagi № PQ-3190-son «Seysmologiya, seymik chidamli qurilish hamda O‘zbekiston Respublikasi aholisi va hududining seymik xavfsizligi sohasida ilmiy tadqiqotlar olib borishni takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi Qarori

hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishi ustuvor yoʻnalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot Oʻzbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining IV. “Matematika, mexanika va informatika” ustuvor yoʻnalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning oʻrganilganlik darajasi. Hozirgi vaqtda gruntlarda nochiziq toʻlqin tarqalish jarayonlarini gruntli inshootlar mustahkamligiga taʼsirini hamda gruntga qoʻllaniladigan modellarni oʻrganish va ularning tahlil qilish sohasida bir qator ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda, shu jumladan B.T. Brady, A. Brunelli, N.G.W. Cook, X.A. Raxmatulin, S.S. Grigoryan, L.S. Yevtere, A. F. Revujenko, A.A. Ilyushin, G.M. Lyaxov, J.D. Achenbach, A.U. Bishop, R.N. Bishop, D.C. Drucker, R. Fares, F.P. Gao, S. Gupta, B.Panigrahi, K. Hodgson, B.Han, J. Jia, B. Zheng, S. Liu, J.M. Muggleton, P. Ren, O. Reynolds, Y. Tang, J.C. Lopera Perez, S.S. Kumar, Xi Xong, X. Li va boshqa olimlar ilmiy ishlarni bajarganlar va yaxshi natijalarga erishganlar.

Respublikamizda ushbu yoʻnalishda T.R. Rashidov, K.S. Sultanov, T. Buriyev, G.X. Xojmetov, M. Mirsaidov, B. Mardonov, M.Sh. Israilov, B.E. Xusanov va boshqa olimlar grunda toʻlqin tarqalish masalasi boʻyicha ilmiy ishlar olib borganlar. Dinamik va statik siqilish modullarini qonuniyatlarini matematik modelni qurishda S.S. Grigoryanlar, G.V. Rikov, P.V. Loginov va boshqa bir qancha olimlar ilmiy izlanishlar olib borishgan

Hozirgi vaqtgacha respublikamizda gruntlarda nochiziq toʻlqin tarqalish jarayonlarini gruntli inshootlar mustahkamligiga taʼsiri masalalari yetarlicha oʻrganilmagan. Shu sababdan, dinamik va statik siqilish modullarini fizik nochizikli qonuniyatlarini matematik modelni qurish hamda qurilgan modellardan foydalanilgan holda gruntlarda nochiziq toʻlqin tarqalish jarayonlarini gruntli inshootlar mustahkamligiga taʼsiri muammosini hal qilish juda ham muhim.

Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bogʻliqligi. Ilmiy izlanish “Toshkent irrigatsiya va qishloq xoʻjaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti” Milliy tadqiqot universiteti “Mexanika va kompyuterli modellashtirish” kafedrasida ilmiy-tadqiqot rejasining №2.9 (2021-2023) ilmiy tadqiqot loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi dinamik va statik siqilish modullarini deformatsiyaga bogʻliq funksiyasini qurish orqali gruntlarda nochiziq toʻlqin tarqalish masalasini sonli yechish usulini ishlab chiqish, hamda tekis va boʻylama toʻlqin tarqalishidagi parametrlarni aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

dinamik va statik siqilish modullari va deformatsiya orasidagi funksiyalarini qurish, asoslash hamda hisoblashlar natijasida analitik natijalar olish;
chiziqli va nochiziq qovushqoq elastik muhitda tekis toʻlqinlarni tarqalishi masalasini sonli tahlil qilish;

nochiziq qovushqoq-elastik muhitda bo'ylama to'lqinlarni tarqalishini hisobga olgan holda matematik modelini ishlab chiqish.

Tadqiqot ob'ekti sifatida seysmik hududlarda joylashgan turli ko'rinishdagi loyli, qum va lyossimon gruntlar olingan.

Tadqiqot predmeti qum va lyossimon gruntlarda nochiziqlik xususiyatini hisobga olgan holda to'lqin tarqalish masalanisni yechishdan iboratdir.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiyada ishida xarakteristik munosabatlar usuli, chekli ayrimalar sonli usuli va kichik kvadratlar usulidan foydalanilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

qum va lyossimon gruntlar uchun statik siqilish moduli o'zgarish qonuniyati deformatsiya funksiyasi ko'rinishda muhitning qovushqoq-elastiklik xossasini inobatga olgan holda kichik kvadratlar usulidan foydalanib analitik aniqlangan;

dinamik va statik siqilish modullari deformatsiyaga bo'g'liq o'zgargandagi qovushqoq elastik muhitda tekis to'lqinlarni tarqalishi masalasini xarakteristik munosabatlar usulidan foydalanilgan holda sonli yechish usullari ishlab chiqilgan;

dinamik va statik siqilish modullari o'zgaruvchan bo'lgan nochiziq qovushqoq-elastik muhitda bo'ylama to'lqinlarni tarqalishi xususiy hollarda Java dasturlash tilida xarakteristik munosabatlar usuli yordamida tekshirilib, maksimal kuchlanishning masofaga hamda so'nish koeffitsientini chastotaga chekli vaqt oralig'idagi o'zgarishlarining matematik modeli ishlab chiqilib olingan natijalar baholangan;

qum va lyossimon gruntlarning namligini hisobga olgan holada tekis to'lqinlar tarqalishida kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini hisoblash usullari hamda to'lqin parametrlarini aniqlash algoritmlari xarakteristik munosabatlar usulidan foydalanib ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

gruntlarda nochiziq to'lqinlarning tarqalishni sonli usuli va dasturi ishlab chiqilgan;

qum va lyossimon gruntlarning statik va dinamik siqilish modullarini aniqlash metodikalari ishlab chiqilgan;

olingan natijalar nochiziq to'lqin parametrlarini aniqlash uchun zarur xulosalar keltirilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tajriba natijalaridan olingan aniq parametrlardan foydalanilgan holda xarakteristik munosabatlar usulidan foydalanilganligi hamda masalaning aniq yechimi bilan taqqoslanganli va analitik yechim bilan mos kelganligi bilan ta'minlandi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati lyoss, qum va loyli gruntlarning deformatsiya modullarini aniqlash va aniqlangan modularni to'lqin tarqalish masalasiga qo'llashdir.

Dissertatsiya ishining amaliy ahamiyati grunda nochiziq to'lqin tarqalishida olingan parametrlarga asoslangan holda gruntli inshootlarni loyihalash va qurishda foydalanish imkonini berishidir.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Gruntlarda nochiziq to'liq tarqalish jarayonlari va ularning gruntli inshootlar mustahkamligi uchun amaliy ahamiyati bo'yicha olingan natijalar asosida:

tadqiqot natijalarini bo'yicha olingan natijalar M.T.O'rozboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutidagi "Geotexnika va yer osti inshootlari seysmodinamikasi" laboratoriyasida bajarilgan "Turli xarakterdagi yuklamalarda grunt bilan o'zaro ta'sirdagi yer osti quvurlari va yer usti transport inshootlari konstruksiyalarining seysmodinamikasi" mavzudagi ilmiy tadqiqot ishlarida qo'llanishi bo'yicha dalolatnoma olingan.(O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining 2024-yil 11-oktabrdagi № 2/1255-2270 sonli ma'lumotnomasi). Natijada chiziqsiz qovushqoq-elastik muhitda gruntlardagi bo'ylama to'liq parametrlarini masofa bo'yicha so'nishini aniqlash usulidan seysmik kuchlar ta'siridagi yer osti quvurlar tizimining seysmodinamikasi tadqiqotlarida foydalanib sonli tahlil etish imkoni yaratilgan.

Tog'-kon gruntli inshootlariga chiziqsiz tekis to'liq tarqalish jarayonida to'liq parametrlarini tahlil qilib, ularni inshootga ta'sirini o'rganib, mexanik jarayonlarni matematik modellashtirish yordamida baholash algoritmlari Olmaliq kon-metallurgiya kombinati tashkiliy bo'linmalarida takomillashtirishda qo'llanishi bo'yicha dalolatnoma olingan. Natijada kon va kon oldi gruntli inshootlarni qurish va loyihalashda o'tkazilgan tajribalar iqtisodiy qimmatligini hamda tajriba o'tkazadigan hududlar murakkabligini e'tiborga olgan holda muammoni nazariy baholash ishlash unumdorligini 2 barobarga oshish imkonini beradi. Bunda kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik 1.3 marta tejalishiga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 11 ta ilmiy-amaliy anjumanlarda, shu jumladan, 5 ta xalqaro va 6 ta Respublika konferensiyalarda ma'ruza qilingan:

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 11 ta ilmiy ish chop etilgan. O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan falsafa fanlari doktorlik (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini nashr etish uchun tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 7 ta ilmiy maqola chop etilgan, jumladan 3 ta respublika va 4 ta xorijiy va Scopus bazasiga kiritilgan jurnallarda chop etilgan.

Dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi. Dissertatsiya ishi kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya 102 bet bo'lib, 38 ta rasm, 1 ta jadval va dissertatsiyada iqtibos keltirilgan 120 ta adabiyotlar ro'yxatidan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish Gruntlarda to‘lqin tarqalishini tekshirish ko‘plab ilmiy va amaliy jihatlarga ega bo‘lib, bu sohaning ahamiyatini yanada oshiradi. Gruntlarda to‘lqin tarqalishini tekshirish seysmologiyada muhim ahamiyatga ega. Zilzila paytida yer ichida tarqaladigan seysmik to‘lqinlar grunt tuzilishiga qarab turli xilda harakatlanadi. Bu bilimlar zilzila kuchini, tarqalish tezligini va zararini oldindan baholashda yordam beradi. Shu bilan birga, inshootlarning zilzilaga chidamliligini oshirish uchun muhim ma'lumotlarni taqdim etadi.

Gruntlarda to‘lqin tarqalishini tekshirish seysmik xavfni kamaytirish, qurilish xavfsizligini oshirish va yerning ichki tuzilishini aniqlashda katta ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotlar nafaqat ilmiy ahamiyatga ega, balki amaliy jihatdan ham ko‘plab sohalarda qo‘llaniladi. Bu sohada olib borilgan tadqiqotlar yer yuzidagi turli xil tabiiy va texnogen jarayonlarni tushunishga yordam beradi va kelajakdagi muhandislik loyihalarining muvaffaqiyatini ta'minlaydi.

Dissertatsiyaning **“Chiziqli qovushqoq elastik muhitda tekis to‘lqinlarni tarqalishi”** deb nomlangan birinchi bobida dunyo miqyosida gruntlarda tekis va bo‘ylama to‘lqin tarqalishiga tegishli ilmiy tadqiqot ishlari o‘rganilgan. Gruntning dinamik va statik siqilish modullarni turli qiymatlarida qo‘llash imkonini beruvchi algoritmlar, dasturlar tuzilib chiqilgan va grunt massivlarida tekis to‘lqinlarining tarqalish turli parametrlarda inobatga olinib, chiziqli qovushqoq-elastik muhitda tekis to‘lqinlarni tarqalishini tekshirish orqali grunt massivlaridagi kuchlanganlik holati, deformatsiya, muhit zarrachalarning tezliklari baholangan. Qovushqoq-elastik muhitning holati unga qo‘yilgan yukning o‘sishida va kamayishida quydagicha aniqlanadi:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \mu\varepsilon = \frac{1}{E_D} \frac{d\sigma}{dt} + \mu \frac{\sigma}{E_S}; \mu = \frac{1}{\eta} \frac{E_D E_S}{E_D - E_S}, \quad (1)$$

bu yerda: σ - kuchlanish; ε - deformatsiya; v - muhit zarrachalarining tezligi, η - qovushqoqlik koeffitsienti; μ - qovushqoqlik parametri, E_D, E_S - mos ravishda dinamik va statik siqilish modullari.

Maslani yechishda to‘lqin muhitning boshlang‘ich kesmida xosil bo‘ladi deb qaraladi. Boshlang‘ich xolatda ya‘ni $t = 0$ onda kuchlanishning sakrashi σ_{\max} gacha oshib borib vaqt o‘tishi bilan kamayib quydagi formula orqali ifodilanadi:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right), & 0 \leq t \leq \theta; \\ \sigma = 0, & t \geq \theta. \end{cases} \quad (2)$$

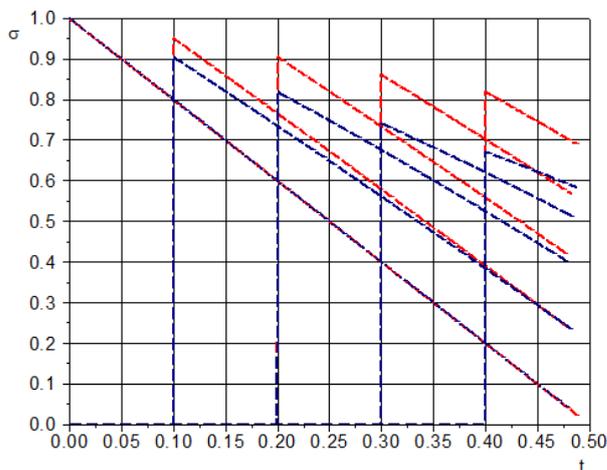
Qaralayotgan tenglamalar sistemasini yechishda x koordinata, t vaqt Lagranj o‘zgaruvchilaridan foydalanamiz. Boshlang‘ich kesimda zarbali to‘lqin fronti $A = c$ tezlik bilan tarqaladi. Tarqalayotgan to‘lqin hali muhitga yetib bormaganligi sababli front oldidagi muhitning parametrlarini $\sigma = 0, v_0 = 0, \rho = \rho_0$ deb qabul qilamiz. Front chizig‘ining vaqt bo‘yicha o‘zgarish tenglamasi $x = At$ ko‘rinishda

olinadi. Zarbali siqilish holatida frontda muhitning qovushqoqlik xususiyati bo'lmaganligi uchun elastiklik shartidan foydalanilgan holda kuchlanishni $\sigma = -c\rho_0 v$ ko'rinishida qabul qilamiz. Front ortidagi harakat tenglamalari quydagicha aniqlanadi:

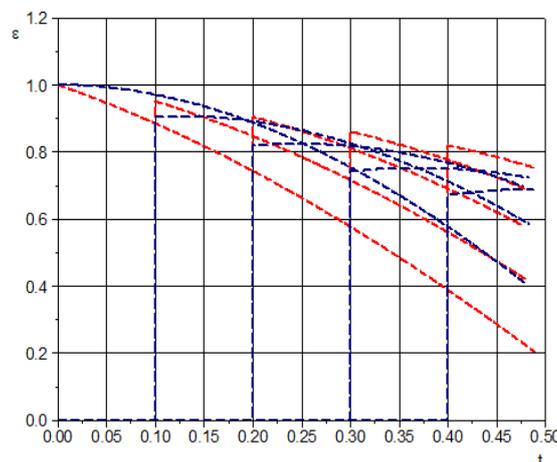
$$\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

Kuchlanish, deformatsiya va muhit zarachalarining tezliklarini aniqlash uchun (3) va (1) tenglamalar sistemasi birgalikda yechiladi. Bunda boshlang'ich va chegaraviy shartlar mos ravishda $\sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right)$, $x = 0$ va $\sigma = -c\rho_0 v$, $x = ct$ ko'rinishda bo'ladi. Natijada qaralayotgan masalaning yechimi muhitning harakterlovchi E_D, E_s, η, ρ_0 parametrlarga va boshlang'ich holatdagi yuklashni esa σ_{\max}, θ parametrlarga bog'liq bo'ladi.

