

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ
ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ ИНСТИТУТИ

БЕКМИРЗАЕВ ДИЁРБЕК АБДУГАППОРОВИЧ

**ЕР ОСТИ ҚУВУРЛАРИНИНГ ГРУНТ БИЛАН МУРАККАБ
ШАРОИТЛИ ЎЗARO ТАЪСИРИ СЕЙСМОДИНАМИКАСИ**

**05.09.02 – Асослар, пойдеворлар, ер ости иншоотлари. Кўприklar ва транспорт
тоннеллари. Йўллар, метрополитенлар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по
техническим наукам
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences

Бекмирзаев Диёрбек Абдугаппорович
Ер ости қувурларининг грунт билан мураккаб шароитли
ўзаро таъсири сейсмодинамикаси.....3

Бекмирзаев Диёрбек Абдугаппорович
Сейсмодинамика подземных трубопроводов со сложными
условиями взаимодействия с грунтом.....21

Bekmirzaev Diyorbek Abdugapporovich
Seismodynamics of underground pipelines with complex
conditions of interaction with soil39

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works.....43

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛЬ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ, ҚУРИШ ВА
ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ШАҲРИДАГИ
ТУРИН ПОЛИТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.09.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ ИНСТИТУТИ

БЕКМИРЗАЕВ ДИЁРБЕК АБДУГАППОРОВИЧ

**ЕР ОСТИ ҚУВУРЛАРИНИНГ ГРУНТ БИЛАН МУРАККАБ
ШАРОИТЛИ ЎЗARO ТАЪСИРИ СЕЙСМОДИНАМИКАСИ**

**05.09.02 – Асослар, пойдеворлар, ер ости иншоотлари. Кўприклар ва транспорт
тоннеллари. Йўллар, метрополитенлар**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2017.1.PhD/Т.16 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tayi.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рашидов Турсунбай

техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Расулов Ҳаят Зайирович

техника фанлари доктори, профессор

Раҳманов Усаркул

техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти ва Тошкент шаҳридаги Турин политехника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.09.01 рақамли илмий кенгашнинг 2017 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100060, Тошкент ш., А.Темур шоҳ кўчаси, 20 уй. Тел./факс: (99871) 232-14-79, e-mail: tadi_info@edu.uz.)

Диссертация билан Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100060, Тошкент ш., А.Темур шоҳ кўчаси, 20 уй. Тел.: (99871) 232-14-79.)

Диссертация автореферати 2017 йил «___» _____ куни тарқатилди.
(2017 йил «___» _____ даги ___ рақамли реестр баённомаси).

А.А. Рискулов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., доцент

А.М. Бабоев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.н

А.А. Ишанходжаев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёнинг кўплаб ривожланган давлатларида энергия манбаларини етказиб бериш ҳозирги кунда иқтисодиётнинг муҳим тармоқларидан биридир. Ер ости қувурлари шаҳарлар ва аҳоли яшаш пунктларида ҳаётни таъминловчи тизимларнинг (сув, газ ва иссиқлик таъминоти, канализация) асосий бўғинларига хизмат қилади ҳамда қазиб олинган нефт, газ ва бошқа маҳсулотларни етказиб беришда муҳим аҳамият касб этади. «БМТ нинг маълумотларига кўра, қурилишга сарф қилинаётган харажатларнинг 25% дан ортиғи ер ости иншоотларига тўғри келади»¹. Ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги соҳасига ривожланган чет эл мамлакатларида, жумладан АҚШ, Япония, Туркия, Италия, Россия, Хиндистон, Эрон ва дунёнинг бошқа давлатларида алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Мустақиллик йилларида республикамизнинг сейсмик ҳудудларида газ, нефт, нефткимё ва бошқа саноат корхоналари ривожланмоқда, бундай ҳудудларда ер ости иншоотларининг сейсмик мустаҳкамлигини таъминлаш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилган. Бу борада, жумладан ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини (КДХ) аналитик усуллар ёрдамида аниқлаш, экспериментал тадқиқот усуллари ёрдамида грунт билан қувурнинг ўзаро таъсир кўрсаткичларини аниқлаш ва бўйлама тебранишдаги ер ости қувурларининг КДХ ни ҳисоблаш усулларга бағишланган қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган. Бу эса зилзила оқибатларини олдиндан бартараф этишда жуда муҳим масалалардан ҳисобланади.

Жаҳонда ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги масалаларига сонли усулларни тадбиқ этиш, ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш, ер ости қувурларини сейсмик мустаҳкамлиги ва сифат кўрсаткичларини оширишда муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада, жумладан турли грунт шароитларида ва мураккаб геометрик шакллардаги ҳаётни таъминловчи ер ости қувурларининг КДХ ни аниқлашнинг янги усулларини ишлаб чиқиш, сейсмик кучларни ер ости қувурларига таъсир этиш йўналишларини ҳисобга олиш, ер ости қувурлари сейсмик мустаҳкамлигини замонавий компьютер технологияларидан фойдаланиб ҳисоблаш усулларни ишлаб чиқиш каби йўналишларда мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2000 йил 19 декабрдаги ПФ-2791-сон «Коммунал хизматни бошқариш тизимини янада ислоҳ қилиш тўғрисида»ги, 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон «Фавқулотда вазиятларнинг олдини олиш ва уларни бартараф этиш тизими самарадорлигини тубдан ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари ва Вазирлар Маҳкамасининг 2011 йил 24 августдаги 242-сон «Ўзбекистон Республикаси Фавқулотда вазиятларда уларнинг олдини олиш ва ҳаракат қилиш давлат

¹ <https://link.springer.com/article/10.3103/S0025654415030073>

тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазибаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устивор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика, ва информатика» ва XIV. «Сейсмология, бинолар ва иншоотлар сейсмик хавфсизлиги ва қурилиш» устивор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сейсмик юкланишлар таъсиридаги ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги соҳасида жаҳондаги йирик тадқиқотчилар, жумладан M.J. O'Rourke, L.R. Wang, N.M. Newmark, El. Hnadi, T. Takahashi, T. Tanaka, K. Yoshizaki, X.L. Liu, Д.Д. Баркан, В.А. Ильичев, Я.М. Айзенберг, А.Г. Назаров, А.Б. Айнбиндер, Ш.Г. Напетваридзе, А.С. Гехман, М.Ш. Исраилов, А.А. Александров, Р.А. Гумеров, Э.Н. Фигаров ва бошқалар илмий тадқиқот ишлари олиб боришган.

Юртимизда ер ости тизимлари сейсмик мустаҳкамлиги соҳасининг ривожланишида бир қатор олимлар томонидан тадқиқотлар олиб борилган, жумладан, академик Т.Р. Рашидов томонидан мураккаб тизимли ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлигининг динамик назарияси яратилган. Г.Х. Хожметов, Я.Н. Мубаракوف, А.А. Ишанходжаев, Б.М. Мардонов, К.С. Султанов, Т. Мавлянов, Б.Э. Хусанов, А. Каюмов, Х.С. Сагдиев, В.А. Омеляненко, А.Х. Маткаримов, М. Хазраткулов, С.Ф. Проскурина, А.Ю. Юсупов, З.Р. Тешабаев, У. Раҳманов, Т.Т. Собиров, Е.Н. Колмакова (Кузьмина) ва бошқалар бу соҳада турли йилларда грунт хоссаси, қувурнинг кўмилиш чуқурлиги, иншоотнинг геометрик ўлчамлари шунингдек тўлқин характердаги таъсир хусусиятларини ва грунт муҳити билан қувурнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олувчи турли масалаларини ҳисоблаб ижобий натижаларга эришган.

Бугунги кунда фойдаланилаётган меъерий ҳужжатда (ҚМҚ 2.01.03-96 «Зилзилавий ҳудудларда қурилиш», «Ер ости иншоотлари ва муҳандислик тармоқлари» IV бўлими) кўмилган қувурлар ва шу каби ер ости иншоотларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш муаммолари ҳозирги вақтгача еталича ҳал этилмаган. Хорижий мамлакатларни ер ости иншоотлари сейсмодинамикаси бўйича тадқиқотларининг таҳлили ҳисоблаш усулларини етарли эмаслигини кўрсатди.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг илмий тадқиқот ишлари режасининг Ф4-ФА-Ф047 «Структураси ўзгарган грунтларда жойлашган мураккаб шаклдаги ер ости қувур тизимларининг сейсмодинамикаси» (2012–2016 йй.) мавзусидаги фундаментал ҳамда ФА-А14-Ф019 «Жаҳон миқёсидаги кучли зилзилалар оқибатларини

муҳандислик таҳлили ва янги тадқиқотлар асосида зилзилабардош ер ости муҳандислик иншоотларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш усулларини янгилаш учун таклифлар ишлаб чиқиш» (2015–2017 йй.) мавзусидаги амалий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ер ости қувурларининг грунт билан мураккаб шароитли ўзаро таъсири сейсмодинамикасини ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

«қувур–грунт» тизимида чизикли ва чизиксиз ўзаро таъсирни ҳисобга олиб бўйлама тебранишдаги ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш;

сейсмик кучлар таъсиридаги тарқалган массали мураккаб тизимли ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш;

ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурларининг сейсмодинамик жараёнларини математик моделлаштириш ва сонли ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш;

ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурларининг кесишган нуқтасидаги юкланишларни аниқлаш;

турли шаклли ва ҳар хил сейсмик юкланишлардаги ер ости қувурларининг динамик тадқиқотлари бўйича кўп вариантли ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш ва олинган натижаларини амалиётга тадбиқ этиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида сейсмик ҳудудларда жойлашган турли шаклдаги ер ости қувурлари (сув таъминоти, газ таъминоти, нефт таъминоти ва бошқалар) тизими олинган.