$\mu\theta$ uch xil qiymatlari qaralgan: $\mu\theta = 0.5$, $\mu\theta = 1.25$ va $\mu\theta = 50$. Bu parametrlarni kiritishdan maqsad $\mu\theta = 0.5$ bo'lganda muhitning qovushqoqlik xususiyati yukni ta'siri natijasida kam ta'sir etadi; $\mu\theta = 50$ bu ta'sir sezilarli darajada katta bo'ladi va $\mu\theta = 1.25$ o'rtacha ta'sirda bo'ladi. $\mu\theta = 0.5$ va $\gamma = 2$ va $\gamma = 3$ holda, $\sigma^0 = f(\tau)$ fiksirlangan nuqtadagi kuchlanishning o'zgaruvchilari 1-rasmda keltirilgan. $\varepsilon^0 = f(\tau)$ deformatsiyaning o'zgarishi 2-rasmda keltirilgan. Hamma xolda ham 1-5 egri chiziqlar muhitning x kesmiga mos keladi. Ular mos ravishda 0; 0.1; 0.2; 0.3; va 0.4 qiymatlarga ega.



1-rasm. $\gamma = 2$ (qizil chiziq); $\gamma = 3$ (ko'k chiziq); $\mu\theta = 0.5$ bo'lganda kuchlanishni vaqtga bog'liq o'zgarishi

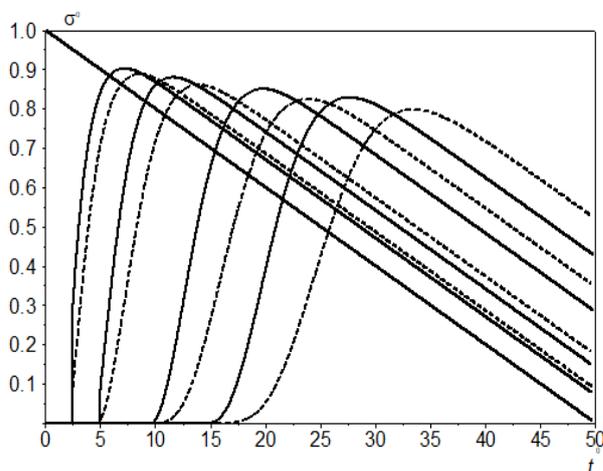


2-rasm. $\gamma = 2$ (qizil chiziq); $\gamma = 3$ (ko'k chiziq); $\mu\theta = 0.5$ bo'lganda deformatsiyani vaqtga bog'liq o'zgarishi

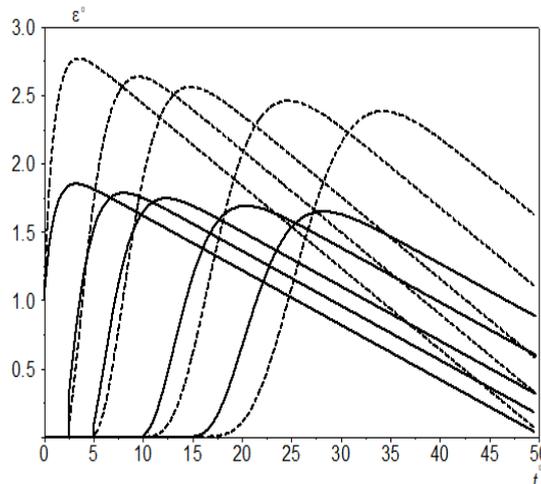
Grafikdan ko'rinish turibdiki, qaralayotgan masofada zarbali to'liqidan iborat bo'lar ekan. Kuchlanish, deformatsiya va tezliklarning maksimal qiymatlari

frontda hosil bo‘lar ekan. Deformatsiya va zarralarning qiymatlari front orqasida kamayish xususiyatiga ega bo‘ladi.

Kuchlanish va deformatsiya $\mu\theta = 50$ qiymatlardagi natijalarini 3-4-rasmda keltirilgan. 1-5 grafiklar x kesimning mos ravishda 0; 2.5; 5; 10; va 15 qiymatlariga mos keladi.



3-rasm. $\gamma = 2$ (uzluksiz chiziq); $\gamma = 3$ (uzuqli chiziq); $\mu\theta = 50$ bo‘lganda kuchlanishni vaqtga bog‘liq o‘zgarishi



4-rasm. $\gamma = 2$ (uzluksiz chiziq); $\gamma = 3$ (uzuqli chiziq); $\mu\theta = 50$ bo‘lganda deformatsiyani vaqtga bog‘liq o‘zgarishi

Boshlang‘ich kesimdan yaqin masofada bo‘lgan to‘lqin frontida har uchala parametrlarni sakrashlari kuzatilgan. Front orqasida esa ularning qiymatlarini maksimumgacha o‘sishi aniqlangan. Boshlang‘ich kesimdan boshlab, uzoqlashishida kuchlanishini maksimal qiymati kamayib boradi. Kuchlanish o‘shish vaqti esa ko‘payib boradi.

Frontda kuchlanish sakrashlari nolga intiladi, chunki zarbali to‘lqin siqilishi to‘lqinga uzluksiz aylanib boradi. Boshlang‘ich kesimda deformatsiya o‘zining maksimumiga kuchlanish maksimumga erishgandan so‘ng erishadi. Kuchlanishning maksimumga ko‘tarilish vaqti τ^* to‘lqinni tarqalishi bilan ortib boradi.

To‘lqin $\mu\theta = 50$ profili masofaga bog‘liq ravishda o‘zgarib boradi. Ikkala holda ham boshlang‘ich kesimdan $\tau = 50$ da yoki $t = \theta$ da kuchlanish nolgacha kamayadi. Deformatsiyalar esa 0.1 gacha kamayadi. Ya‘ni deformatsiyaning kechikishi kuzatiladi.

Dissertatsiyaning “**Nochiziq qovushqoq-elastik muhitda bo‘ylama to‘lqinlarni tarqalishi**” deb nomlangan ikkinchi bobida nochiziq qovushqoq-elastik muhitda bo‘ylama to‘lqinlarni tarqalishini tekshirishga bag‘ishlangan.

Quyida chiziqi bo‘lmagan qovushqoq-elastik muhitda bo‘ylama to‘lqinlarning tarqalishi muammosini ko‘rib chiqamiz. Bir o‘zgaruvchili kuchlanganlik holati uchun chizikli qovushqoq-elastik modelga asoslangan

deformatsiyalanish jarayonida material tuzilishining buzulishini hisobga olgan holda muhit holatining aniqlovchi tenglamasi quydagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\frac{1}{E_D(I_S)} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\mu_0(I_S)}{E_S(I_S)} \sigma = \frac{d\varepsilon}{dt} + \mu_0(I_S) \varepsilon, \quad (4)$$

bu yerda $\sigma = -P$ -kuchlanish, $\varepsilon = \theta$ -deformatsiya.

Mos ravishda dinamik va statik siqilish modullari E_D, E_S funksiyalar hamda qovushqoqlik parametri μ_0 quydagicha aniqlanadi:

$$E_D(I_S) = E_{D^*} \exp(\beta(1 - I_S)), \quad E_S(I_S) = E_{S^*} \exp(\alpha(1 - I_S)), \\ \mu_0(I_S) = \mu_* \exp(\alpha^0(1 - I_S)), \quad I_S = \varepsilon/\varepsilon_*, \quad (5)$$

bu yerda E_{D^*}, E_{S^*}, μ_* - dinamik va statik siqilish modullari va kichik deformatsiya tezligida stukturani butunlay buzuluvchi hajmiy gruntning qovushqoqlik parametri. α, α^0, β - bu parametrlarning o‘zgarish darajasini tavsiflovchi o‘lchovsiz ko‘rsatkichlar, ε_* - grunt tuzulishini butunlay buzuvchi deformatsiyaning qiymati.

$\varepsilon = 0$ boshlang‘ich qiymatida siqilish modullari va qovushqoqlik parametri (5) ni quydagi ko‘rinishga keladi:

$$E_{DN} = E_{D^*} \exp(\beta), \quad E_{SN} = E_{S^*} \exp(\alpha), \quad \mu_N = \mu_* \exp(\alpha^0). \quad (6)$$

Bu yerdan

$$\alpha = \beta + \ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma_N}\right), \quad \gamma_* = \frac{E_{D^*}}{E_{S^*}}, \quad \gamma_N = \frac{E_{DN}}{E_{SN}}, \quad \mu_* = \frac{\mu}{\gamma_*}, \quad \alpha^0 = \ln(\gamma_*), \quad (7)$$

$\gamma_I = E_{DN}/E_{SN}$ munosabatdan muhit tuzilishining o‘zgarishi quydagicha aniqlanadi:

$$\gamma_I = \gamma_* \exp(\beta_I(1 - I_S)), \quad \beta_I = -\ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma}\right). \quad (8)$$

$I_S = 0, \gamma_I = \gamma_*, I_S = 1$ bo‘lganda $\gamma_I = \gamma_N$ hosil bo‘ladi.

Biroq γ_* deformatsiyaning tezligiga sezilarli darajada bog‘liqligi ma’lum. Shu munosabat bilan biz dinamik va statik siqilish modullarining ma’lum bir deformatsiya tezligidagi nisbati uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\gamma = \gamma_I + (\gamma_m - \gamma_I) \left(\frac{d\varepsilon}{\mu_N dt} \right)^\chi, \quad (9)$$

bu yerda γ_m tajribadan olingan γ ni tajribalarda ruxsat etilgan deformatsiya tezligining maksimal qiymati, χ - o‘lchovsiz kattalik.

Lagranj o‘zgaruvchilari orqali front orqasidagi quydagicha yozish mumkin:

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Boshlang'ich xolatda chegaraviy shartlar quyidagicha boladi:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) & t > 0, \\ \sigma = 0 & t \leq 0. \end{cases} \quad (11)$$

(4) tenglamasi bilan aniqlangan muhit tenglamasi mexanik energiyaning yutilishini aniqlaydigan xususiyatlarga ega, ya'ni bunday muhitdagi to'lqinlar zaiflashadi. Muhitning energiya yutuvchi xususiyatlarini o'rganishning eng oddiy muammosi muhitdagi bo'ylama to'lqinlarning tarqalishi masalasi bo'lib, uning harakati (4) tenglama bilan tavsiflanadi. Agar model parametrlarining qiymatlari (4) doimiy bo'lganda, bo'ylama to'lqinlarning susayishi [1] ishda tekshirilgan. Muhitning o'zgaruvchan qovushqoq xususiyatlari esa [2] ko'rib chiqilgan.

Yuqoridagi (10) va(11) tenglamalar sistemasiga tegishli parametrlarining aniq qiymatlarida sonli yechimlarni aniqlashda Java dasturlash tilidan foydalanilgan. Bunda hajmiy qovushqoqlik parametri o'zgarmas $\mu_0 = 1$ qabul qilingan. γ qiymatni (4) va (9) ifodalardan quyidagicha aniqlanadi.

$$\gamma_I = \gamma_*(\beta_I(1 - I_S)), \quad \beta_I = -\ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma_N}\right) \quad (12)$$

$$\gamma_* = \gamma_N + (\gamma_m - \gamma_N) \left(\frac{d\varepsilon}{\mu_N dt}\right)^x \quad (13)$$

Qaraliyotgan masalada muhitda tarqaliyotgan bo'ylama to'lqin fronti strukturani buza olmaydi. Demak γ_I ning qiymati (12) ga asosan taqriban γ_N ga teng bo'lishi kelib chiqadi.

Sonli hisoblash usuli yordamida to'lqin parametrlarini aniqlashda $(i+1)$ qadami uchun (9)tenglikdan deformatsiy tezligini quyidagi ko'rinishida olamiz:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} \cong \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{\Delta t}. \quad (14)$$

Bu holda (13) ifodada quyidagi ko'rinishga ega bo'ldi:

$$\gamma_* = \gamma_N + (\gamma_m - \gamma_N) \left(\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{\mu_N \Delta t}\right)^x \quad (15)$$

Hisoblashlarda deformatsiya tezligi maksimal qiymatga erishgandan so'ng o'zgarmas kattalik bo'lib qoladi. (12) dan foydanlanib γ_N ning qiymati topiladi. Shuni aytib o'tish kerakki, qabul qilingan cheklanishlar, dinamik siqilish moduli $E_D(I_S)$ o'zgarmas va statik siqilish moduli $E_S(I_S)$ o'zgaruvchi bo'lgan holga to'g'ri keladi. Bu holatda grunt strukturasi buzilishi faqat E_S bo'liq bo'ladi. E_S esa I_S ni o'zgarishiga bo'liq bo'ladi. Shu bilan birgalikda ε_* deformatsiyaga ham ta'siri mavjud bo'ladi. Bu esa (12) tenglmada $\gamma = \gamma_I$ ning qiymati o'zgaruvchi

ekanligini bildiradi. (4) va (10) xarakteristik tenglamalar chiziqli ekanligini ko'rsatadi.