Тадқиқотнинг предмети грунт билан мураккаб шароитли ўзаро таъсиридаги ер ости қувурларининг сейсмодинамик жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот олиб бориш жараёнида деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси ва қурилиш механикаси усуллари, математик моделлаштириш, динамик параметрларини сонли ҳисоблаш учун чекли айирмалар усули, ҳисоблаш экспериментлари усуллари қўлланилган.

Диссертация тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат: ер ости қувурлари сейсмодинамикасида сонли тақрибий усулларнинг кенг қўлланилиши орқали ҳисоблаш услублари такомиллаштирилган;

«қувур–грунт» тизимида чизикли ва чизиксиз ўзаро таъсирни ҳисобга олиб бўйлама тебранишдаги ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган;

сейсмик юкланишлардаги тарқалган массали мураккаб тизимли ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган;

ортогонал ва ноортогонал шаклли ер ости қувурларининг ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишлардаги кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

сейсмик ҳудудларда мураккаб шаклдаги ер ости қувурларини ҳисоблаш жараёнлари автоматлаштирилди, ҳисоблаш экспериментларини ўтказиш имкониятини берувчи дастурий мажмуалар ишлаб чиқилган («RPT-грунт билан чизиксиз ўзаро таъсирдаги ер ости қувурларининг бўйлама тебранишини ҳисоблаш дастури» №DGU 03282-2015 й.; «Сейсмик кучлар таъсирида мураккаб тармоқли ер ости қувурларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш дастури» №DGU 03648-2016 й.);

сейсмик ҳудудларда ер ости қувурларини ҳисоблаш услуги лойиҳалаш жараёнида («Мундуз» объекти, Андижон вилояти; «Орзу» объекти, Наманган вилояти) фойдаланилиб, иш сифатини ортишига, ҳисоблаш вақтини 2 марта тежалишига, ер ости қувурнинг турғунлиги ва чидамлилигини 1,2 марта заҳира билан таъминланишига эришилди. Олинган натижалар ҳудуднинг сейсмик интенсивлигидан келиб чиқиб қувурларнинг кўмилиш чуқурлигини 15-20 фоизгача камайтириш ҳамда иш унумини ошириш имконини яратган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги замонавий услуб ва воситалардан фойдаланган ҳолда ўтказилган назарий тадқиқотлар асосида олинган натижалар реал маълумотлар билан таққосланди, шунингдек олинган натижалар аввалги олинган натижалар билан солиштирилиб ишончлилиги исботланди ҳамда олинган натижалар ва сонли усулларни тўғрилиги таъминланиб, амалиётга жорий қилинганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларнинг илмий аҳамияти турли шаклдаги ер ости қувурлари сейсмодинамикаси жараёнларини математик модели ва уларни сонли ҳисоблаш услублари ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти қуйидагиларни ўз ичига олади, ер ости қувурлари сейсмодинамикасини ечишга асосланган услуб асосида тузилган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминотлар мажмуи, ер ости қувурлари сейсмодинамикасини ҳисоблашни ягона концепциясини ўзида акс эттиради. Бу сейсмик ҳудудларда ер ости (сув таъминоти, газ таъминоти, нефт таъминоти ва бошқалар) қувурларини лойиҳалаш ва қуриш жараёнларини тезлашишига, бажарилган иш сифатини ортишига, ҳаётни таъминловчи тизимларни мукамал, турғун ишлашига эришилади ҳамда сейсмик хавф-хатарни сезиларли даражада пасайтиришга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ер ости қувурлари сейсмодинамикаси жараёнларини тадқиқоти бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишлардаги ер ости қувурларининг ҳисоблаш услуги Республика давлат архитектура ва қурилиш қўмитасига қарашли лойиҳалаш корхонаси «Techno Engineering Expert» МЧЖда лойиҳалаш ишлари учун жорий этилган («Techno Engineering Expert» МЧЖнинг 2016 йил 25 майда далолатномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши лойиҳалаш жараёнида ҳисоблаш вақтини 2 марта тежалишига,

қувурнинг турғунлиги ҳамда чидамлилигини 1,2 марта захира билан ҳисобланишига имкон берган;

сейсмик ҳудудларда мураккаб шаклдаги ер ости қувурларини ҳисоблаш имкониятини берувчи услублар Республика давлат архитектура ва қурилиш қўмитасига қарашли лойиҳалаш корхонаси «Таъмир-лойиҳа» МЧЖда лойиҳалаш ишлари учун жорий этилган («Таъмир-лойиҳа» МЧЖнинг 2016 йил 14 апрелдаги далолатномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши ҳудуднинг сейсмик интенсивлигидан келиб чиқиб, қувурларнинг қўмилиш чуқурлигини 15–20 фоизгача камайтириш ҳамда иш сифати ва меҳнат унумдорлигини ошириш имконини берган;

ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишлардаги ер ости қувурларининг ҳисоблаш услуби ҳамда сейсмик ҳудудларда мураккаб шаклдаги ер ости қувурларини ҳисоблаш имкониятини берувчи услуби Республика Фавқулодда вазиятлар вазирлигига муҳандислик-коммуникация тармоқларидан келадиган зарарларни камайтириш учун жорий этилган (Фавқулотда вазиятлар вазирлигининг 2016 йил 20 июлдаги 2/4/15-1295-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши нефть-газ саноатидаги техноген хавфли ҳолатларни, совуқ кунларда иссиқлик тармоқларидаги узилишларни, бундан ташқари экологик муаммоларни келиб чиқилишининг олдини олиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 8 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, жумладан, 5 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби, кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги тадқиқотларини ўрганилганлик ҳолати**» деб номланган биринчи бобида

ер ости қувурлари сейсmodинамикасини ўрганилиши ва замонавий ҳолатдаги илмий муаммоларнинг аналитик шарҳлари келтирилган. Қувурларнинг грунт муҳити билан статик ва динамик ўзаро таъсир коэффициентини назарий аниқлаш йўллари кўрсатилган. Ер ости қувурларининг динамик юкланишлардаги тадқиқот натижалари ҳамда экспериментал тажрибаларда ўрганилганлиги асосланган.

Ҳозирда чет эл илмий-тадқиқот ишларида ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлиги муаммолари кенг миқёсда ўрганилмоқда ва уларни ҳисоблаш ва лойиҳалаш бўйича меъёрий ҳужжатларни яратиш йўлга қўйилган (Япония, АҚШ, Хитой, Россия ва бошқалар). Булар бир томондан шаҳар ҳудудларининг жадал ривожланиши ва ҳаётни таъминловчи тизимлар тармоғини кенгайтириш бўлса, иккинчи томондан ер ости тизимларининг бузилишларини асосий сабаби бўлган дунёдаги кучли зилзилаларнинг етарлилиги билан асосланади.

Тошкент зилзиласи ҳам ҳаётни таъминловчи ер ости тизимлари сув қувурлари, канализация ва бошқаларнинг жуда катта шикастланишлари ва бузилишларига олиб келган. Лекин, айрим илмий тадқиқот ишларида бузилиш ҳолатлари грунтларнинг иш қобилияти ўрганилмай ётқизилган қувурларда кузатилгани келтирилган.

Деярли ҳар доим кучли зилзилалардан сўнг қувурлардаги шикастланишлар сони ортади. *Ер ости иншоотларининг бир қисмининг ишдан чиқиши бутун тизимнинг иш қобилиятига таъсир кўрсатади.*

Ер ости қувурлари сейсmodинамикасининг асосий муаммоларини «қувур-грунт» тизимидаги ўзаро таъсирни моделлаштириш ташкил этади. Ҳаётни таъминловчи тизимларнинг кучланганлик ҳолатини аниқловчи асосий кўрсаткичлар, иншоотларни ўраб турган грунт муҳити билан ўзаро таъсир коэффициенти ҳисобланади. Шунга кўра нисбий грунтдаги қувурнинг силжиш коэффициенти деб k_x олинган, қувурнинг силжиш коэффициенти қуйидаги кўринишига эга (Т.Р. Рашидов формуласи):

$$k_x = \left(\tilde{\alpha} \frac{G_B}{100\tilde{B}} + \tilde{\beta} \right) \cdot 10^2, \quad (1)$$

бунда $\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}$ – грунт шароитига боғлиқ коэффициентлар; G_B – қувурнинг узунлик ўлчамига тўғри келувчи грунтнинг вертикал босими; \tilde{B} – қувурнинг қўмилишидаги қазилиш кенглиги.

Қувурнинг грунт муҳити билан динамик ўзаро таъсири коэффициентини аниқлаш қуйидагича

$$k_x^{стат} = \frac{4\pi^2 m}{\pi D_H T^2} \frac{p^2}{\omega^2} \quad \text{ёки} \quad k_x^{стат} = k_x^{дин} \cdot \eta, \quad (2)$$

бунда $\eta = \frac{p^2}{\omega^2}$.

Диссертациянинг ««Кувур-грунт» тизимида чизиқли ва чизиқсиз ўзаро таъсирдаги ер ости кувурларининг бўйлама тебраниши» деб номланган иккинчи бобида «кувур-грунт» тизимида чизиқли ва чизиқсиз ўзаро таъсирдаги ўқи тўғри чизиқли ер ости кувурларининг бўйлама тебранишини оддий анъанавий масалалари қаралган. Ер ости кувурларини грунт билан чизиқсиз ўзаро таъсирдаги тебранишини ҳисоблаш услуги баён этилган. Ер ости кувурларининг грунт билан чизиқсиз ўзаро таъсирдаги масаласини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблашнинг компьютер алгоритмлари ишлаб чиқилди. Масалани турли чегаравий шартларда ва турли ўзаро таъсир қонуниятларида ҳисоблаб таҳлилдан ўтказилди.