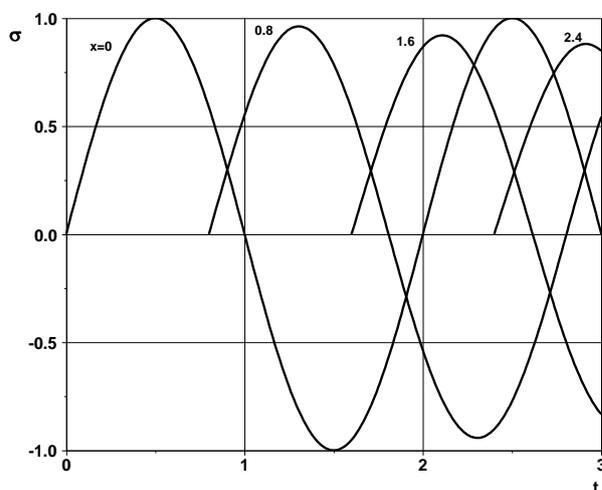
Shunday qilib, qaralayotgan masalani sonli yechim soddalashtiriladi, lekin tavsiya etilgan grunt uchun model (4) deyarli o'zgarmaydi. Qaralayotgan muhit uchun(o'lchamsiz holda) yutilish koeffisienti quyidagi formuladan topiladi:

$$\alpha_s^0 = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_{i-1}^0}{\sigma_i^0}\right)}{x_i - x_{i-1}}, \quad \alpha_s c_0 = \alpha_s^0 \mu_N, \quad (16)$$

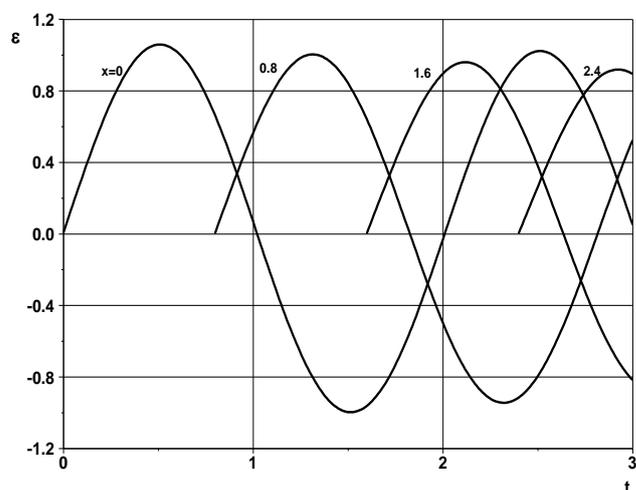
Bu yerda i –muhit kesimlarini tartib raqami, σ_{i-1}^0 , σ_i^0 - qaraliyotgan kesimdagi kuchlanish amplitudalari.

Yuqorida ta'kidlanganidek umumiy holda (4)-(9) differensial tenglamalar sistemasini va (16) munosabatni sonli yechishda xarakteristik munosabatlar usuli yordamida Java dasturlash tilidan foydalanamiz. Hisoblashlar natijasida to'lqin parametrlarini gruntning belgilangan kesimlaridagi o'lchamsiz kuchlanishlar va deformatsiyalar orasidagi o'zaro bog'lanish tekshiriladi. Bu parametrlar o'lchamsiz vaqtga bog'liq bo'ladi.

Deformatsiya tezligini $5 \cdot 10^{-7} s^{-1} \leq \dot{\varepsilon} \leq 5 \cdot 10^3 s^{-1}$ oraliqdagi qiymatida (4) va (9) differensial tenglamalar sistemasini sonli yechishda sistemasiga tegishli parametrlarini quydagicha olamiz: $\gamma_N = 1.1$, $\gamma_m = 10$, $\chi = 0.5$, $\varepsilon_* = 0.2$, $\mu_N = 10^4 s^{-1}$.



5-rasm. Kuchlanishni vaqt bog'liq o'zgarishi



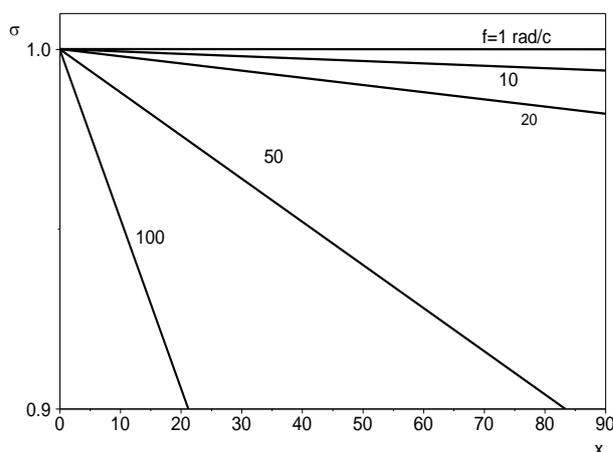
6-rasm. Deformatsiyani vaqt bog'liq o'zgarishi

Olingan natijalar grafik shaklida keltirilgan. 5-rasm x ning har xil qiymatlariga $f = 5 \cdot 10^3 s^{-1}$ bo'lgandagi o'lchamsiz kuchlanish vaqtga birligi ichidagi o'zgarishni aniqlaydi. $x=0$ bo'lgandagi egri chiziq to'lqin tarqalishi boshlang'ich holatini belgilaydi. Bu holda yuklash amplitudasi vaqt birligida o'zgarmaydi.

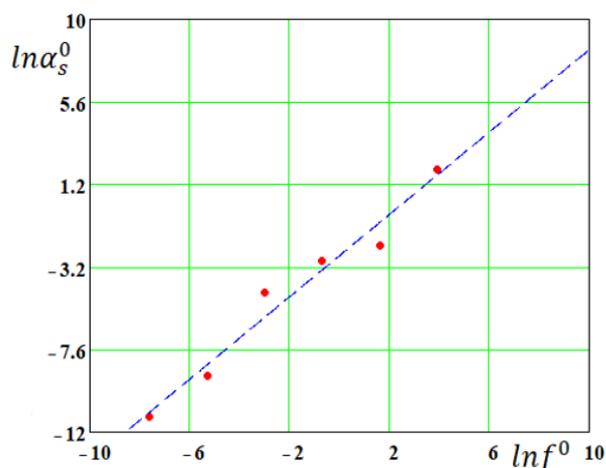
Boshlang'ich kesimdan boshlab masofani o'sishi, to'lqin kelishi bilan kuchlanish qiymati o'sadi va o'zining maksimal qiymatiga mos keladi, keyinchalik

sinusoida kabi o'zgaradi. Boshqa kesimdagi kuchlanishlar maksimal qiymati, boshlang'ich kesimdagi kuchlanishlarga qaraganda kamroq bo'ladi. Boshlang'ich manbadan qancha uzoqlashgan sari kuchlanishning maksimal qiymati kamroq bo'ladi.

Hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, birinchi tebranma harakat amplitudasi ikkinchi tebranma harakat amplitudasiga qaraganda katta bo'lishi aniqlandi. 5-7 tebranishlardan keyin kuchlanish amplitudasi o'zgarishsiz qoladi. Gruntning fiksirlangan kesimlardagi tezlik va deformatsiya o'zgarish qonuniyati 6-rasm 5-rasmda keltirilgan chizmaga o'xshash bo'ladi. Har xil chastotalarda parametrlarning holatini saqlab qoladi. Faqat to'liqin parametrlari tebranishilarning amplitudasi o'zgaradi.larga mos keladi.



8-rasm. Maksimal kuchlanishni masofa nisbatan so'nishi



9-rasm. So'nish koeffitsientini chastotaga nisbatan o'zgarishi

Har xil chastotalarda parametrlarning holatini saqlab qoladi. Faqat to'liqin parametrlari tebranishilarning amplitudasi o'zgaradi. Tebranishlarning kichik chastotalarda to'liqinni so'nishi biroz o'zgarishlarga ega. Chastotaning o'sishi to'liqinni so'nishining intensivligi sezilarli darajada oshadi. Kuchlanish, deformatsiya va tezlik amplitudalarining maksimal qiymatlaridan foydalanib so'nuvchanlik koeffitsientini hisoblaymiz.

O'lchovsiz tebranishlar chastotaning turli qiymatlari uchun 8-rasm masofa bilan kuchlanish amplitudasining so'nishi ko'rsatilgan. Past chastotalarda to'liqinning susayishi ahamiyatsiz (yuqori egri chiziqlar). Chastotaning ortishi bilan to'liqin susayishi intensivligi sezilarli darajada oshadi (o'rta egri chiziqlar). Chastotaning yanada ortishi masofa bilan to'liqinning yanada zaiflashishiga olib keladi (pastki egri chiziqlar). 9-rasm standart chiziqli jisimga mos keladi va uning xarakteristikallari o'zgarimas bo'ladi. Bu o'z navbatida yuqori chastotalar uchun so'nuvchanlik koeffitsienti o'zgarimas bo'ladi. Kichik so'nuvchanlikni koeffitsienti chastotaga bog'liqligi chiziqli bo'ladi. $f = 5kGr$ boshlab so'nuvchanlik koeffitsienti o'zgarmaydi. Bunday chastotalar xarakteri ma'lum modellarni kamchiligi hisoblanadi.

Dissertatsiya ishining “**Nochiziq qovushqoq-elastik muhitda tekis to'liqlarni tarqalishi**” nomli uchinchi bobida tekis to'liqlarni tarqalishi

davomida gruntning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holati hamda muhit zarrachalar tezliklari baholangan. Statik va dinamik modullarni grafiklarini qurish, masalani yechishda algoritmi takomillashtirish va ishlab chiqish hamda grunda tekis to‘lqinlarining tarqalish davomida turli parametrlarda aniqlashdan iborat. Front orqasidagi harakat tenglamlari quyidagich:

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0, \quad (17)$$

Bu sistemada qaraliyotgan jarayondagi muhitning xolatini aniqlovchi tenglamalar quyidagicha

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \mu\varepsilon = \frac{1}{E_D} \frac{d\sigma}{dt} + \mu \frac{\sigma}{E_S}; \quad \mu = \frac{1}{\eta} \frac{E_D E_S}{E_D - E_S}, \quad (18)$$

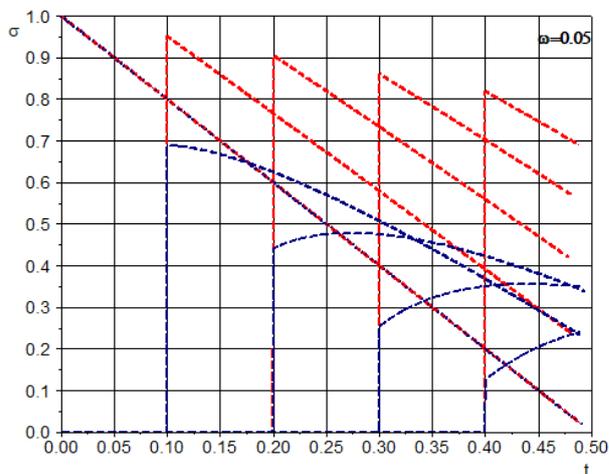
bilan to‘ldiriladi. Bu yerda: σ - kuchlanish; ε - deformatsiya; v - muhit zarrachalarining tezligi; η - qovushqoqlik koeffitsienti; μ - qovushqoqlik parametri; $E_D = \varphi(\varepsilon)$ - dinamik siqilish moduli; $E_S = f(\varepsilon)$ - statik siqilish moduli. Dinamik $E_D = \varphi(\varepsilon)$ va statik $E_S = f(\varepsilon)$ siqilish modullari funksiyalarini tajribalardan olingan natijalarga qarab quriladi. Masalani yechishda to‘lqin muhitning boshlang‘ich kesmida xosil bo‘ladi deb qaraladi. Boshlang‘ich xolatda ya‘ni $t = 0$ onda kuchlanishning sakrashi σ_{\max} gacha oshib borib vaqt o‘tishi bilan kamayishi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right), & 0 \leq t \leq \theta; \\ \sigma = 0, & t \geq \theta. \end{cases} \quad (19)$$

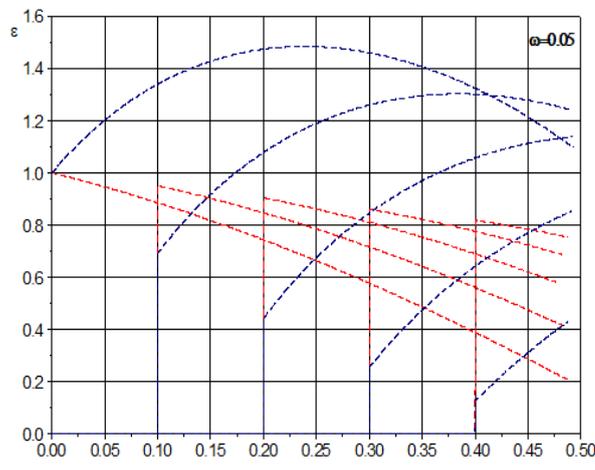
Qaralayotgan tenglamalar sistemasini yechishda x koordinata, t vaqt Lagranj o‘zgaruvchilaridan foydalanamiz. Tarqalayotgan to‘lqin hali muhitga yetib bormaganligi sababli front oldidagi muhitning parametrlarini $\sigma = 0$, $v_0 = 0$, $\rho = \rho_0$ deb qabul qilamiz. Front chizig‘ining vaqt bo‘yicha o‘zgarish tenglamasi $x = ct$ ko‘rinishda olinadi. Zarbali siqilish holatida frontda muhitning qovushqoqlik xususiyati bo‘lmaganligi uchun elastiklik shartidan foydalanilgan holda kuchlanishni $\sigma = -c\rho_0 v$ ko‘rinishida qabul qilamiz. Qo‘yilgan masala (17) sistemani (18)-(19) tenglamalar bilan birgalikda yechishga keltiriladi.

$\mu\theta = 0.5$, $\omega = 0.05$, $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ va $\gamma = 2$ holda, $\sigma^0 = f(\tau)$ fiksirlangan nuqtadagi kuchlanishning o‘zgarishi 10-rasmda keltirilgan. $\varepsilon^0 = f(\tau)$ deformatsiyaning o‘zgarishi 11-rasmda keltirilgan. Hamma xolda ham 1-5 egri chiziqlar muhitning x kesimiga mos keladi. Ular mos ravishda 0; 0.1; 0.2; 0.3; va 0.4 qiymatlarga ega.