Грунт билан иншоот сиртида юзага келувчи уринма кучланиш τ_a нинг нисбий кўчиш $u - u_0$ ва нисбий кўчиш тезлиги $\dot{u} - \dot{u}_0$ катталигига боғлиқ умумий кўриниши қуйидагича ёзилади:

$$\tau_a = k_x(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)] + \mu(\dot{u} - \dot{u}_0)[1 - \bar{\omega}(\dot{u} - \dot{u}_0)] + \dots \quad (3)$$

бунда $k_x, \mu, \omega, \bar{\omega}$ – иншоот ва юкланиш кўринишига, грунт хусусиятининг ўзгарашига боғлиқ экспериментал тадқиқотдан аниқланувчи грунт билан ўзаро таъсирнинг эластик, ёпишқоқ ва пластик хоссаларини характерловчи кўрсаткичлар; $\omega(u - u_0)$ – чизиқсизликни характерловчи ўзаро таъсир хоссасини, А.А. Ильюшин пластик функцияси сифатида қабул қилиш мумкин.

Динамик (шу жумладан сеймик) таъсирлар юкланиш ва юкланишни олиниши алмашинишининг тезлиги ҳолати билан характерланади, шунга қарамасдан ўзаро таъсирни эластик-пластик хусусиятини ташкил этувчиси кўпроқ аҳамиятга эга

$$\tau_a = k_x(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)]. \quad (4)$$

Бунда τ_a – кувур сиртидаги уринма кучланиш, u – кувурнинг абсолют кўчиши, u_0 – зилзилада грунтнинг ҳаракат қонуни.

Ўзаро таъсир қонуниятининг чизиқсиз ҳолида $\omega(u - u_0)$ пластик функцияси қуйидагича бўлади:

юкланиш босқичида

$$u - u_0 \leq u_s \text{ да } \omega(u - u_0) = 0,$$

$$u_s \leq u - u_0 \leq u_p \text{ да } \omega(u - u_0) = \tilde{\lambda} \left(1 - \frac{u_s}{u - u_0} \right),$$

юкланиш олинган босқичда

$$u - u_0 \geq u_p \text{ да } \omega(u - u_0) = \tilde{\lambda} \frac{u_p - u_s}{u - u_0},$$

бунда $\tilde{\lambda} = (k_x - k'_x)/k_x$, k_x, k'_x – ўзаро таъсирни эластик ва пластик босқичга мос силжиш коэффициентлари, u_s, u_p – мос равишда пластик юкланиш ва

юкланиш олингандан кейинги босқични бошланишидаги қувурнинг нисбий грунтдаги кўчиши.

Уринма кучланиш (4) ни ҳисобга олган ҳолда ер ости қувурининг тебраниши дифференциал тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади

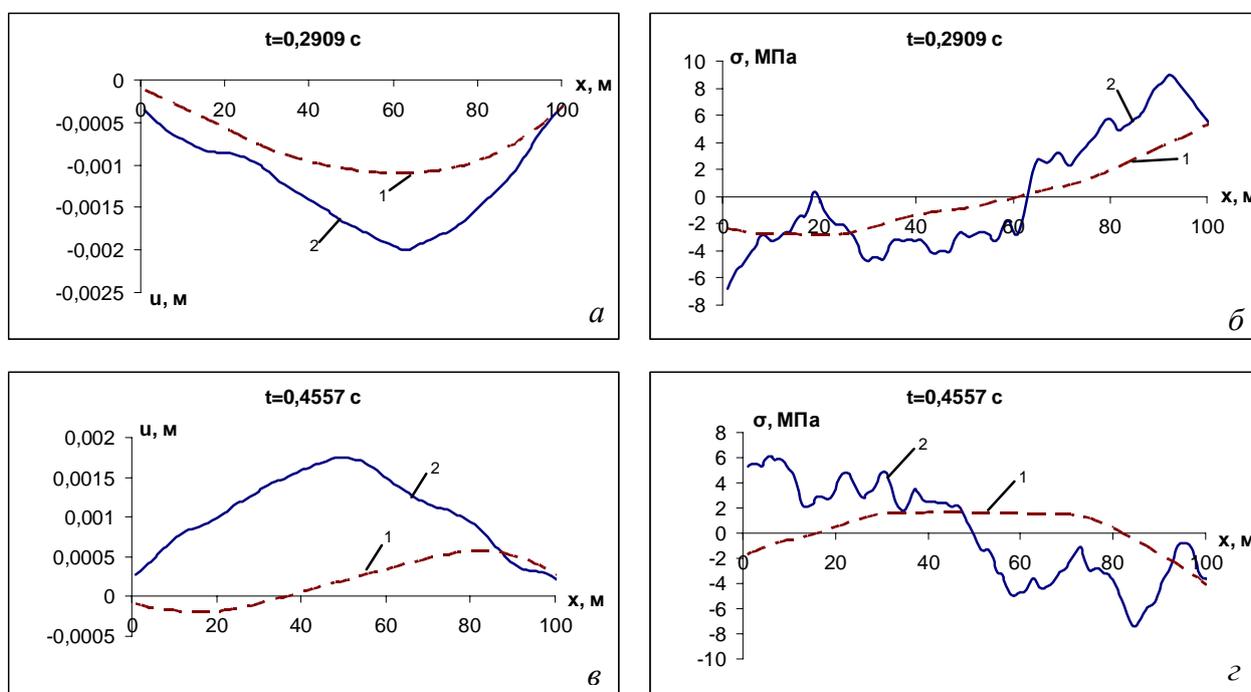
$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a_T^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b^2(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)] = 0. \quad (5)$$

Юқоридаги (5) тенгламани ечиш учун иккинчи тартибли аниқликдаги чекли айирмалар усулидан фойдаланилди. Мисол сифатида қуйидаги масалани қараймиз.

1-масала. Чизиксиз ўзаро таъсирдаги чегаралари силжишга мойил бириктирилган чўян қувурнинг бўйлама сейсмик кучлар таъсирида кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини қараймиз.

Қувур ва грунтнинг механик, геометрик параметрлари қуйидагича олинган: $D_H=0.5$ м; $D_B=0.49$ м; $l=100$ м; $k_x=1 \cdot 10^4$ кН/м³; грунтнинг ҳаракат қонуни қуйидаги кўринишда: $u_0=a_0 \cdot \sin \omega(t-x/C_p)$; $a_0=0.001$ м; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с; $C_p=800$ м/с; бириктириш жойининг бикирлик коэффициенти $K_N=29 \cdot 10^4$ кН/м; $u_s=0.0001$ м; $\tilde{\lambda} = 0.2$.

Масалани компьютерда ҳисоблашни ташкил этиш ишлаб чиқилган алгоритм асосида бажарилди, олинган натижалар 1-расмда келтирилган, бу ерда бўйлама кўчишлар ва нормал кучланишларнинг берилган вақтларда қийматларини қувур ўқи бўйлаб ўзгариши кўрсатилган.



1-расм. Бўйлама кўчишлар ва кучланишларнинг берилган вақтлардаги қувур ўқи бўйлаб ўзгариши: 1– чизикли ўзаро таъсир; 2– чизиксиз ўзаро таъсир

Пўлат ва чўян қувурларга турли кўринишдаги тўлқинлар таъсир этганда қувурда ҳосил бўладиган бўйлама кучланишнинг абсолют максимал қийматлари 1-жадвалда берилган.

Бундан кўринадики, қувурнинг грунт билан чизиқсиз ўзаро таъсирдаги кучланишнинг абсолют максимал қийматлари, эластик ўзаро таъсирдаги қийматларига қараганда доим катта (1-расм, 1-жадвал).

1-жадвал

Ер ости қувурларининг максимал кучланиши, МПа

Балл	Тўлқинлар кўриниши	Пўлат		Чўян	
		чизиқли ўзаро-таъсир	чизиқсиз ўзаро-таъсир	чизиқли ўзаро-таъсир	чизиқсиз ўзаро-таъсир
7	<i>Синусоидал тўлқин</i>	43.65895	44.8284	35.28842	39.3207
	<i>Координата бўйича ўзгарувчи тўлқин</i>	65.85012	70.14736	51.79212	64.481
8	<i>Синусоидал тўлқин</i>	76.4068	81.9358	63.94046	70.4899
	<i>Координата бўйича ўзгарувчи тўлқин</i>	115.2249	122.7579	82.24973	118.531

Солиштиришлар таҳлили шуни кўрсатадики, қувурнинг грунт билан чизиқсиз ўзаро таъсирини ҳисобга олиниши умумий ҳолда қувурдаги нормал кучланишнинг қийматини ортишига олиб келмоқда.

Диссертациянинг «**Сейсмик юкланишлардаги мураккаб тизимли ер ости қувурлари динамик масалаларини ҳисоблаш**» деб номланган учинчи бобида сейсмик кучлар таъсирида жамланган ва тарқалган массали мураккаб тизимли ер ости қувурлари сейсмодинамикаси масалалари ҳисобланди. Сейсмик кучлар таъсирида мураккаб тизимли ер ости қувурлари дифференциал тенгламалари қаралган. Тугунларни бирикишдаги мойиллиги ҳисобга олинган. Ҳисоблашларни компьютерда амалга оширишга мос дастурий мажмуа ишлаб чиқилди.

Тенгламалар системаси чекли айирмалар усулида ҳисобланган. Чекли айирмалар усули асосида сонли натижалар олинди ва графиклар кўринишида келтирилди. Олинган натижаларни ишончлилигини текшириш учун аввалги олинган натижалар билан солиштирилди. Ҳисоблаш схемасини қўлланилиши натижасида ер ости қувурлари сейсмодинамикаси бўйича қатор янги масалаларни ҳисоблаш имконияти яратилди.