Boshlang'ich kesimda $\tau=0.5$ yoki $t=0$ vaqtida kuchlanish nolgacha deformatsiya esa 0.2 gacha kamayadi shuningdek, $\omega=0.05$ va $\gamma=\gamma(\varepsilon)$ da kuchlanishning kamayishi, deformatsiyaning ortishi kuzatiladi. Shunday qilib kuchlanishga nisbatan deformatsiyada kechikish sodir bo'ladi. Boshqa kesimlarda ham shunday holat kuzatiladi. $\omega=0.05$ va $\gamma=\gamma(\varepsilon)$ bo'lgan holatda ham kuchlanishga nisbatan deformatsiyada kechikish sodir bo'ladi.

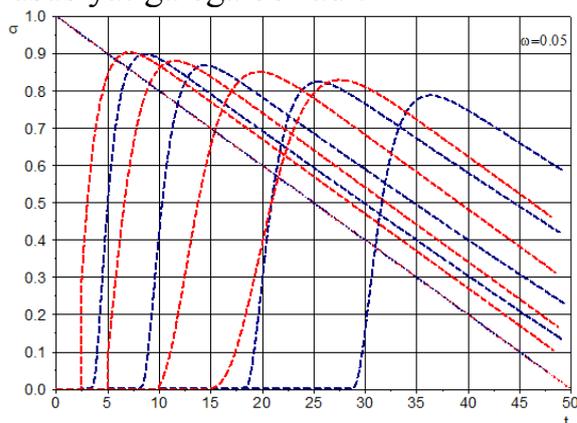


10-rasm. $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ (qizil chiziq) va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (ko'k chiziq) bo'lgan hol uchun kuchlanishni vaqtga bog'liq o'zgarishi

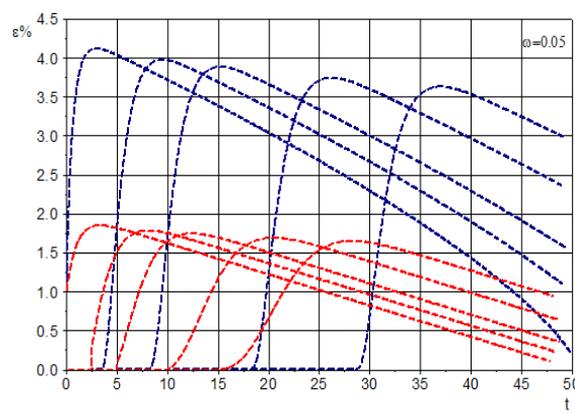


11-rasm. $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ (qizil chiziq) va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (ko'k chiziq) bo'lgan hol uchun deformatsiyani vaqtga bog'liq o'zgarishi

Grafikdan ko'rinib turibdiki, $\omega=0.05$ va $\gamma=\gamma(\varepsilon)$ hol uchun qaraliyotgan masofada zarbali to'liqindan iborat bo'lar ekan. Kuchlanish, deformatsiya va tezliklarning maksimal qiymatlari I bobda olingan natijalardan farqli frontda hosil bo'lmaydi. Deformatsiya va zarralarning qiymatlari front orqasida kamayish xususiyatiga ega bo'ladi.



12-rasm. $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ (qizil chiziq) va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (ko'k chiziq) bo'lgan hol uchun kuchlanishni vaqtga bog'liq o'zgarishi

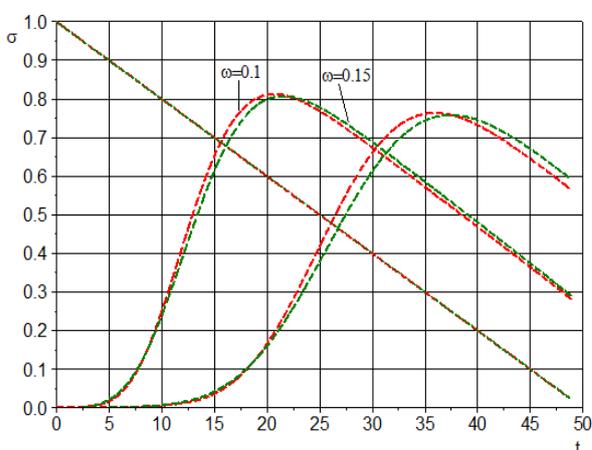


13-rasm. $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ (qizil chiziq) va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (ko'k chiziq) bo'lgan hol uchun deformatsiyani vaqtga bog'liq o'zgarishi

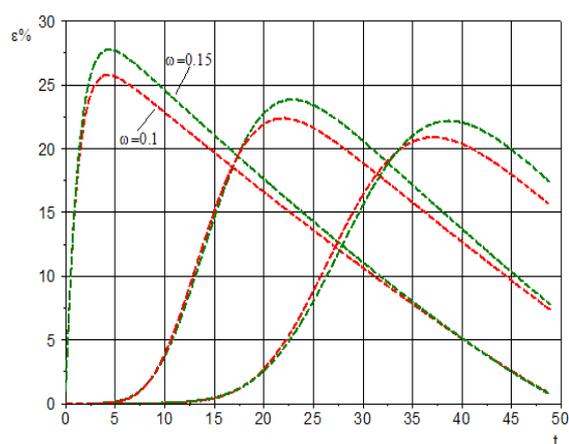
Kuchlanish va deformatsiyaning $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ qiymatlardagi natijalarini 12-13-rasmlarda keltirilgan. 1-5 egri chiziqlar x kesimning mos ravishda 0; 2.5; 5; 10; va 15 qiymatlariga mos keladi.

Ikkala holda ham boshlang'ich kesimdan yaqin masofada bo'lgan to'liqin frontida har uchala parametrlarni sakrashlari kuzatilagan. Front orqasida esa ularning qiymatlarini maksimumgach o'sishi aniqlangan. Boshlang'ich kesimdan uzoqlashib brogan sari kuchlanishini maksimal qiymati kamayib boradi. $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ bo'lgan holda kuchlanish o'sish vaqti $\gamma = 2$ ga qaraganda ancha ortib boradi.

Masofa ortgan sari frontda kuchlanish sakrashlari nolga intiladi, chunki zarbali to'liqin uzluksiz siqilishi to'liqinga aylanib boradi. Boshlang'ich kesimda deformatsiya o'zining maksimum qiymatiga kuchlanish maksimumga erishgandan so'ng erishadi.



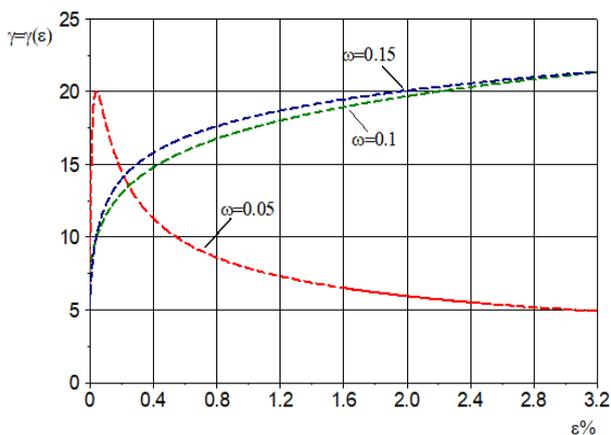
14-rasm. $\mu\theta = 50$ va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ bo'lgan hol uchun kuchlanishni vaqtga bog'liq o'zgarishi



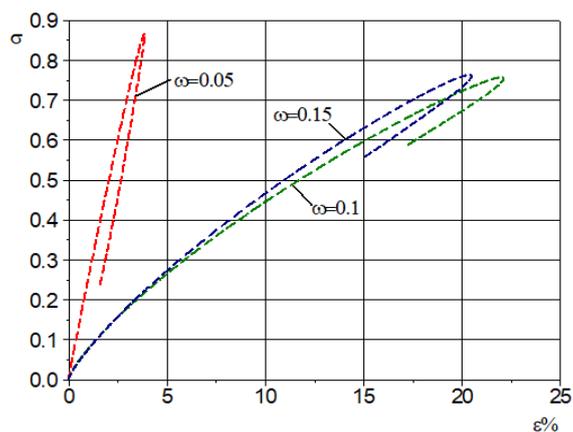
15-rasm. $\mu\theta = 50$ va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ bo'lgan hol uchun deformatsiyani vaqtga bog'liq o'zgarishi

12-rasmdan $\gamma = 2$ bo'lgandagi kuchlanish qiymatlari $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ dagi kuchlanishdan katta ekanligi va ikkinchi holatda kuchlanish o'zgarish vaqti ko'proq ekanligi kuzatiladi.

13-rasmdan deformatsiya 2.2 baravar katta ekanligini ko'rish mumkin. Shuningdek, $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ bo'lgan hol uchun deformatsiyada ham tezlikda ham o'sish vaqti ko'proq bo'ladi hamda maksimumdan o'tgandan keying kamayishi noxiziq bo'ladi.



16-rasm. $\mu\theta = 50$ bo'lgan hol uchun γ ni ε bo'liq o'zgarishi



17-rasm. $\mu\theta = 50$ bo'lgan hol uchun $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ kuchlanish bilan deformatsiya orasidagi munosabat

Har bir holatda sakrashlar mavjud bo'lmaydi 14-15-rasmlar. Sakrashlar o'rniga to'liq parametrlarni qiymati o'sishi kuzatiladi. Parametrlarning maksimal qiymatga erishi vaqti ortadi. Maksimal qiymatga erishgandan so'ng kuchlanish 0 gacha deformatsiya esa 1 gacha kamayib boradi. Bu holatda ham deformatsiyaning kechikishi sodir bo'ladi.

Dinamik va statik modullarni o'zgarishi namlikni 0.05 bo'lgan holda aksincha ma'lum bir deformatsiyaning boshlang'ich kesmida statik modulning qiymati kattaroq ekanligini ko'rsatadi. 16-rasmdagi natijalarga qaralsa 0.05 dagi namlik 0.1 va 0.15 ga qaraganda boshqa qonuniyat bilan o'zgarganligini ko'rish mumkin. Ya'ni namlik koeffitsientining 0.05 qiymatida $\gamma(\varepsilon)$ maksimumga erishgandan so'ng kamayishi kuzatiladi.

17-rasmda kuchlanish bilan deformatsiya orasidagi bo'lanish keltirilgan. Olingan natija berilgan masalani ishlashdan olingan. Qum granti uchun namlik koeffitsienti 0.05, 0.1 va 0.15 bo'lgan hollar qaralgan. 0.1 bo'lganda deformatsiyani qiymati kichkina bo'lgani uchun qolgan ikki holdan farq qilishi ko'rinib turibdi. Namlik koeffitsienti 0.1 va 0.15 bo'lganda esa kuchlanish bilan deformatsiya orasidagi bo'lanish qonuniyati katta farq qilmaydi. Taqdim etilgan diagrammada yuklanish va yuksizlanishdagi deformatsiyaning noxiziqililigi ko'rsatadi.

XULOSA

“Gruntlarda nohiziq to‘lqin tarqalish jarayonlari va ularning gruntli inshootlar mustahkamligi uchun amaliy ahamiyati” mavzusidagi fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Ko‘rib chiqilgan adabiyotlar tahlili quyidagi xulosa qilishga asos bo‘ldi: gruntlarda nohiziq to‘lqin tarqalish masalalari deyarli tadqiq qilinmaganligi hamda tajribalardan olingan parametrlarini to‘lqinni aniqlovchi differensial tenglamalar sistemasiga kerakligi maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Chiziqli qovushqoq-elastik muhitda tekis to‘lqin tarqalishi masalasini shakllantirish uchun matematik model qurildi va yechish usuli ishlab chiqildi. Bir o‘lchovli masalani yechishda xarakteristikalar usulidan foydalanildi.

2. Yuklash va yuksizlantirshi bir xil tenglama bilan ifodalanadigan qovushqoq-elastik muhitda hosil bo‘ladigan sakrashlar bir xil masofada bo‘lishi hamda sakrashdan so‘ng $\gamma = 2$ va $\gamma = 3$ bo‘lgan hollarda ham uzliksiz ravishda maksimumgacha oshib keyin kamayishi aniqlandi. Boshlang‘ich kesimda va uning yaqinida kuchlanish, deformatsiya va tezlik o‘zining maksimum qiymatlariga ega bo‘lishi aniqlandi.

3. Gruntda nohiziq qovushqoq-elastik muhitda bo‘ylama to‘lqin tarqalishida boshlang‘ich kesimdan boshlab masofani o‘shishi, to‘lqin kelishi bilan kuchlanish qiymati o‘shishi va o‘zining maksimal qiymatiga mos kelishi, keyinchalik sinusoida kabi o‘zgarishi aniqlandi. Har xil chastotalarda parametrlarning holatini saqlab qolishi hamda to‘lqin parametrlari tebranishlarning amplitudasi o‘zgarishi aniqlandi.

4. Tebranishlarning kichik chastotalarda to‘lqinni so‘nishi biroz o‘zgarishlarga ega. Chastotaning o‘shishi to‘lqinni so‘nishining intensivligi sezilarli darajada oshishi kelib chiqdi. Past chastotalarda to‘lqinning susayishi ahamiyatsiz. Chastotaning ortishi bilan to‘lqin susayishi intensivligi sezilarli darajada oshadi hamda chastotaning yanada ortishi masofa bilan to‘lqinning yanada zaiflashishiga olib kelishi aniqlandi.

5. $\mu\theta = 0.5$ bo‘lgan hol uchun boshlang‘ich kesimda $\tau = 0.5$ yoki $t = 0$ vaqtida kuchlanish nolgacha deformatsiya esa 0.2 gacha kamayadi bundan tashqari $\omega = 0.05$ va $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ da kuchlanishning kamayishi aksincha deformatsiyani ortishi kuzatiladi. Qaraliyotgan masofada zarbali to‘lqindan iborat bo‘lar ekan. Kuchlanish, deformatsiya va tezliklarning maksimal qiymatlari frontda hosil bo‘lmas ekan. Deformatsiya va zarralarning qiymatlari front orqasida kamayish xususiyatiga ega bo‘ladi.