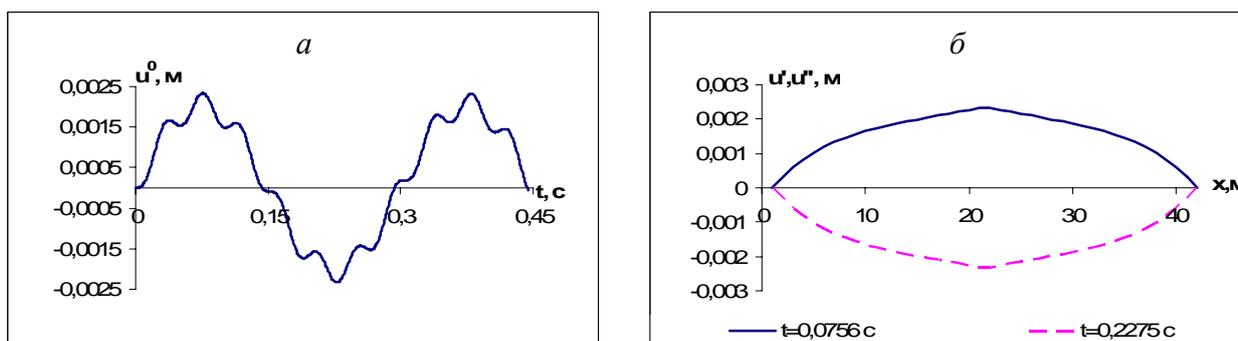
Мураккаб ер ости тизимлари сейсмодинамикаси тадқиқотларида асосий қувурларнинг мураккаб шароитда тугунга боғлиқ бириккан бўйлама ҳаракатининг умумий масаласини соддалаштириш усули билан уларни ер ости қувурлари бўйлама тебраниши масаласини етарлича ўрганиш мумкин бўлган содда масалага яқинлаштирилади.

$I_y=I_z=0$ бўлган хусусий ҳолда ($I_y=I_z=0$ тугундаги инерция моментлари),

$$\begin{cases} -\rho F \frac{\partial^2 u'}{\partial t^2} + EF \frac{\partial^2 u'}{\partial x^2} - 2\pi R k_x (u' - u_0) = 0, \\ -\rho_1 F_1 \frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + EF \frac{\partial u'}{\partial x} - EF \frac{\partial u''}{\partial x} - 2\pi R_{uz} H_{uz} k_x^{uz} (u^0 - u_0) = 0, \\ -\rho F \frac{\partial^2 u''}{\partial t^2} + EF \frac{\partial^2 u''}{\partial x^2} - 2\pi R k_x (u'' - u_0) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

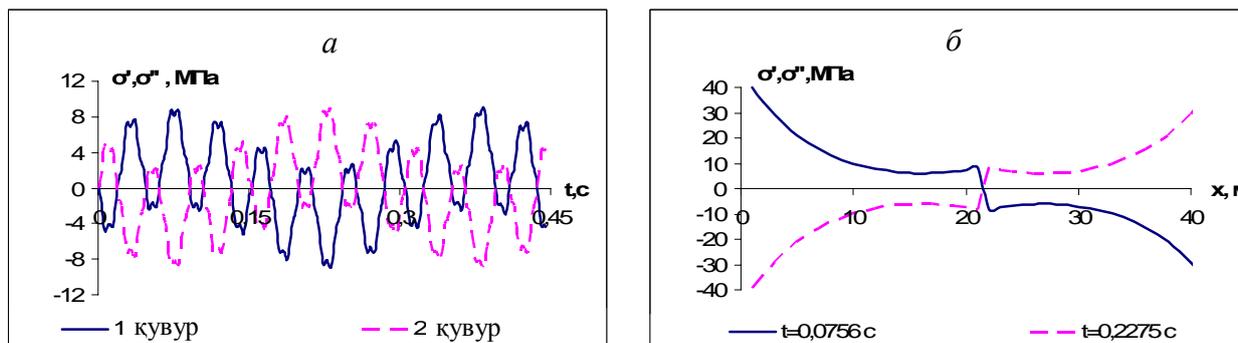
Чегаравий шартларни ҳисобга олиб (6) дифференциал тенгламалар системаси чекли айирмалар усули билан ҳисобланади. Мисол сифатида қуйидаги масалани қараймиз.

2-масала. Чегаралари қотириб маҳкамланган ер ости чўян қувурини қараймиз. Ер ости қувури ва грунтнинг механик ва геометрик параметрларини қуйидаги кўринишда танланган: $D_H=0.4$ м; $D_B=0.39$ м; $l=20$ м; $k_x=1 \cdot 10^4$ кН/м³. Қудук учун: $E=2.5 \cdot 10^4$ МПа; $D_{H uz}=1.2$ м; $D_{B uz}=1.1$ м; $H_{uz}=1$ м; $k_x^{uz}=2 \cdot 10^4$ кН/м³; $u_0=a_0 \cdot \sin \omega t$; $a_0=0.002$ м; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с.



2-расм. Синусоидал юкланишдаги тугуннинг вақт бўйича (а) ва x координата ўқи бўйича (б) кўчишларнинг ўзгариши

Қувур ўқи бўйлаб сейсмик юкланишдаги тугуннинг бўйлама кўчишини синусоидал қонуният бўйича ўзгариши 2, а-расмда, қувурларнинг x координата ўқи бўйича берилган вақтдаги кўчишининг ўзгариши натижалари 2, б-расмда келтирилган. 2, а, б-расмлардан кўринадики қувурларнинг максимал кўчиши тугуннинг максимал кўчишига мос келади.



3-расм. Синусоидал юкланишда тугун атрофидаги қувурнинг вақт бўйича (а) ва x координата ўқи бўйича (б) кучланишларнинг ўзгариши

Қувурларнинг тугун билан бирикиш нуқтасидаги кучланишини ўзгариши 3-расмда келтирилган. 3, а-расмга кўра қувурлардаги кучланиш қарама-қарши ишораларга эга, яъни биринчи қувур чўзилишга, иккинчиси эса сиқилишга ишламоқда. Бу ҳолат 3, б-расмда ҳам ўз тасдиғини топмоқда, берилган вақтда қувурларни қотириб маҳкамланган чегараларида кучланишлар максимал қийматига эришмоқда.

Қаралаётган масалада тугун атрофидаги қувурнинг кўчиши максимал қийматга эришди ва тугуннинг кўчишига тенглашмоқда. Қувурларнинг тугун билан бириккан қисмида грунт билан ўзаро таъсирининг максимал эффекти мужассамлашмоқда.

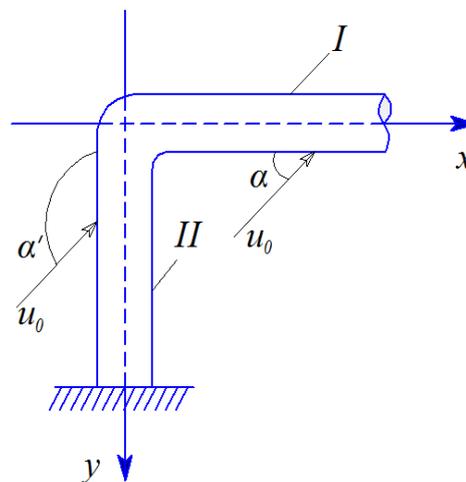
Компьютер учун ишлаб чиқилган амалий дастур тугун ва қувурларнинг кўрсаткичларига, грунт шароитларига, чегараларни турли маҳкамланишига ва турли кўринишдаги сейсмик таъсирларга боғлиқ ҳолда қатор сонли натижалар олиш имкониятини беради. Булар асосида сейсмик таъсирлар қувур ўқи бўйлаб йўналганда тугун атрофидаги қувурларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати тадқиқотларини автоматлаштириш имконияти пайдо бўлди.

Диссертациянинг «**Ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурлари сейсמודинамикаси**» деб номланган тўртинчи бобда ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурлари сейсמודинамикаси қаралган. Тенгламалар системаси мос равишда чегаравий ва бошланғич шартлар билан баён этилган. Мураккаб ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурлари сейсמודинамикасининг қатор масалалари ҳисобланиб сонли натижалари таҳлил этилди. Ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурлари сейсמודинамикаси масалаларини сонли тадқиқотлари учун ҳисоблаш методикаси ва компьютер дастури ишлаб чиқилди.

Сўнгги вақтларда асосий эътибор турли шаклдаги (Г-, Т-, П- ва V-кўришдаги) қувурларни зилзилабардошлигига қаратилмоқда.

Ўтказилган тадқиқотлар конструкциянинг асосий ўқларига нисбатан ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишларда Г-кўринишдаги (4-расм) қувурларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолаш муаммоларини ечишга йўналтирилган. Булар математик моделлар, алгоритмлар ва амалий дастурлар мажмуасини ишлаб чиқишда батафсил қаралган (Т-, П-кўринишдаги қувурларнинг КДХ ҳам шу каби қаралади).

Дифференциал тенгламалар системасини (4-расм, $I \rightarrow \bar{x}$ биринчи қувур учун, $II \rightarrow \bar{y}$ иккинчи қувур учун тенгламалар қайта ёзилади) ўлчовсиз вектор



**4-расм. Г- шакл кўринишидаги қувур қисми:
I—қувур; II—қувур
(текисликда)**

кўринишини табиий чегаравий ва бошланғич шартлар билан қуйидагича оламиз:

$$M \frac{\partial^2 U}{\partial \bar{t}^2} + A \frac{\partial^2 U}{\partial \bar{x}^2} + B \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + CU = U_0 \left(\begin{matrix} I \rightarrow II \\ \bar{x} \rightarrow \bar{y} \end{matrix} \right), \quad (7)$$

$$\left[\bar{A} \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + \bar{B}U + \bar{C}\bar{U}_0 \right]_{\bar{x}=0} = 0, \quad \left[\bar{A}_1 \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + \bar{B}_1U \right]_{\bar{x}=1} = 0, \quad (8)$$

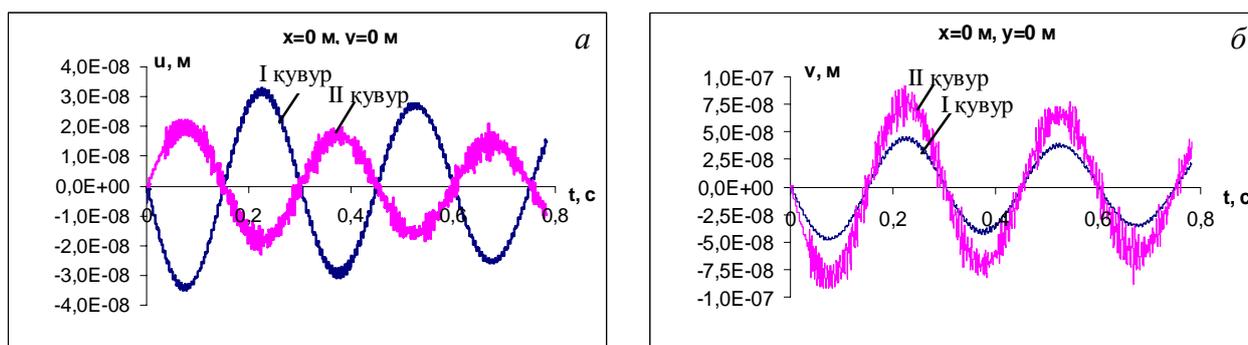
$$\left[\bar{A} \frac{\partial U}{\partial \bar{y}} + \bar{B}U + \bar{C}\bar{U}_0 \right]_{\bar{y}=0} = 0, \quad U|_{\bar{y}=1} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{t}} \delta U \Big|_{\bar{t}} = 0. \quad (10)$$

бунда $M, A, B, C, \bar{A}, \bar{A}_1, \bar{A}, \bar{B}, \bar{B}_1, \bar{B}, \bar{C}, \bar{C}$ учинчи тартибли матрицалар.

3-масала. Мисол сифатида қуйидаги масалани кўриб чиқамиз. Механик ва геометрик параметрларни қуйидаги кўринишда танланган: $E=2 \cdot 10^5$ МПа; $D_H=0.40$ м; $D_B=0.392$ м; $l=100$ м; $u_0=a_0 \cdot e^{-\varepsilon(t-f(x,y)/C_p)} \cdot \sin \omega(t-f(x,y)/C_p)$; $a_0=0.004$ м; $\varepsilon=0.5 \text{ с}^{-1}$; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с; $C_p=1500$ м/с; $k_x=3 \cdot 10^4$ кН/м³; $\mu_{\text{грунт}}=0.2$; $\mu_{\text{кувур}}=0.3$; $f(x,y)=x \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha$; $\alpha=30^\circ$; $\alpha'=120^\circ$.

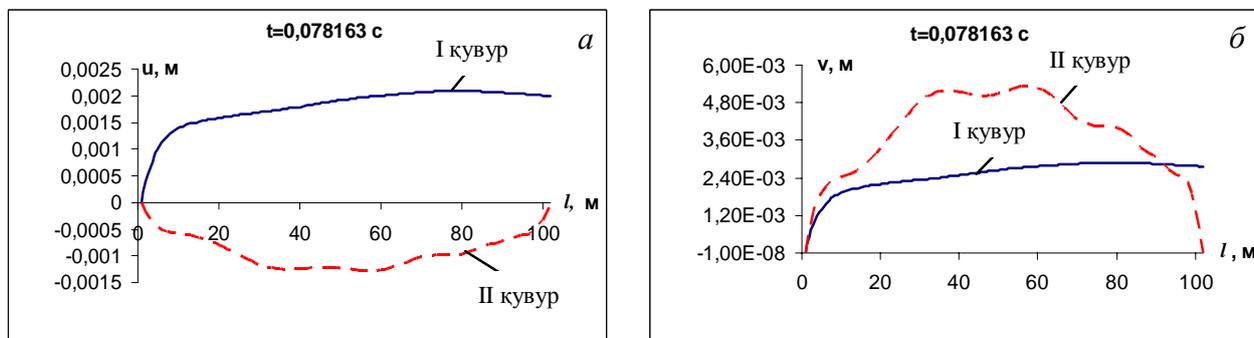
Масалани ҳисоблаш натижалари график кўринишда келтирилган. I ва II ер ости қувурларининг кесишган нуқтасида ($x=0, y=0$) бўйлама u ва кўндаланг v кўчишларининг вақт бўйича ўзгариши 5-расмда тасвирланган.



5-расм. I ва II ер ости қувурларининг кесишган нуқтасидаги бўйлама (а) ва кўндаланг (б) кўчишларини вақт бўйича ўзгариши

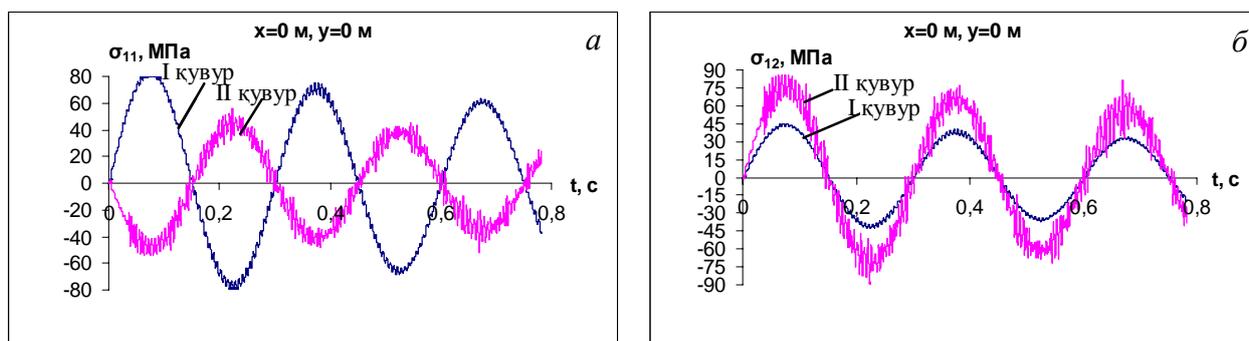
5-расмдан кўринадики, тебраниш гармоник характерга эга, хусусан II ер ости қувурининг тебранишига тааллуқли ички тебранишлар вақт бўйича сўнмоқда. I ва II қувурларнинг кесишиш нуқтасидаги бўйлама кўчишларини тебранишлари қарама-қарши фазаларга эга. I ва II қувурларнинг кесишиш нуқтасидаги кўндаланг кўчишларини тебранишлар фазаси бир-бирига мос келади (5-расмга қаранг).

I ва II ер ости қувурларидаги берилган вақтда қувур ўқи бўйлаб бўйлама u ва кўндаланг v кўчишларининг ўзгариши 6-расмда келтирилган. Берилган вақтда I ер ости қувури чўзилишга, II ер ости қувури эса сиқилишга ишламоқда. Ҳар иккала ер ости қувурлари ҳам мусбат йўналишда эгилмоқда. II қувурнинг эгилишдаги кўчишини қиймати I қувурга караганда деярли икки марта катта бўлмоқда.



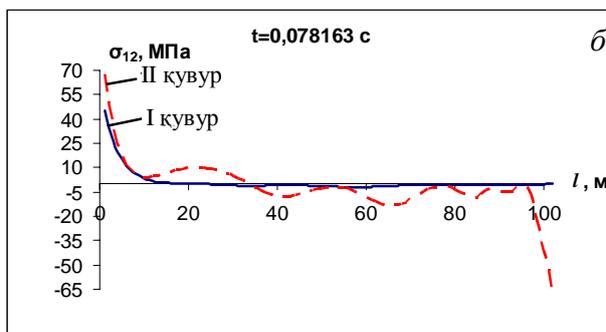
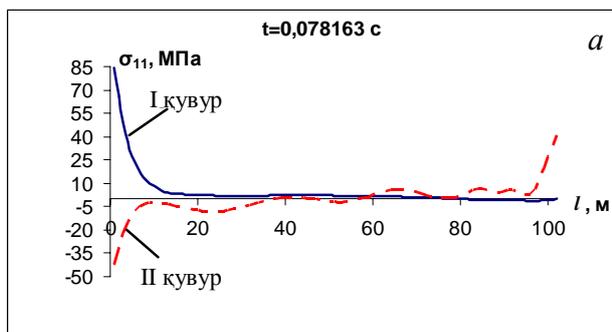
6-расм. Берилган вақтда қувур ўқи бўйлаб бўйлама (а) ва кўндаланг (б) кўчишларининг ўзгариши

Ер ости қувурларининг кесишган нуқтасидаги ($x=0, y=0$) бўйлама σ_{11} ва уринма σ_{12} кучланишлари қийматларининг вақт бўйича ўзгариши 7-расмда келтирилган. 7-расмдан кўринадики, кучланишларнинг тебраниши гармоник характерга эга, хусусан II қувурнинг тебранишига тааллуқли ички тебранишлар вақт ўтиши билан сўнмоқда. Бўйлама кучланишнинг тебраниш фазалари I ва II қувурларда бир-бирига мос эмас, уринма кучланишнинг фазалари эса мос келади.