6. Masofa ortgan sari frontda kuchlanish sakrashlari nolga intiladi, chunki zarbali to‘lqin uzliksiz siqilishi to‘lqinga aylanib boradi. Boshlang‘ich kesimda deformatsiya o‘zining maksimum qiymatiga kuchlanish maksimumga erishgandan so‘ng erishadi. $\gamma = 2$ bo‘lgandagi kuchlanish qiymatlari $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ dagi kuchlanishdan katta ekanligi hamda ikkinchi holatda kuchlanish o‘zgarish vaqti ko‘proq ekanligi kuzatiladi.

7. Namlik koeffisenti 0.1 va 0.15 bo'lganda kuchlanish bilan deformatsiya orasidagi bo'lanish qonuniyati katta farq qilmaydi. Taqdim etilgan diagrammada yuklanish va yuksizlanishdagi deformatsiyaning nohiziqlik ekanligi ko'rsatildi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.T/FM.61.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ ИМЕНИ М.Т.УРАЗБАЕВА
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА”**

ХАМИДОВ САИДЖОН СОБИТЖОН УГЛИ

**ПРОЦЕССЫ НЕЛИНЕЙНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН В
ГРУНТАХ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЧНОСТИ
ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент– 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2024.4.PhD/FM

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете “Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства”.

Афтореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском) размещен на веб-странице Научного совета(www.instmech.uz) и информационно-образовательного портала “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Султанов Карим Султанович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мардонов Батиржон
доктор физико-математических наук, профессор

Маматова Нигора Тухтабаевна
кандидат физико-математических наук

Ведущая организация:

**Ташкентский архитектурно-строительный
Университет**

Защита диссертации состоится «15» января 2024 года в 14.00 часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.T/FM.61. при Институте механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (Адрес: 100047, г.Ташкент, Дурмон йули-40, зал заседаний–320, Тел.: (+99871) 262-71-52, факс: (+99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Институте механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (регистрационный номер №24). (Адрес: 100047, г. Ташкент, ул.Дурмон йули-40. зал заседаний – 320, Тел.: (+99871) 262-71-52, e-mail: instmech@academy.uz).

Автореферат диссертации разослан «26» декабря 2024 года.
(реестр протокола рассылки № 25 от «24» декабря 2024 года)

М.Мирсаидов

Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н.,
профессор, академик

М.К.Усаров

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

Р.А.Абиров

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире процессы распространения волн в грунтах и их влияние на грунтовые сооружения являются одной из основных проблем. В последнее время при проектировании и расчете прочности грунтовых сооружений на действие сейсмических волн (землетрясений) большое внимание уделяется точным расчетам. При решении задач распространения волн в грунте очень важно знать свойства грунта. Учитывая, что опыты, проведенные при определении параметров грунта, являются очень дорогими с экономической точки зрения, ученые разрабатывают новые методы и приемы для их теоретического определения. Во многих странах мира, в том числе в США, России, Японии, Китае, Узбекистане и других странах, большое внимание уделяется изучению вопросов распространения волн в грунтах.

В мире уделяется особое внимание разработке различных физических и математических моделей с учетом статических и динамических модулей сжатия при распространении волн в грунтах. Определение влияния нелинейных процессов распространения волн в грунтах на прочность грунтовых сооружений и определение их напряженно-деформированного состояния является одной из актуальных задач. Возникает необходимость правильной оценки состояния грунта. При точном знании состояния грунта возникает необходимость расчета параметров грунта и определения напряженно-деформированного состояния в процессе распространения волны.

В нашей республике реализуются крупные проекты в области дальнейшего совершенствования систем обеспечения сейсмической безопасности. В Указе Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2022 года № PF-144 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности Республики Узбекистан»¹ указаны приоритетные направления обеспечения сейсмостойкости зданий и сооружений.

В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы поставлена задача дальнейшего развития научных исследований по решению проблем сейсмостойкости подземных сооружений. При реализации этих задач важное значение имеет изучение влияния нелинейных процессов распространения волн в грунтах на прочность грунтовых сооружений. Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 2017 года² и 2020 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-144 от 30 мая 2022 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности Республики Узбекистан»

² Постановление Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года № ПП-3190 "О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан."

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. "Математика, механика и информатика."

Степень изученности проблемы. В настоящее время проводится ряд научно-исследовательских работ в области изучения и анализа влияния нелинейных процессов распространения волн в грунтах на прочность грунтовых сооружений и моделей применительно к грунту. Б.Т. Брэди, А. Брунелли, Н.Г.У. Гук, Х.А. Рахматулин, С.С. Григорян, Л.С. Евтерев, А.Ф. Ревуженко, А.А. Ильюшин, Г.М. Ляхов, Ж.Д. Ахенбах, А.У. Бишоп, Р.Н. Бишоп, Д.С. Друкер, Р. Фарес, Ф.П. Гао, С. Гупта, Б. Пан и другие ученые провели научные работы в этой области и достигли хороших результатов.

В нашей республике научные работы по проблеме распространения волн в грунте проводили Т.Р. Рашидов, Т. Буриев, К.С. Султанов, Г.Х. Хожметов, М. Мирсаидов, Б. Мардонов, М.Ш. Исраилов, Б.Э. Хусанов и другие ученые. Научные исследования по построению математической модели закономерностей модулей динамического и статического сжатия проводили С.С. Григорян, Г.В. Рыков, П.В. Логинов и ряд других ученых.

До настоящего времени в нашей республике недостаточно изучены вопросы влияния нелинейных процессов распространения волн в грунтах на прочность грунтовых сооружений. По этой причине очень важно построить математическую модель физически нелинейных закономерностей динамических и статических модулей сжатия и решить проблему влияния нелинейных процессов распространения волн в грунтах на прочность грунтовых сооружений с использованием построенных моделей.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Научное исследование выполнено в рамках научно-исследовательского проекта №2.9 (2021-2023) плана научно-исследовательских работ кафедры "Механика и компьютерное моделирование" Национального исследовательского университета "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства".

Цель исследования - разработка метода численного решения задачи нелинейного распространения волн в грунтах путем построения функции динамического и статического модулей сжатия в зависимости от деформации, а также определение параметров равномерного и продольного распространения волн.

Задачи исследования:

построение, обоснование функций между модулями динамического и статического сжатия и деформации и получение аналитических результатов расчета;

численный анализ задачи распространения плоских волн в линейной и нелинейной вязкоупругой среде;

разработка математической модели с учетом распространения продольных волн в нелинейной вязкоупругой среде.

Объектом исследования являются глинистые, песчаные и лёссовидные грунты различного вида, расположенные в сейсмических зонах.

Предметом исследования является решение задачи распространения волн в песчаных и лёссовидных грунтах с учетом нелинейности.

Методы исследования. В диссертации использованы метод характеристических отношений, численный метод конечных разностей и метод наименьших квадратов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

закономерность изменения модуля статического сжатия для песчаных и лёссовидных грунтов в виде функции деформации аналитически определена с использованием метода наименьших квадратов с учетом вязкоупругих свойств среды;

разработаны численные методы решения задачи распространения плоских волн в вязкоупругой среде при изменении динамического и статического модулей сжатия в зависимости от деформации с использованием метода характеристических отношений;

распределение продольных волн в нелинейной вязкоупругой среде с переменными динамическими и статическими модулями сжатия в частных случаях проверяется методом характеристических отношений на языке программирования Java; разрабатывается математическая модель изменения максимального напряжения на расстояние и коэффициента затухания на частоту в конечном интервале времени и оцениваются полученные результаты;

разработаны методы расчета напряженно-деформированного состояния при распространении плоских волн с учетом влажности песчаных и лёссовидных грунтов, а также алгоритмы определения волновых параметров с использованием метода характеристических отношений.

Практические результаты исследования:

разработаны численный метод и программа распространения нелинейных волн в грунтах;

разработаны программы определения модулей статического и динамического сжатия песчаных и лёссовидных грунтов.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием метода характеристических отношений с использованием точных параметров, полученных из экспериментальных результатов, а также сопоставлением с точным решением задачи и согласованностью с аналитическим решением.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в определении модулей деформации лёссовых, песчаных и глинистых грунтов и применении найденных модулей к задаче распространения волн.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что она позволяет использовать ее результаты при проектировании и строительстве грунтовых сооружений на основе параметров, полученных при нелинейном волнообразовании в грунте.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по процессам распространения нелинейных волн в грунтах и их практическому значению для прочности грунтовых сооружений:

Результаты, полученные при исследованиях в лаборатории "Геотехника и сейсмодинамика подземных сооружений" Института механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева на тему "Сейсмодинамика подземных трубопроводов и конструкций надземных транспортных сооружений при взаимодействии с грунтом при различных нагрузках" (справка Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-2270 от 11 октября 2024 года). В результате удалось провести численный анализ параметров продольной волны в нелинейной вязкоупругой среде (грунтах) с использованием метода определения затухания по расстоянию в исследованиях сейсмодинамики системы подводных трубопроводов под воздействием сейсмических сил.

Проведен анализ параметров волн в процессе нелинейного равномерного распространения волн на горно-грунтовые сооружения, изучено их влияние на сооружение, получен акт по совершенствованию алгоритмов оценки механических процессов с помощью математического моделирования в организационных подразделениях Алмалыкского горно-металлургического комбината. Теоретическая оценка проблемы с учетом экономической ценности экспериментов, проведенных при строительстве и проектировании горных и природных грунтовых сооружений, а также сложности экспериментальных территорий позволяет повысить производительность в 2 раза. При этом ожидаемая экономическая эффективность может быть увеличена в 1,3 раза.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы доложены на 11 научно-практических конференциях, в том числе на 5 международных и 6 республиканских.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ. В научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) по философским наукам, опубликовано 7 научных статей, в том числе 3 в

республиканских и 4 в зарубежных журналах, включенных в базу данных Scopus.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Диссертация состоит из 102 страниц, 38 рисунков, 1 таблицы и списка литературы, цитируемой в диссертации из 120 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении Исследование распространения волн в грунтах имеет множество научных и практических аспектов, что еще больше повышает значимость этой области. Исследование распространения волн в грунтах имеет важное значение в сейсмологии. Сейсмические волны, распространяющиеся внутри земли во время землетрясения, движутся по-разному в зависимости от строения грунта. Эти знания помогут заранее оценить силу землетрясения, скорость распространения и ущерб. В то же время они предоставляют важную информацию для повышения сейсмостойкости сооружений.

Исследование распространения волн в грунтах имеет большое значение для снижения сейсмической опасности, повышения безопасности строительства и определения внутреннего строения земли. Эти исследования имеют не только научную значимость, но и практическое применение во многих областях. Исследования, проведенные в этой области, помогут понять различные природные и техногенные процессы на Земле и обеспечат успех будущих инженерных проектов.

В первой главе диссертации "Распространение плоских волн в линейно-вязкоупругой среде" изучены научно-исследовательские работы, связанные с распространением плоских и продольных волн в грунтах во всем мире. Разработаны алгоритмы и программы, позволяющие применять модули динамического и статического сжатия грунтов при различных значениях. С учетом распространения плоских волн в грунтовых массивах при различных параметрах, путем проверки распространения плоских волн в линейной вязкоупругой среде оценены напряженное состояние, деформация, скорости частиц среды в грунтовых массивах.

Состояние вязкоупругой среды при увеличении и уменьшении нагрузки на нее определяется следующим образом:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \mu\varepsilon = \frac{1}{E_D} \frac{d\sigma}{dt} + \mu \frac{\sigma}{E_S}; \mu = \frac{1}{\eta} \frac{E_D E_S}{E_D - E_S}, \quad (1)$$

где: σ - напряжение; ε - деформация; η - коэффициент вязкости; μ - параметр вязкости, E_D , E_S - соответственно, модули динамического и статического сжатия.

При решении задачи считается, что волна возникает в начальном сечении среды. В начальном состоянии, т.е. в момент $t = 0$, скачок

напряжения, увеличиваясь до σ_{\max} , со временем уменьшается и выражается следующей формулой:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right), & 0 \leq t \leq \theta; \\ \sigma = 0, & t \geq \theta. \end{cases} \quad (2)$$

При решении рассматриваемой системы уравнений воспользуемся переменными Лагранжа, x - координата, t - время. В начальном сечении фронт ударной волны распространяется со скоростью $A = c$. Поскольку распространяющаяся волна еще не достигла среды, принимаем параметры фронтовой среды за $\sigma = 0$, $v_0 = 0$, $\rho = \rho_0$. Уравнение изменения линии фронта во времени принимается в виде $x = At$. Вследствие отсутствия вязкостных свойств среды на фронте в случае ударного сжатия принимаем напряжение в виде $\sigma = -c\rho_0 v$ с использованием условия упругости. Уравнения движения в тылу определяются следующим образом:

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

Для определения напряжений, деформаций и скоростей частиц среды, системы уравнений (3) и (1) решаются совместно.

При этом граничные условия будут иметь вид $\sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right)$, $x = 0$ и $\sigma = -c\rho_0 v$, $x = ct$, соответственно. В результате, решение рассматриваемой задачи зависит от характеризующих параметров среды E_D , E_s, η, ρ_0 а загрузки в начальном состоянии - от параметров, σ_{\max} , θ .

Рассмотрены три различные значения $\mu\theta$: $\mu\theta = 0.5$, $\mu\theta = 1.25$ и $\mu\theta = 50$. Целью введения этих параметров является то, что при $\mu\theta = 0.5$, вязкость среды мало влияет на результат воздействия нагрузки; при $\mu\theta = 50$ это влияние значительно больше, а при $\mu\theta = 1.25$ умеренно.

В случае $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ и $\gamma = 3$ - переменные напряжения в фиксированной точке $\sigma^0 = f(\tau)$, приведены на рис. 1. $\varepsilon^0 = f(\tau)$ - изменение деформации приведено на рис. 2. Во всех случаях кривые 1-5 соответствуют сечению среды. Они равны 0; 0.1; 0.2; 0.3; и 0.4, соответственно.