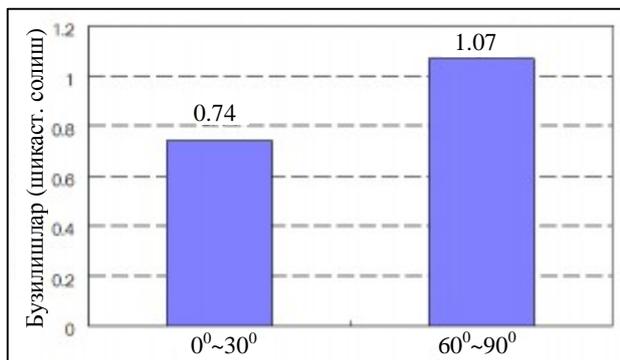
7-расм. I ва II ер ости қувурларининг кесишган нуқтасидаги нормал (а) ва уринма (б) кучланишларини вақт бўйича ўзгариши

Берилган вақтда қувурларининг ўқи бўйлаб бўйлама σ_{11} ва уринма σ_{12} кучланишларининг қийматларини ўзгариши 8-расмда келтирилган. 8-расмдан кўринадики, I ва II қувурларининг кесишиш нуқтасида ва II қувурнинг қотириб маҳкамланган чегарасида бўйлама σ_{11} ва уринма σ_{12} кучланишларининг абсолют қийматлари максимал қийматга эришади.

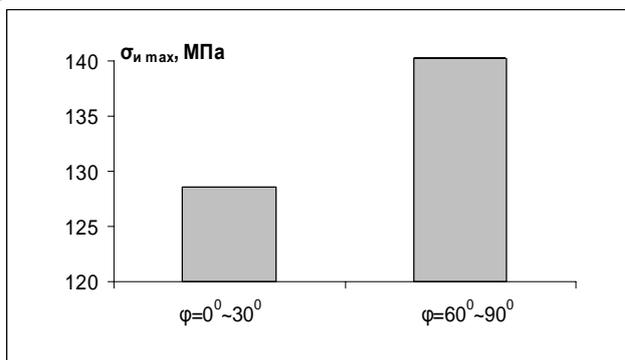


8-расм. Берилган вақтда қувур ўқи бўйлаб нормал (а) ва уринма (б) кучланишларнинг ўзгариши

Ноортогонал шаклдаги қувурлар бўйича олинган натижалар. Грунт муҳитида жойлашган қувурлар орасидаги бурчакни ўзгариши ҳисобига солиштирма шикастланишнинг график боғлиқлиги 9-расмда кўрсатилган. Япон мутахассислари томонидан зилзила оқибатларини таҳлил қилиш асосида олинган натижалари 9-расмда, бизнинг ҳисоблашларимиз асосида олинган натижалар 10-расмда келтирилган. Буларни солиштириб олган натижаларимиз зилзила оқибатлари билан тасдиқланмоқда, яъни қувурлар орасидаги бурчакни катталашини кучланишнинг ортишига олиб келмоқда.



9-расм. Ноортогонал бириккан қувурлар орасидаги бурчакнинг ўзгаришига шикастланишнинг боғлиқлиги



10-расм. Нормал интенсив кучланишнинг максимал қийматини қувурлар орасидаги бурчакнинг ўзгаришига боғлиқлиги (8 балл)

Ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритми ва дастурнинг универсаллиги ортогонал ва ноортогонал туташган мураккаб шаклдаги қувурларни кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини кенг кўламли тадқиқотларини ўтказиш ва янги натижалар олиш имкониятини беради.

ХУЛОСА

«Ер ости қувурларининг грунт билан мураккаб шароитли ўзаро таъсири сейсмодинамикаси» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Табиий грунтларда ётқизилган ер ости қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати тадқиқотларини ўтказиш имкониятини берувчи сонли ҳисоблаш услублари ва дастурий мажмуалари ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган ҳисоблаш услублари турли сейсмик таъсирларда грунт шароитларини, кўмилиш чуқурлигини, қувурнинг геометрияси ва чегараларини маҳкамланишини ҳисобга олган ҳолда ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлигини ҳисоблашга хизмат қилади.

2. Сейсмик юкланмалар таъсирида грунт билан чизиқли ва чизиқсиз ўзаро таъсирдаги ер ости қувурларининг максимал кучланиши вужудга келадиган ҳавфли кесимлари аниқланди, ҳар бир аниқ ҳоллар учун сонли натижалар олинди. Танланган сонли усулларда ўтказилган таҳлилларни ишончилигини исботлаш мақсадида, олинган натижалар аввалги олинган натижалар билан солиштирилди (ҚМҚ 2.01.03-96 «Зилзилавий ҳудудларда қурилиш» меъёрий ҳужжати бўйича ҳисобланган қийматларга нисбатан 5-10 % га фарқ қилади).

3. Ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишлар таъсирида Г-, V-кўринишдаги қувурларнинг бўйлама ва кўндаланг тебранишларини боғлиқлик тенгламалари келтириб чиқарилди. Мураккаб шаклдаги ер ости қувурларининг бириктиш тугунларини силжишга мойиллигини ҳисобга олиб ер ости қувурларининг кесишган тугунларидаги юкланишлар аниқланди. Бу мураккаб шаклдаги ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлигини аниқлашда муҳим аҳамият касб этади.

4. Ҳисоблаш алгоритми ва дастурларни универсаллиги ортогонал ва ноортогонал бириккан мураккаб шаклдаги қувурларнинг КДХ ни кенг тадқиқ этиш учун хизмат қилади.

5. Сейсмик юкланишнинг таъсир этиш бурчагига боғлиқ қатор сонли натижалар олинди. Зилзила шароитларида ортогонал ва ноортогонал шаклдаги ер ости қувурларининг мураккаб тизимини КДХ тадқиқотларини ўтказиш схемаси яратилди.

Ўтказилган назарий ва сонли-экспериментал тадқиқотлар конструкциянинг бош ўқига нисбатан ихтиёрий йўналган сейсмик юкланишларда Г-, V-кўринишдаги қувурларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолашда муҳим аҳамият касб этади.

6. Бажарилган иш коплекс масалаларни кўришдаги биринчи қадам ҳисобланиб, келажакда мураккаб шаклдаги (Т-, Г- ва V-кўринишдаги) қувурлар ҳолатини тадқиқотларига кенг йўл очади. Тақдим этилган усуллар ва дастурий таъминотлар сейсмик таъсирлардаги ер ости қувурлари мустаҳкамлигини комплекс таҳлил этиш учун хизмат қилади.

7. Натижаларнинг амалий аҳамиятининг муҳимлиги бевосита масаланинг қўйилишидан келиб чиқади. Шунинг учун илмий-тадқиқот

ишларида нафақат алгоритмлар ва компьютерда ҳисоблаш дастурлари яқунланган, балки яқуний амалий натижаларгача олиб борилган. Улар ҚМҚ 2.01.03-96 «Зилзилавий ҳудудларда қурилиш» меъёрий ҳужжатининг IV «Ер ости иншоотлари ва муҳандислик тармоқлари» бўлимига қўшимчалар қўшишда муҳим аҳамият касб этади.

8. Олинган натижалар ер ости қувурларини лойиҳалашда («Мундуз» объекти, Андижон вилояти; «Орзу» объекти, Наманган вилояти) фойдаланилиб, иш сифати ва меҳнат унумдорлигини 15% гача ортишига, ҳисоблаш вақтини 2 марта тежалишига, ер ости қувурнинг турғунлиги ва чидамлилигини 1,2 марта заҳира билан таъминланишига эришилди. Амалиётга жорий этилишдан олинган иқтисодий самара 142 млн 809 минг сўмни ташкил этган (14.04.2016 йил ва 25.05.2016 йилдаги жорий этиш далолатномалари).

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.09.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ПО
ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ТУРИНСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ В ГОРОДЕ ТАШКЕНТЕ**

ИНСТИТУТ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

БЕКМИРЗАЕВ ДИЁРБЕК АБДУГАППОРОВИЧ

**СЕЙСМОДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СО
СЛОЖНЫМИ УСЛОВИЯМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГРУНТОМ**

**05.09.02 – Основания, фундаменты и подземные сооружения. Мосты и
транспортные тоннели. Дороги, метрополитены**

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

Ташкент – 2017

Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.1.PhD/Т.16.

Диссертация выполнена в Институте сейсмостойкости сооружений Академия Наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tau1.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:	Рашидов Турсунбай доктор технических наук, профессор, академик
Официальные оппоненты:	Расулов Хаят Зайирович доктор технических наук, профессор Рахманов Усаркул кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «___» _____ 2017 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.Т.09.01 при Ташкентском институте по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог и Туринском политехническом университете в городе Ташкенте (Адрес: 100060, г. Ташкент, проспект А.Темура, 20. Тел./факс: (99871) 232-14-79, e-mail: tadi_info@edu.uz.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (зарегистрирована № ____). (Адрес: 100060, г. Ташкент, проспект А.Темура, 20. Тел.: (99871) 232-14-79.)

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2017 года.
(реестр протокола рассылки № ____ от «___» _____ 2017 года).

А.А. Рискулов
Председатель научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

А.М. Бабоев
Ученый секретарь научного совета по
присуждению ученых степеней, к.т.н

А.А. Ишанходжаев
Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время транспортировка энергоресурсов является одной из важнейших отраслей экономики многих развитых стран мира. Подземные трубопроводы служат основной частью систем жизнеобеспечения городов и населенных пунктов (водо-, газо- и теплоснабжение, канализация), объектов добычи, транспортировки нефти и газа и др. «По данным ООН, на расходы подземной части относят более 25% всего объема строительства»¹. В ведущих странах мира, в том числе, в США, Японии, Турции, Италии, России, Индии, Иране и др., особое внимание уделяется сейсмостойкости подземных трубопроводов.