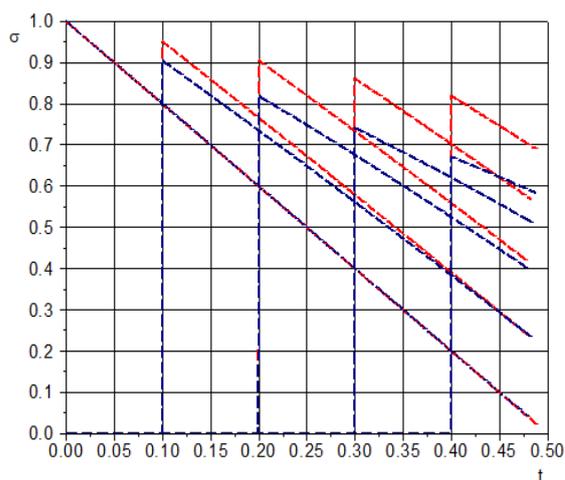


Рисунок 1. $\gamma = 2$ (красная линия); $\gamma = 3$ (синяя линия); изменение напряжения во времени при $\mu\theta = 0.5$

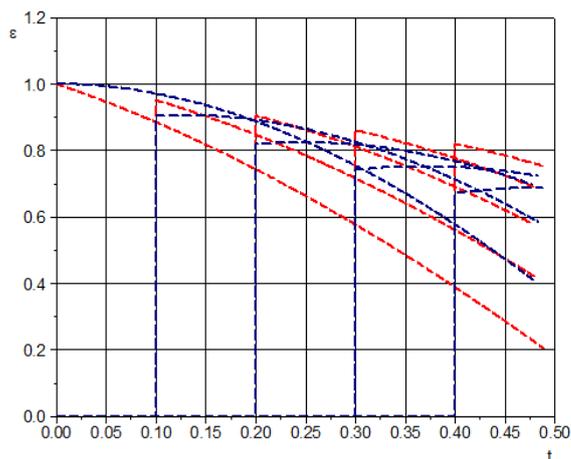


Рисунок 2. $\gamma = 2$ (красная линия); $\gamma = 3$ (синяя линия); изменение деформации во времени при $\mu\theta = 0.5$

В случае $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ и $\gamma = 3$ - переменные напряжения в фиксированной точке $\sigma^0 = f(\tau)$, приведены на рис. 1. $\varepsilon^0 = f(\tau)$ - изменение деформации приведено на рис. 2. Во всех случаях кривые 1-5 соответствуют сечению среды. Они равны 0; 0.1; 0.2; 0.3; и 0.4, соответственно.

Как видно из графика, рассматриваемое расстояние представляет собой ударную волну. Максимальные значения напряжений, деформаций и скоростей возникают на фронте. Значения деформаций и частиц имеют свойство уменьшаться за фронтом.

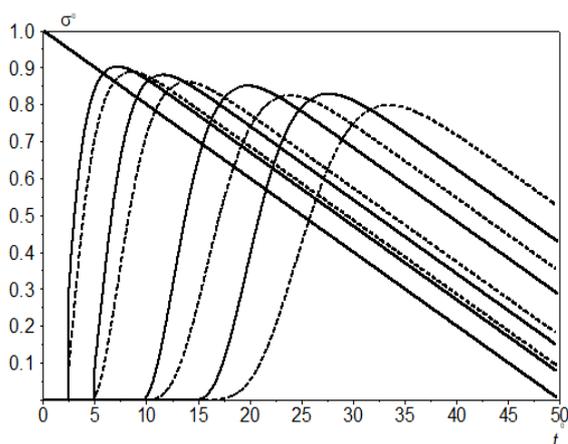


Рисунок 3. $\gamma = 2$ (красная линия); $\gamma = 3$ (синяя линия); изменение напряжения во времени при $\mu\theta = 50$

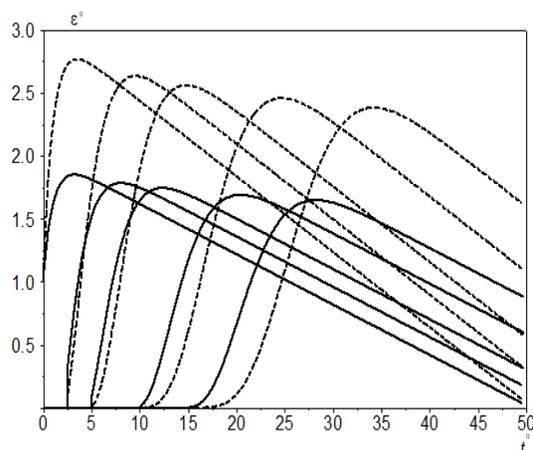


Рисунок 4. $\gamma = 2$ (красная линия); $\gamma = 3$ (синяя линия); изменение деформации во времени при $\mu\theta = 50$

Результаты в значениях напряжения и деформации $\mu\theta = 50$ приведены на рис. 3-4. Во всех случаях кривые 1-5 соответствуют сечению среды. Они равны 0; 2.5; 5; 10; и 15, соответственно.

На волновом фронте, находящемся на близком расстоянии от исходного сечения, наблюдаются скачки всех трех параметров. В тылу обнаружено, что их значения возрастают до максимума. Начиная с начального сечения, максимальное значение напряжения уменьшается при удалении. Время роста напряжения увеличивается.

На фронте скачки напряжения стремятся к нулю, так как сжатие ударной волны непрерывно превращается в волну. В начальном сечении деформация достигает своего максимума после достижения максимума напряжения. Время максимума напряжения увеличивается с распространением волны.

Профиль волны $\mu\theta = 50$ изменяется в зависимости от расстояния. В обоих случаях напряжение от начального сечения в $\tau = 50$ или $t = \theta$ уменьшается до нуля. Деформации уменьшаются до 0.1. То есть наблюдается задержка деформации.

Вторая глава диссертации "Распространение продольных волн в нелинейной вязкоупругой среде" посвящена исследованию распространения продольных волн в нелинейной вязкоупругой среде.

Ниже рассмотрим проблему распространения продольных волн в нелинейной вязкоупругой среде. Определяющее уравнение состояния среды с учетом нарушения структуры материала в процессе деформирования, основанное на линейной вязкоупругой модели для напряженного состояния одной переменной, имеет следующий вид:

$$\frac{1}{E_D(I_S)} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\mu_0(I_S)}{E_S(I_S)} \sigma = \frac{d\varepsilon}{dt} + \mu_0(I_S) \varepsilon, \quad (4)$$

где $\sigma = -P$ - напряжение, $\varepsilon = \theta$ - деформация.

Соответственно модули динамического и статического сжатия E_D, E_S , функции и параметр вязкости μ_0 определяются следующим образом:

$$E_D(I_S) = E_{D^*} \exp(\beta(1 - I_S)), \quad E_S(I_S) = E_{S^*} \exp(\alpha(1 - I_S)), \\ \mu_0(I_S) = \mu_* \exp(\alpha^0(1 - I_S)), \quad I_S = \varepsilon/\varepsilon_*, \quad (5)$$

где E_{D^*} , E_{S^*} , μ_* - параметр вязкости объемного грунта, полностью разрушающий структуру при динамических и статических модулях сжатия и малых скоростях деформации.

α , α_0 , β - безразмерные показатели, характеризующие степень изменения этих параметров, ε_* - величина деформации, полностью разрушающая структуру грунта.

Модули сжатия и параметр вязкости (5) при начальном значении $\varepsilon = 0$ принимают следующий вид:

$$E_{DN} = E_{D^*} \exp(\beta), \quad E_{SN} = E_{S^*} \exp(\alpha), \quad \mu_N = \mu_* \exp(\alpha^0). \quad (6)$$

Отсюда

$$\alpha = \beta + \ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma_N}\right), \gamma_* = \frac{E_{D^*}}{E_{S^*}}, \gamma_N = \frac{E_{DN}}{E_{SN}}, \mu_* = \frac{\mu}{\gamma_*}, \alpha^0 = \ln(\gamma_*). \quad (7)$$

Из соотношения $\gamma_I = E_{DN}/E_{SN}$ изменение структуры среды определяется следующим образом:

$$\gamma_I = \gamma_* \exp(\beta_I(1 - I_S)), \beta_I = -\ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma}\right). \quad (8)$$

При, $I_S = 0$, $\gamma_I = \gamma_*$, $I_S = 1$, получаем $\gamma_I = \gamma_N$.

Однако известно, что γ_* существенно зависит от скорости деформации. В связи с этим, для соотношения динамического и статического модулей сжатия при определенной скорости деформации получим следующее выражение:

$$\gamma = \gamma_I + (\gamma_m - \gamma_I) \left(\frac{d\varepsilon}{\mu_N dt} \right)^\chi, \quad (9)$$

где γ_m максимальное значение скорости деформации, полученное из эксперимента γ , допускаемое в экспериментах, χ - безразмерная величина. Из переменных Лагранжа можно записать позади фронта:

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Граничные условия выражаются формулой:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right) & t > 0, \\ \sigma = 0 & t \leq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Уравнение среды, определенное уравнением (4), обладает свойствами, определяющими поглощение механической энергии, т.е. волны в такой среде ослабевают. Простейшей проблемой изучения энергопоглощающих свойств среды является задача распространения продольных волн в среде, движение которой описывается уравнением (4). В работе исследовано ослабление продольных волн [1], если значения параметров модели (4) постоянны. Рассмотрены также изменяющиеся вязкие свойства среды [2].

Язык программирования Java использовался для определения численных решений при конкретных значениях параметров, относящихся к системе уравнений (10) и (11). При этом параметр объемной вязкости принят постоянным $\mu_0 = 1$. Значение γ определяется из выражений (4) и (9) следующим образом:

$$\gamma_I = \gamma_*(\beta_I(1 - I_S)), \quad \beta_I = -\ln\left(\frac{\gamma_*}{\gamma_N}\right) \quad (12)$$

$$\gamma_* = \gamma_N + (\gamma_m - \gamma_N) \left(\frac{d\varepsilon}{\mu_N dt}\right)^z \quad (13)$$

В рассматриваемой задаче продольный волновой фронт, распространяющийся в среде, не может разрушить структуру. Следовательно, значение γ_I на основании (12) приближенно равно γ_N .

При определении параметров волны с помощью численного метода расчета из равенства (9) для шага $(i+1)$ получим скорость деформации в виде:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} \cong \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t} = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{\Delta t}. \quad (14)$$

В этом случае выражение (13) имеет следующий вид:

$$\gamma_* = \gamma_N + (\gamma_m - \gamma_N) \left(\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}}{\mu_N \Delta t}\right)^z \quad (15)$$

При расчетах скорость деформации после достижения максимального значения остается постоянной величиной. Используя (12), находим значение γ_N . Следует отметить, что принятые ограничения соответствуют случаю, когда модуль динамического сжатия $E_D(I_S)$ постоянный, а модуль статического сжатия $E_S(I_S)$ переменный. В этом случае нарушение структуры грунта происходит только E_S . E_S будет зависеть от изменения I_S . Вместе с тем существует влияние на деформацию ε_* . Это означает, что значение $\gamma = \gamma_I$ в уравнении (12) является переменным. Характеристические уравнения (4) и (10) показывают, что они линейны. Таким образом, численное решение рассматриваемой задачи упрощается, но для предложенного грунта модель (4) практически не меняется. Коэффициент поглощения для рассматриваемой среды (в безразмерном случае) определяется по формуле:

$$\alpha_s^0 = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_{i-1}^0}{\sigma_i^0}\right)}{x_i - x_{i-1}}, \quad \alpha_s c_0 = \alpha_s^0 \mu_N, \quad (16)$$

Здесь i - порядковый номер сечений среды σ_{i-1}^0 , σ_i^0 - амплитуды напряжений в рассматриваемом сечении.

Как отмечалось выше, в общем случае при численном решении системы дифференциальных уравнений (4), (9) и соотношения (16)

используем язык программирования Java с помощью метода характеристических отношений. В результате расчетов проверяется взаимосвязь волновых параметров между безразмерными напряжениями и деформациями в заданных сечениях грунта. Эти параметры зависят от безразмерного времени.

При численном решении системы дифференциальных уравнений (4) - (9) при значении скорости деформации в интервале $5 \cdot 10^{-7} c^{-1} \leq \dot{\epsilon} \leq 5 \cdot 10^3 c^{-1}$ получим следующие параметры, относящиеся к системе: $\gamma_N = 1.1$, $\gamma_m = 10$, $\chi = 0.5$, $\epsilon_* = 0.2$, $\mu_N = 10^4 c^{-1}$.

Полученные результаты представлены в виде графика. Рисунок 5 определяет изменение безразмерного напряжения при различных значениях x при постоянной единице времени $f = 5 \cdot 10^3 c^{-1}$. Кривая при $x = 0$ определяет начальное состояние распространения волны. В этом случае амплитуда нагрузки в единицу времени не изменяется.

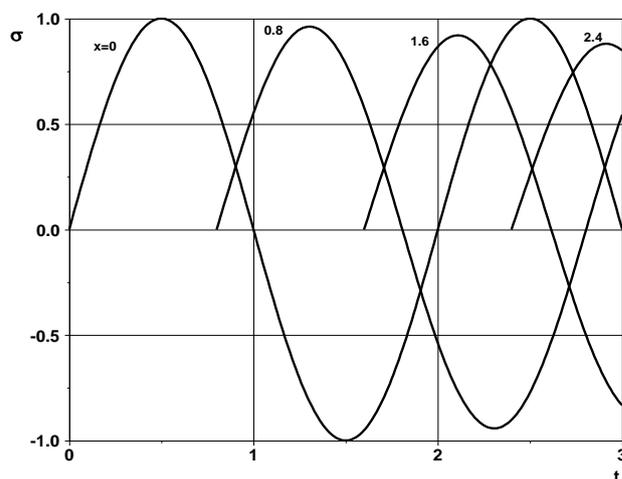


Рис. 5. Изменение напряжения во времени.

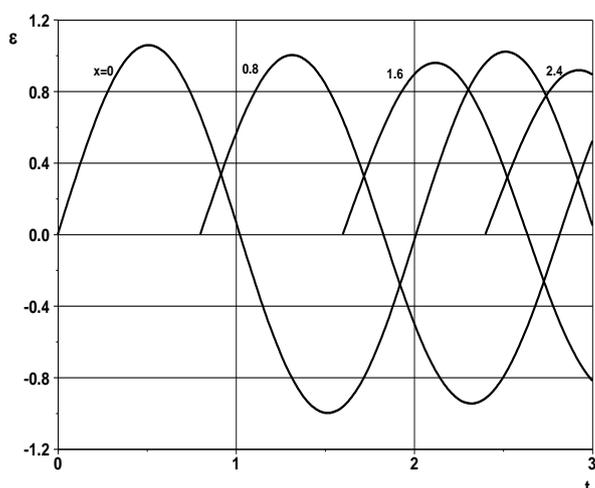


Рис. 6. Изменение деформации во времени

С увеличением расстояния от начального сечения с приходом волны значение напряжения увеличивается и соответствует своему максимальному значению, далее изменяется как синусоида. Максимальное значение напряжений в другом сечении меньше, чем в начальном сечении. Чем дальше от исходного источника, тем меньше максимальное значение напряжения.

Расчеты показали, что амплитуда первого колебательного движения больше, чем амплитуда второго колебательного движения. После 5-7 колебаний амплитуда напряжения остается неизменной. Закономерность изменения скорости и деформации грунта в фиксированных сечениях аналогична схеме, представленной на рис. 5 и сохраняет состояние параметров при различных частотах. Изменяется только амплитуда колебаний параметров волны.

Затухание волны при малых частотах колебаний имеет небольшие колебания. Увеличение частоты значительно увеличивает интенсивность затухания волны. Вычислим коэффициент затухания, используя максимальные значения амплитуд напряжения, деформации и скорости.

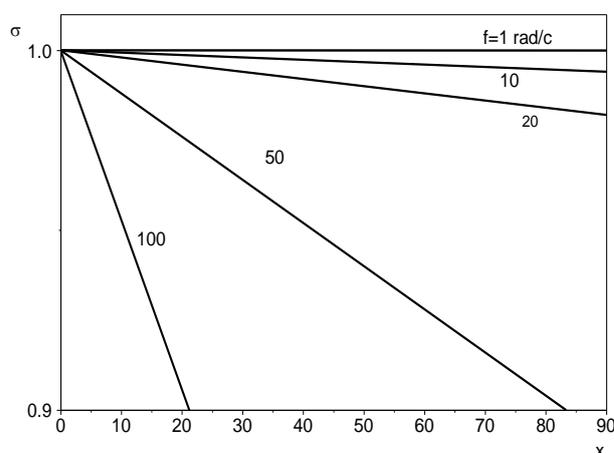


Рис. 8. Затухание максимального напряжения относительно расстояния

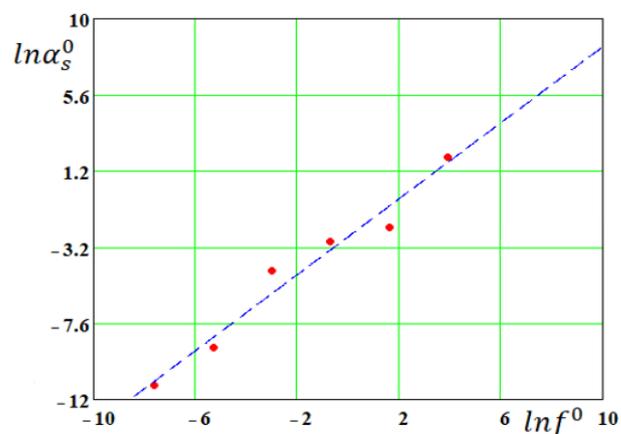


Рис. 9. Изменение коэффициента затухания относительно частоты

На рис. 8 показано затухание амплитуды напряжения с расстоянием для различных значений частоты безразмерных колебаний. При низких частотах ослабление волны незначительно (верхние кривые). С увеличением частоты интенсивность ослабления волны значительно увеличивается (средние кривые). Дальнейшее увеличение частоты приводит к дальнейшему ослаблению волны с расстоянием (нижние кривые). Рисунок 9 соответствует стандартному линейному телу и его характеристики остаются неизменными. Это, в свою очередь, означает, что коэффициент затухания для высоких частот будет постоянным. Зависимость коэффициента малых затуханий от частоты будет линейной. Начиная с $f = 5kGr$, коэффициент затухания не меняется. Характер таких частот является недостатком известных моделей.

В третьей главе диссертации "Распространение плоских волн в нелинейной вязкоупругой среде" проведена оценка напряженного и деформированного состояния грунта и скорости частиц среды при распространении плоских волн. Проведены построение графиков статических и динамических модулей, усовершенствование и разработка алгоритма решения задачи, а также определение различных параметров распространения плоских волн в грунте.

Уравнения движения за фронтом следующие:

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \sigma}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0, \quad (17)$$

Пусть уравнения, определяющие состояние среды в рассматриваемом процессе, следующие:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} + \mu\varepsilon = \frac{1}{E_D} \frac{d\sigma}{dt} + \mu \frac{\sigma}{E_S}; \quad \mu = \frac{1}{\eta} \frac{E_D E_S}{E_D - E_S}, \quad (18)$$

Здесь: σ - напряжение; ε - деформация; v - скорость частиц среды; η - коэффициент вязкости; μ - параметр вязкости; $E_D = \varphi(\varepsilon)$ - модуль динамического сжатия; $E_S = f(\varepsilon)$ - модуль статического сжатия. Функции динамического $E_D = \varphi(\varepsilon)$ и статического $E_S = f(\varepsilon)$ модулей сжатия строятся по результатам экспериментов. Выберем E_D и E_S в следующем виде:

$$E_D = \varphi(\varepsilon) = E_1(\varepsilon + m_1 \varepsilon^{\nu_1}), \quad E_S = f(\varepsilon) = K_1(\varepsilon + m_2 \varepsilon^{\nu_2}).$$

Здесь K_1 , m_1 , ν_1 , m_2 , ν_2 экспериментальные коэффициенты $E_1 = \rho_0 c_0^2$ - модуль упругости грунта при динамическом сжатии. При решении задачи считается, что волна возникает в начальном сечении среды. В начальном состоянии, т.е. в момент $t = 0$, скачок напряжения увеличивается до σ_{\max} и со временем уменьшается, что выражается следующей формулой:

$$\begin{cases} \sigma = \sigma_{\max} \left(1 - \frac{t}{\theta}\right), & 0 \leq t \leq \theta; \\ \sigma = 0, & t \geq \theta. \end{cases} \quad (19)$$

При решении рассматриваемой системы уравнений используем переменные Лагранжа, x - координаты, t - времени. Поскольку распространяющаяся волна еще не достигла среды, примем параметры фронтовой среды за $\sigma = 0$, $v_0 = 0$, $\rho = \rho_0$. Уравнение изменения линии фронта во времени принимается в виде $x = ct$. Из-за отсутствия вязкостных свойств среды на фронте в случае ударного сжатия принимаем напряжение в виде $\sigma = -c\rho_0 v$ с использованием условия упругости. Поставленная задача сводится к решению системы (17) вместе с уравнениями (18) - (19).

В случае $\mu\theta = 0.5$, $\omega = 0.05$, $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ и $\gamma = 2$ изменение $\sigma^0 = f(\tau)$ напряжения в фиксированной точке представлено на рис. 10. Изменение $\varepsilon^0 = f(\tau)$ деформации представлено на рис. 11. Во всех случаях кривые 1-5 соответствуют сечению среды. Они соответственно равны 0; 0.1; 0.2; 0.3; и 0.4.

С увеличением расстояния скачки напряжения на фронте стремятся к нулю, так как непрерывное сжатие ударной волны превращается в волну. В начальном сечении деформация достигает своего максимума после достижения максимума напряжения.

Из рис. 12 видно, что значения напряжения при $\gamma = 2$ больше, чем при $\gamma = \gamma(\varepsilon)$, а во втором случае время изменения напряжения больше.

Результаты напряжения и деформации при значениях $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ приведены на рис. 12-13. Во всех случаях кривые 1-5 соответствуют сечению среды. Они соответственно равны 0; 2.5; 5; 10; и 15.

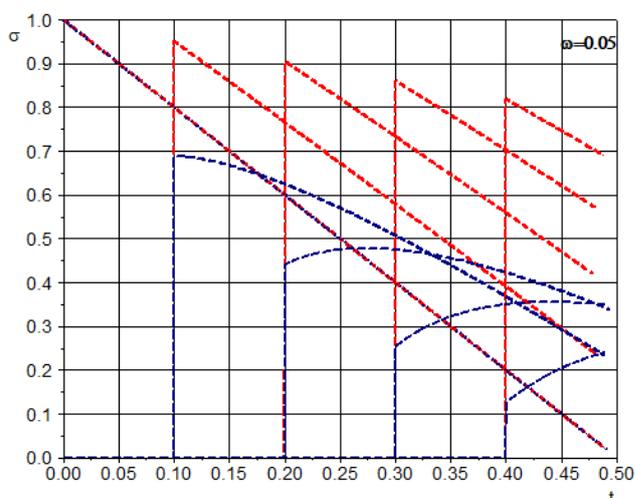


Рис. 10. Изменение напряжения во времени для случая $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ (красная линия) и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (синяя линия)

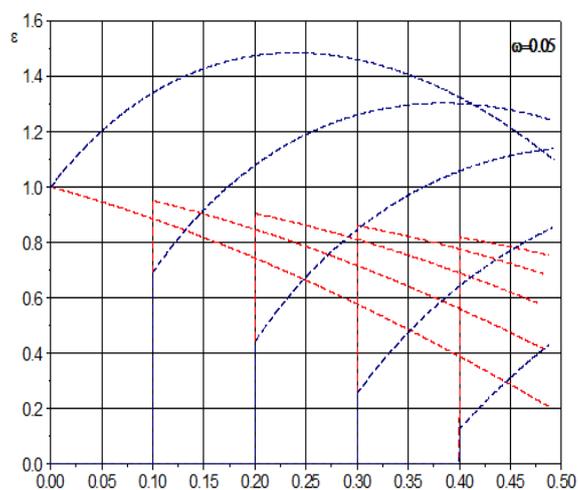


Рис. 11. Изменение деформации во времени для случая $\mu\theta = 0.5$, $\gamma = 2$ (красная линия) и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (синяя линия)

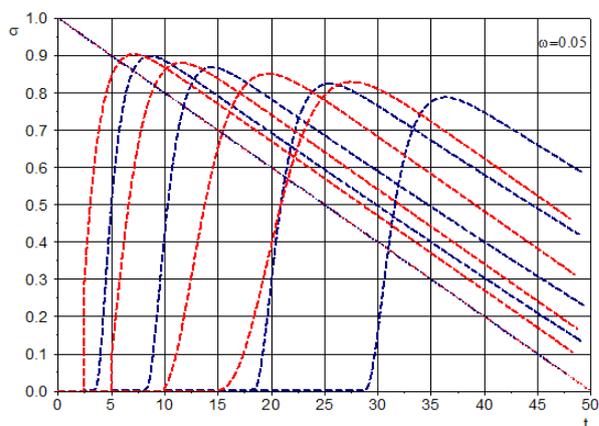


Рис. 12. Изменение напряжения во времени для случая $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ (красная линия) и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (синяя линия)

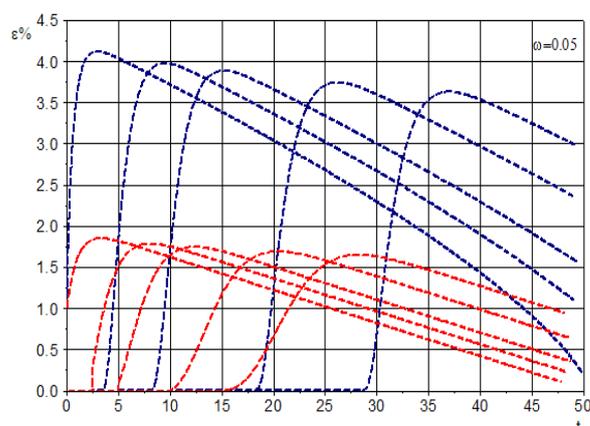


Рис. 13. Изменение деформации во времени для случая $\mu\theta = 50$, $\gamma = 2$ (красная линия) и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ (синяя линия)

В обоих случаях на волновом фронте, находящемся на близком расстоянии от исходного сечения, наблюдались скачки всех трех параметров. В тылу обнаружено, что их значения возрастают до максимума. Максимальное значение напряжения уменьшается по мере удаления от исходного сечения. В случае $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ напряжение значительно увеличивается по сравнению с временем роста $\gamma = 2$.

Из рисунка 13 видно, что деформация в 2,2 раза больше. Также для случая $\gamma = \gamma(\varepsilon)$, как при деформации, так и при скорости, время возрастания больше и убывание после прохождения максимума нелинейно.

В каждом случае скачки отсутствуют, см. рис. 14-15. Вместо скачков наблюдается увеличение значения волновых параметров. Время достижения максимального значения параметров увеличивается. После достижения максимального значения напряжение уменьшается до 0, а деформация до 1. В этом случае также происходит задержка деформации.