С установлением независимости в республике, в сейсмических зонах, в которых развивается газовая, нефтяная промышленность, нефтехимия и многие др., проводятся широкомасштабные мероприятия направленные на обеспечение прочности подземных сооружений при воздействии сейсмических нагрузок. В этой отрасли проведены некоторые научно-исследовательские работы по разработке методики расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС) подземных трубопроводов при их продольном колебании, по определению расчетных характеристик взаимодействия трубопроводов с грунтом на базе экспериментальных исследований, а также по расчету НДС посредством аналитических методов. Это составляет одну из важнейших задач устранения последствий сильных землетрясений.

Усовершенствование численных методов решения задач сейсродинамики подземных трубопроводов, в мировом масштабе является актуальной задачей сейсмостойкости подземных трубопроводов. В этой области осуществление целенаправленных научных исследований служит приоритетной задачей, при этом весьма актуальны исследования по разработке новых методик по расчету НДС подземных систем жизнеобеспечения при различных сложных геометрических конфигурациях и различных грунтовых условиях, при сейсмическом воздействии произвольного направления на подземный трубопровод и широком применении современной компьютерной техники.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №УП-2791 от 19 декабря 2000 года «О дальнейшем реформировании системы управления коммунальным обслуживанием», №УП-5066 от 1 июня 2017 года «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» и Кабинета Министров Республики Узбекистан за №242 от 24 августа 2011 года «О дальнейшем совершенствовании государственной системы предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях Республики Узбекистан», а также и других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

¹ <https://link.springer.com/article/10.3103/S0025654415030073>

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Математика, механика и информатика» и XIV. «Сейсмология, сейсmobезопасность зданий, сооружений и строительство».

Степень изученности проблемы. Научные исследования по прочности подземных трубопроводов при сейсмических нагрузениях проведены такими крупными учеными мира, занимающимися сейсмостойкостью сооружений, как M.J. O'Rourke, L.R. Wang, N.M. Newmark, El. Hmadi, T. Takahashi, T. Tanaka, K. Yoshizaki, X.L. Liu, Д.Д. Баркан, В.А. Ильичев, Я.М. Айзенберг, А.Г. Назаров, А.Б. Айнбиндер, Ш.Г. Напетваридзе, А.С. Гехман, М.Ш. Исраилов, А.А. Александров, Р.А. Гумеров, Э.Н. Фигаров и др.

В нашей стране рядом ученых проведены научно-исследовательские работы по развитию повышения сейсмической прочности подземных трубопроводов, в том числе, академиком Т.Р. Рашидовым разработана динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ученые в этой области Г.Х. Хожметов, Я.Н. Мубараков, А.А. Ишанходжаев, Б.М. Мардонов, К.С. Султанов, Т. Мавлянов, Ш.М. Маматкулов, Б.Э. Хусанов, А. Каюмов, Х.С. Сагдиев, В.А. Омеляненко, А.Х. Маткаримов, М. Хазраткулов, С.Ф. Проскурина, А.Ю. Юсупов, З.Р. Тешабаев, У. Рахманов, Т.Т.Собиров, Е.Н. Колмакова (Кузьмина) и др. достигли определенных результатов по расчету подземных трубопроводов, учитывающих свойства грунта, глубину заложения, геометрические размеры сооружений, а также по учету взаимодействия труб с грунтовой средой и волнового характера воздействия.

В действующем нормативном документе (КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах», раздел IV «Подземные сооружения и инженерные сети») не содержится в достаточной степени сведений и специальных указаний по расчету напряженно-деформированного состояния подобных сооружений. Наряду с этим, как показывает анализ сейсmodинамики подземных трубопроводов зарубежных стран, в недостаточной мере изучены методы расчета.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института сейсмостойкости сооружений Ф4-ФА-Ф047 «Сейсmodинамика подземных трубопроводных систем сложной конфигурации, расположенных в грунтах с нарушенной структурой» фундаментального гранта (2012–2016 гг.) и ФА-А14-Ф019 «На основе инженерного анализа последствий мировых сильных землетрясений и новых исследований разработать рекомендации для

актуализации методов расчета и проектирования сейсмостойких подземных инженерных сооружений» прикладного гранта (2015–2017 гг.).

Целью исследования является разработка методики расчета сейсродинамики подземных трубопроводов со сложными условиями взаимодействия с грунтом.

Задачи исследования:

разработать методику численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов при продольных колебаниях с учетом линейного и нелинейного взаимодействий в системе «труба–грунт»;

разработать методику численного расчета напряженно-деформированного состояния сложных систем подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях с распределенными массами;

разработать методику численного расчета и математическое моделирование процесса сейсродинамики подземных трубопроводов ортогональной и неортогональной конфигураций;

определить узловые нагрузки при пересечении подземных трубопроводов ортогональной и неортогональной конфигураций;

провести многовариантные вычислительные эксперименты по исследованию динамики подземных трубопроводов различной конфигурации при различных сейсмических нагружениях для применения на практике.

Объектом исследования являются подземные трубопроводные системы различной конфигурации (водопроводы, газопроводы, нефтепроводы и др.), расположенные в сейсмических зонах.

Предмет исследования составляют процессы сейсродинамики подземных трубопроводов со сложными условиями взаимодействия с грунтом.

Методы исследования. В процессе исследования применены методы механики деформируемого твердого тела и строительной механики, математического моделирования, определения динамического параметра, для численного расчета – метод конечных разностей, методы вычислительного эксперимента.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

усовершенствованы методы решения по широкому применению приближенной численной методики к задачам сейсродинамики подземных трубопроводов;

разработана методика численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов при продольных колебаниях с учетом линейного и нелинейного взаимодействия в системе «труба–грунт»;

разработана методика численного расчета напряженно-деформированного состояния сложных систем подземных трубопроводов при воздействии сейсмических нагрузок с распределенными массами;

разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния для трубопроводных систем ортогональной и неортогональной конфигураций при произвольном направлении сейсмических нагрузок.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработан программный комплекс, позволяющий на основе вычислительных экспериментов автоматизировать процесс решения задач сейсмодинамики подземных трубопроводов, расположенных в сейсмических зонах («RPT-программа для расчета продольного колебания подземных трубопроводов при нелинейном взаимодействии с грунтом» №DGU 03282-2015 г.; «Программа расчета напряженно-деформированного состояния для сложных систем подземных трубопроводов при сейсмическом воздействии» №DGU 03648-2016 г.);

использование разработанной нами методики расчета подземного трубопровода в сейсмических зонах при проектировании (объект «Мундуз», Андижанской области и объект «Орзу», Наманганской области) способствовало повышению качества и эффективности работ, сократило время расчета в 2 раза, обеспечило устойчивость и запас прочности этих сооружений в 1,2 раза. Полученные результаты дают возможность уменьшить глубину заложения трубопроводов на 15–20% с учетом сейсмической интенсивности строительной площадки.

Достоверность результатов исследования обеспечивается корректностью применения приближенных численных методов для решения задач сейсмодинамики подземных трубопроводов, доказательством достоверности полученных результатов с использованием современных методов и средств, сопоставлением с известными результатами, а также сравнением результатов теоретических исследований с реальными данными, подтвержденными на практике.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость полученных результатов исследований подтверждается тем, что разработанная методика численного расчета и математические модели описывают процессы сейсмодинамики подземных трубопроводов различной конфигурации.

Практическая значимость результатов исследований подтверждается тем, что методика расчета сейсмодинамики подземных трубопроводов, вычислительные алгоритмы и комплексы программных средств в совокупности образуют единую концепцию формализации расчета сейсмодинамики подземных трубопроводов. Это существенно улучшает и ускоряет процесс проектирования и строительства указанных подземных трубопроводов (водо- и газоснабжение, нефтепроводы и др.) в сейсмических зонах, повышает качество работ, служит значительному снижению сейсмического риска, а также обеспечивает достижение стабильной работы жизнеобеспечивающих сложных систем, что предопределяет практическую значимость результатов исследования.

Внедрение результатов исследования. На основе научных данных исследования процесса сейсмодинамики подземных трубопроводов получены следующие результаты:

создана методика расчета подземных трубопроводов при произвольном направлении сейсмических нагрузок, результаты исследования внедрены в

процесс проектирования и эксплуатации подземных трубопроводов на предприятиях Государственного комитета по архитектуре и строительству ООО «Techno Engineering Expert» (акт внедрения от 25 мая 2016 года ООО «Techno Engineering Expert»). Результаты исследования в процессе проектирования способствовали сокращению времени расчета в 2 раза, обеспечению устойчивости и запаса прочности объекта в 1,2 раза;

разработана методика расчета, подземных трубопроводов сложной конфигурации в сейсмических зонах и внедрена при проектировании подземных трубопроводов на предприятиях Государственного комитета по архитектуре и строительству ООО «Таъмир-лойиҳа» (акт внедрения от 14 апреля 2016 года ООО «Таъмир-лойиҳа»). Внедрение научного результата дает возможность уменьшения глубины заложения трубопроводов на 15–20% с учетом сейсмической интенсивности строительной площадки;

разработана методика расчета, позволяющая рассчитывать подземные трубопроводы сложной конфигурации при произвольном сейсмическом нагружении в сейсмических зонах, и передана для использования в Министерстве по чрезвычайным ситуациям Республики Узбекистан в целях снижения возможного ущерба в инженерно-коммуникационных отраслях республики (справка – Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики за 2/4/15-1295 от 20 июля 2016 г.). Использование научных результатов в нефтегазовой отрасли позволяет предотвратить возможные последствия при техногенных и природных явлениях, перебои в отопительных системах и экологические проблемы.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 8 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 24 научных работы. Из них 9 научных статей, в том числе 5 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснованы достоверность полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость, освещены внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «Состояние изученности исследований сейсмостойкости подземных трубопроводов» произведен аналитический обзор современного состояния научной проблемы и изученности сейсродинамики подземных трубопроводов. Даются теоретические определения статического и динамического коэффициента взаимодействия трубопроводов с окружающим грунтом. Обосновываются экспериментальная изученность и результаты исследования подземных трубопроводов при динамических нагружениях.