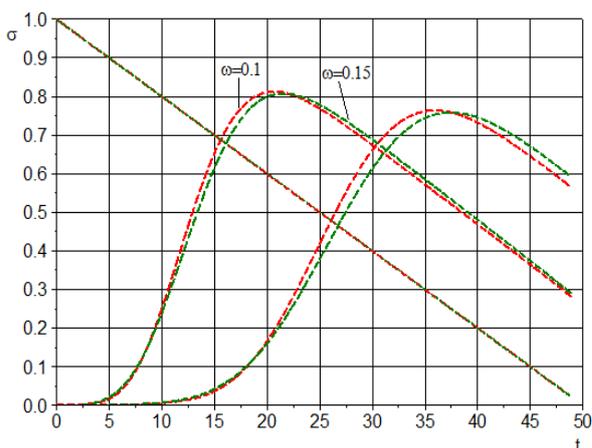


Рис. 14. Изменение напряжения во времени для случая $\mu\theta = 50$ и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$

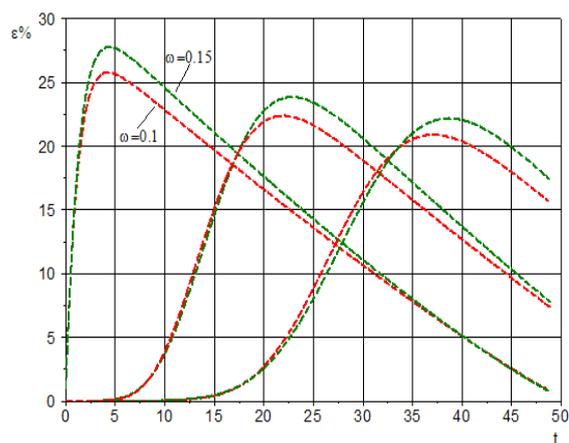


Рис. 15. Изменение деформации во времени для случая $\mu\theta = 50$ и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$

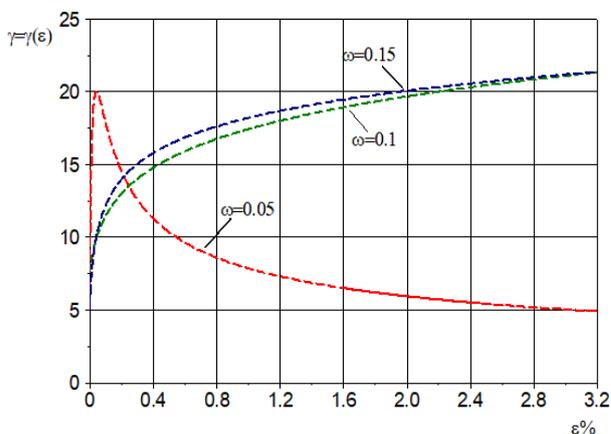


Рис. 16. Полное преобразование $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ в ε для случая $\mu\theta = 50$

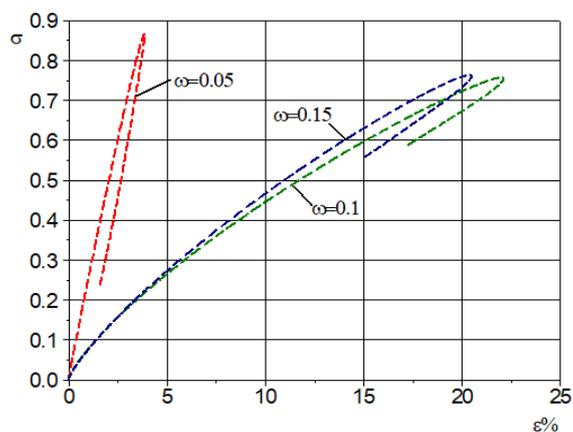


Рис. 17. Соотношение между напряжением и деформацией $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ для случая $\mu\theta = 50$

Изменение динамического и статического модулей показывает, что при влажности 0,05 напротив, значение статического модуля больше в начальном сечении определенной деформации. Если посмотреть на результаты на рисунке 16, то можно увидеть, что влажность при 0.05 изменилась по другой

закономерности, чем при 0.1 и 0.15. То есть при значении коэффициента влажности 0.05 наблюдается уменьшение после достижения максимума $\gamma(\varepsilon)$.

На рис. 17 приведено деление между напряжением и деформацией. Полученный результат был получен при решении заданной задачи. Рассмотрены случаи, когда коэффициент влажности для песчаного грунта составляет 0.05, 0.1 и 0.15. Видно, что при 0.1 значение деформации отличается от двух других случаев, так как оно мало. При коэффициентах влажности 0,1 и 0,15 закономерность деления между напряжением и деформацией существенно не отличается. На представленной диаграмме показана нелинейность деформации при нагружении и разгрузении.

Заключение

На основе результатов проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам на тему "Процессы распространения нелинейных волн в грунтах и их практическое значение для прочности грунтовых сооружений" представлены следующие выводы:

1. Анализ литературы позволил сделать следующие выводы: практически не исследованы вопросы распространения нелинейных волн в грунтах и установлено, что параметры, полученные в результате экспериментов, целесообразно использовать для системы дифференциальных уравнений, определяющих волну. Построена математическая модель и разработан метод решения задачи равномерного распространения волн в линейной вязкоупругой среде. При решении одномерной задачи использовался метод характеристик.

2. Установлено, что скачки, возникающие в вязкоупругой среде, где загрузка и разгрузка выражаются одним и тем же уравнением, находятся на одинаковом расстоянии и после скачка непрерывно увеличиваются до максимума и затем уменьшаются в случаях $\gamma = 2$ и $\gamma = 3$. Установлено, что в начальном сечении и вблизи него напряжение, деформация и скорость имеют свои максимальные значения.

3. Установлено, что при распространении продольной волны в нелинейной вязкоупругой среде в грунте расстояние от начального сечения увеличивается, с приходом волны значение напряжения увеличивается и соответствует своему максимальному значению, а затем изменяется как синусоида. Установлено, что при различных частотах параметры сохраняют свое положение, а амплитуда колебаний параметров волны изменяется.

4. Затухание волны при малых частотах колебаний имеет небольшие колебания. Увеличение частоты привело к значительному увеличению интенсивности затухания волны. При низких частотах ослабление волны незначительно. Установлено, что с увеличением частоты интенсивность ослабления волны значительно увеличивается, а дальнейшее увеличение частоты приводит к дальнейшему ослаблению волны с расстоянием.

5. Для случая $\mu\theta = 0.5$ в начальном сечении во время $\tau = 0.5$ или $t = 0$ напряжение уменьшается до нуля, а деформация до 0.2, кроме того, при $\omega = 0.05$ и $\gamma = \gamma(\varepsilon)$ наблюдается уменьшение напряжения и наоборот, увеличение деформации. На рассматриваемом расстоянии представляет собой ударную волну. Максимальные значения напряжений, деформаций и скоростей, в отличие от результатов, полученных в главе I, не образуются на фронте. Значения деформаций и частиц имеют свойство уменьшаться за фронтом.

6. С увеличением расстояния скачки напряжения на фронте стремятся к нулю, так как непрерывное сжатие ударной волны превращается в волну. В начальном сечении деформация достигает своего максимума после достижения максимума напряжения. Наблюдается, что значения напряжения при $\gamma = 2$ больше, чем при $\gamma = \gamma(\varepsilon)$, а во втором случае время изменения напряжения больше.

7. При коэффициентах влажности 0.1 и 0.15 закономерность деления между напряжением и деформацией существенно не отличается. На представленной диаграмме показано, что деформация при нагружении и разгрузении является нелинейной.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc. 02/30.12.2019.T/FM.61.01 AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES NAMED AFTER
M.T.URAZBAEV, UZBEKISTAN ACADEMY OF SCIENCES**

**“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

KHAMIDOV SAIDJON SOBITJON UGLI

**PROCESSES OF NONLINEAR WAVE PROPAGATION IN SOILS AND
THEIR PRACTICAL SIGNIFICANCE FOR THE STRENGTH OF EARTH
STRUCTURES**

01.02.04 – Mechanics of Deformable Rigid Body

**ABSTRACT
OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) DISSERTATION IN
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2024

The theme of doctor of philosophy (PhD) dissertation was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under number № B2024.4.PhD/FM916

The dissertation was prepared in the “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers” National Research University

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available on the website of Scientific Council (www.instmech.uz) and on the information-educational portal "ZiyoNet" at the address (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:	Sultanov Karim Sultonovich Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor
Official opponents:	Mardonov Batirjon Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor Mamatova Nigora Tukhtabaevna Candidate of Physical and Mathematical Sciences.
Leading organization:	Tashkent University of Architecture and Construction

Defense will take place «15» January 2024 at 2.00 pm at the meeting of Scientific Council number DSc.03/30.12.2019.T/FM.61.01 at Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T.Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences. (Address: 100047.Tashkent, st. Durmon yuli-40, Conference hall -320. Ph.:(+99871)-262-71-52, fax:(+99871) 262-71-32, e-mail: instmech@academy.uz).

The thesis is available in the Center Information Resource of Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T.Urazbaev, Uzbekistan Academy of Sciences. (is registered № 25) (Address: 100047, Tashkent st. Durmon yuli-40, department of Center Information Resource. Ph.: (+99871) 262-71-52, e-mail: instmech@academy.uz).

Abstract of dissertation sent out on «26» December 2024 year
(mailing report №. 25 on “24” December 2024 year)

M. Mirsaidov
Chairman of the Scientific Council Awarding Academic Degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

M.K. Usarov
Scientific Secretary of the Scientific Council for Awarding Academic Degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

R.A.Abirov
Chairman of the Scientific Seminar at the Scientific Council for Awarding Academic Degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher

The aim of the research is to develop a numerical method for solving the problem of nonlinear wave propagation in soils by constructing a strain-dependent function of dynamic and static compression modules, as well as to determine the parameters of plane and longitudinal wave propagation.

The object of the research is clay, sandy and loess soils of various types located in seismic zones.

The scientific novelty of the study is as follows:

the pattern of change of the modulus of static compression for sand and loess soils as a deformation function was analytically determined using the method of least squares, considering the viscoelastic properties of the medium;

numerical methods were developed for solving the problem of plane wave propagation in a viscoelastic medium with changes in dynamic and static compression modules depending on strain using the method of characteristic relations;

the propagation of longitudinal waves in a nonlinear viscoelastic medium with variable dynamic and static compression modules was checked in specific cases using the method of characteristic relations in the Java programming language, a mathematical model of the change in the maximum stress to distance and the attenuation coefficient to frequency over a finite time interval was developed and the results obtained were evaluated;

methods for calculating the stress-strain state during the propagation of plane waves, considering the moisture content of sand and loess soils, as well as algorithms for determining wave parameters, were developed using the method of characteristic relations.

Implementation of research results.

Based on the results obtained for nonlinear wave propagation processes in soils and their practical significance for the strength of soil structures:

the results obtained based on the research results were used in the scientific research work on the topic "Seismic dynamics of underground pipelines and overground transport structures interacting with soil under various loads," conducted in the laboratory of "Geotechnics and seismic dynamics of underground structures" of the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev (Reference №. 2/1255-2270 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan dated October 11, 2024). As a result, it is possible to conduct a numerical analysis using the method of determining the damping of longitudinal wave parameters in soils over a distance in nonlinear viscoelastic media in seismic studies of the underground pipeline system under the influence of seismic forces;

by analyzing wave parameters in the process of nonlinear wave propagation in mining and earth structures, studying their influence on the structure, a Certificate was received on the application of algorithms for evaluating mechanical processes using mathematical modeling to improve organizational divisions of the Almalyk Mining and Metallurgical Combine. As a result, the theoretical assessment of the problem, considering the economic value of the experiments

conducted in the construction and design of mining and pre-mining earth structures, as well as the complexity of the experimental sites, allows for a twofold increase in labor productivity. This resulted in a 1.3-fold reduction in expected economic efficiency.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion and a list of references. The dissertation consists of 102 pages, 38 figures, 1 table and 120 lists of references cited in the dissertation.

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

I bo'lim (I часть; I part)

1. Логинов П.В., Хамидов С.С., Акбаров Н.А. Численное решение распространения плоской волны в линейной вязкоупругой среде // «Узбекский журнал Проблемы механики» - 2023 г. - №4. - С. 26-35.(01.00.00.; №4)
2. Акбаров Н.А., Хамидов С.С. Численное моделирование нелинейных волновых процессов в составных трубчатых стержнях // «Узбекский журнал Проблемы механики» -2021 г. - №4.. – С. 108-113. (01.00.00.; №4)
3. Ismoilova, S., Loginov, P., Khamidov, S., Kumakov, J., Khazratova, T., Geotextile-Reinforced Soils in a Modernized Irrigation System; 2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 88 Article No 8805. (Web of Science; №1)
4. Loginov P.V., Khamidov S.S., Akbarov N.A. Propagation of longitudinal waves in a linear viscoelastic medium // E3S Web Conf. - 2023 - Vol. 458., No 08013. - P. 11 (Scopus; №3)
5. Ismoilova, S., Loginov, P., Khamidov, S., Akbarov, N., Kumakov, J.X. Dynamic stress state of underground pipelines at junctions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 869. Pp. 052013. (Scopus; №3)
6. Ismoilova, S., Loginov, P., Khamidov, S., Akbarov, N., Kumakov, J. Force properties of longitudinal interaction of the underground pipeline with soil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 869. Pp. 052036. (Scopus; №3)

II-bo'lim (II часть; II part)

7. Логинов П.В., Акбаров Н.А., Хамидов С.С. Определение параметров нелинейного деформирование грунтов // Muhammad al-Xorazmiy nomidagi TATU Farg'ona filiali "Al-Farg'oniy avlodlari" elektron ilmiy jurnali – 2024 – 2-son 1(6). – С. 146-151
8. Логинов П., Акбаров Н., Хамидов С. Численное решение распространения продольной волны в нелинейной вязкоупругой среде // Сборник докладов международной научной конференции: Механика, Сейсмостойкость, Машиностроение по проблемам «Обеспечения сейсмической безопасности и сейсмостойкости зданий и сооружений, решению прикладных задач механики», посвященной 90-летию академика АН РУз Т.Р. Рашидова. II-Том., 27-29 мая 2024 г., Ташкент. – С. 396-401.
9. Логинов П.В., Акбаров Н.А., Хамидов С.С. Ночизикли қовушқоқ эластик муҳитда бўйлама тўлқин тарқалишини сонли ечими // Материалы Международной научно-практической конференции «ТРЕТИЙ РЕНЕССАНС

В УЗБЕКИСТАНЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ», 24 апреля 2024 г., Андижан. – С. 43-46.

10. Loginov P., Akbarov N., Khamidov S. Nonlinear wave processes in rods with external friction // Сборник докладов международной научной конференции: Механика, Сейсмостойкость, Машиностроение по проблемам «Обеспечения сейсмической безопасности и сейсмостойкости зданий и сооружений, решению прикладных задач механики», посвященной 90-летию академика АН РУз Т.Р. Рашидова. II-Том., 27-29 мая 2024 г., Ташкент. – С. 194-201.

11. Akbarov N., Khamidov S. “On numerical analysis of viscoelastic strain of soils based on the kelvin-voigt model” VII international scientific conference. “Development of science in the XXI century”. Dortmund, Germany. 03-04.08.2023. 72 p. ISBN 978-92-44513-61-3.

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



№ 10-3279

Bosishga ruxsat etildi: 24.09.2024.
Bichimi: 60x84^{1/16} «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,3. Adadi 100. Buyurtma: № 109
Tel: (99) 832 99 79; (77) 300 99 09
Guvohnoma reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” MChJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko‘chasi, 6-uy.