В настоящее время за рубежом уже появились научно-исследовательские работы, в которых ставятся проблемы не только сейсмостойкости подземных сооружений, но и создания нормативных документов по их расчету и проектированию (Япония, США, Китай, РФ и др.). Этому способствовали, с одной стороны, активное развитие урбанизированных территорий, расширение сетей систем жизнеобеспечения, с другой – достаточное число сильных землетрясений в мире, которые являлись причиной разрушений в подземных сетях.

Ташкентское землетрясение также нанесло огромное количество повреждений и разрушений в подземных сетях жизнеобеспечения – водопроводах, канализации и др. Однако, как отмечено в работе, это наблюдается лишь в случае укладки труб в грунтах с определенной несущей способностью.

Почти всегда после землетрясений аварийность на трубопроводах возрастает. *В подземных сооружениях выход из строя одной части влияет на работоспособность всей системы.*

Главную проблему сейсродинамики подземных трубопроводов составляет моделирование взаимодействия в системе «труба-грунт». Основными параметрами, определяющими напряженное состояние систем жизнеобеспечения (подземных трубопроводов), являются коэффициенты взаимодействия этих сооружений с окружающим их грунтом. К ним относятся коэффициент равномерного сдвига трубопровода относительно грунта k_x , т.е. коэффициент сдвига трубопровода (формула Т.Р. Рашидова):

$$k_x = \left(\tilde{\alpha} \frac{G_B}{100\tilde{B}} + \tilde{\beta} \right) \cdot 10^2, \quad (1)$$

где $\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}$ – коэффициенты, зависящие от грунтовых условий; G_B – вертикальное давление грунта на погонную длину трубы; \tilde{B} – ширина траншеи при траншейной укладке трубопровода.

Определен динамический коэффициент взаимодействия трубопроводов с окружающим грунтом

$$k_x^{стат} = \frac{4\pi^2 m}{\pi D_H T^2} \frac{p^2}{\omega^2} \text{ или } k_x^{стат} = k_x^{дин} \cdot \eta, \quad (2)$$

где $\eta = \frac{p^2}{\omega^2}$.

Во второй главе диссертации «**Продольные колебания подземных трубопроводов при линейном и нелинейном взаимодействии в системе «труба–грунт»**» рассматриваются простые традиционные задачи о продольных колебаниях подземных трубопроводов при линейном и нелинейном взаимодействии в системе «труба–грунт». Описывается методика расчета колебаний подземного трубопровода при нелинейном взаимодействии с грунтом. Разрабатываются алгоритм компьютерной реализации и решение задач напряженно-деформируемого состояния подземных трубопроводов при нелинейном взаимодействии с окружающим грунтом. Производится анализ решения задачи с различными граничными условиями и различными законами взаимодействия.

Зависимость касательного усилия τ_a на контакте поверхности сооружения с грунтом от величины относительного смещения $u - u_0$ и скорости относительного смещения $\dot{u} - \dot{u}_0$ в общем виде запишется как

$$\tau_a = k_x(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)] + \mu(\dot{u} - \dot{u}_0)[1 - \bar{\omega}(\dot{u} - \dot{u}_0)] + \dots \quad (3)$$

где $k_x, \mu, \omega, \bar{\omega}$ – параметры, характеризующие упругие, вязкие и пластические свойства взаимодействия с грунтом, зависящие от характеристик грунта, сооружения и вида нагружения и определяемые экспериментально; $\omega(u - u_0)$ – можно принять как функцию пластичности А.А. Ильюшина, характеризующую нелинейные свойства взаимодействия.

Однако в случае динамических (в частности, сейсмических) воздействий, характеризующихся быстрой сменой нагружения – разгрузки, более существенной оказывается составляющая, учитывающая упруго-пластические свойства взаимодействия

$$\tau_a = k_x(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)]. \quad (4)$$

Здесь τ_a – касательное напряжение, u – абсолютное перемещение трубы, u_0 – закон движения грунта при землетрясении.

В случае билинейного закона взаимодействия для функции пластичности $\omega(u - u_0)$ имеем:

в стадии нагрузки

$$\begin{aligned} \omega(u - u_0) &= 0 \text{ при } u - u_0 \leq u_s, \\ \omega(u - u_0) &= \tilde{\lambda} \left(1 - \frac{u_s}{u - u_0} \right) \text{ при } u_s \leq u - u_0 \leq u_p, \end{aligned}$$

в стадии разгрузки

$$\omega(u - u_0) = \tilde{\lambda} \frac{u_p - u_s}{u - u_0} \text{ при } u - u_0 \geq u_p,$$

где $\tilde{\lambda} = (k_x - k'_x)/k_x$, k_x , k'_x – коэффициенты мгновенного сдвига соответственно в упругой и пластической стадиях взаимодействия, u_s, u_p –

перемещения трубопровода относительно грунта в начале пластической нагрузки и разгрузки соответственно.

Если учитываем касательное напряжение (4), то дифференциальное уравнение колебаний подземного трубопровода примет вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a_T^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b^2(u - u_0)[1 - \omega(u - u_0)] = 0. \quad (5)$$

Для решения уравнения (5) использован метод конечных разностей второго порядка точности. В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

Задача 1. Рассмотрено напряженно-деформированное состояние чугунного трубопровода с податливыми концами при продольном сейсмическом воздействии с учетом нелинейности взаимодействия.

Механические, геометрические параметры трубопровода и грунта задаем следующими: $D_H=0.5$ м; $D_B=0.49$ м; $l=100$ м; $k_x=1 \cdot 10^4$ кН/м³; закон движения грунта имеет вид: $u_0=a_0 \cdot \sin \omega(t-x/C_p)$; $a_0=0.001$ м; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с; $C_p=800$ м/с; коэффициент жесткости стыка $K_N=29 \cdot 10^4$ кН/м; $u_s=0.0001$ м; $\tilde{\lambda} = 0.2$.

На основе разработанного алгоритма выполнена компьютерная реализация задачи, результаты которой приведены на рис.1, где показано изменение значения продольного перемещения и нормального напряжения вдоль оси трубопровода при заданном времени.

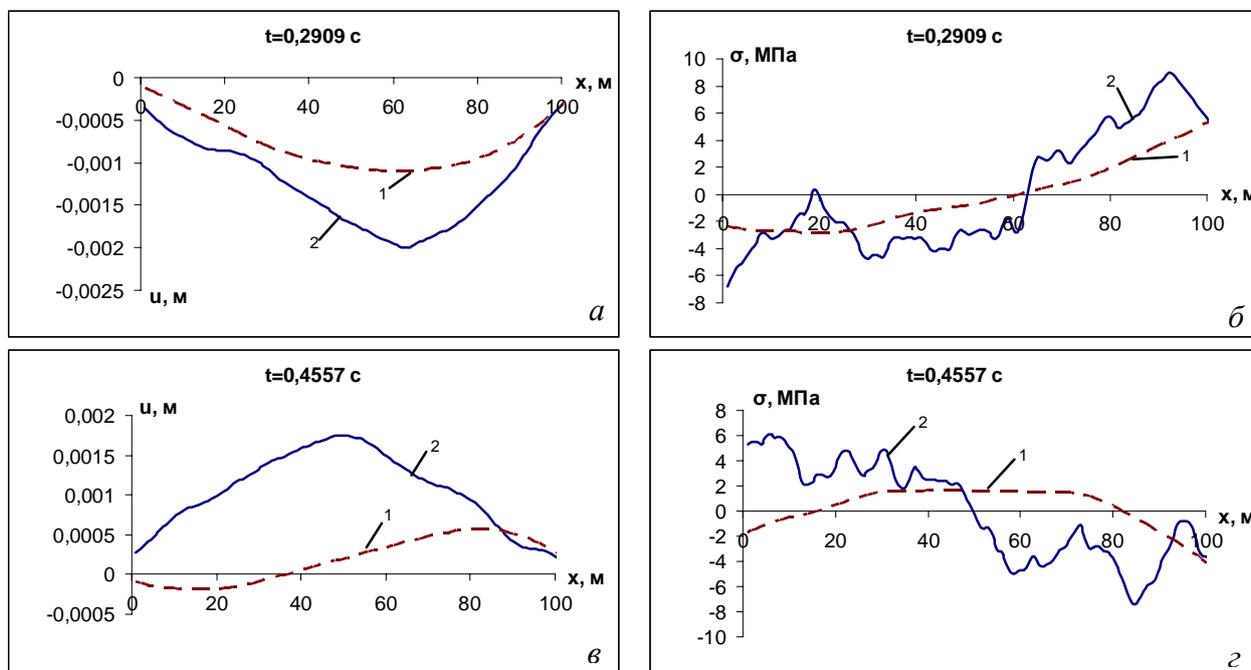


Рис.1. Изменение продольных перемещений и напряжений вдоль осей трубопроводов при заданном времени: 1–линейное взаимодействие; 2–нелинейное взаимодействие

В табл.1 даются абсолютные максимальные значения продольных напряжений в трубопроводе при воздействии различных типов волн на стальных и чугунных трубопроводах.

Как установлено, здесь абсолютные максимальные значения напряжений при нелинейном взаимодействии трубопровода с грунтом всегда больше, чем при упругом взаимодействии (см. рис.1, табл.1).

Таблица 1

Максимальные напряжения подземного трубопровода, МПа

Балл	Типы волны	Сталь		Чугун	
		линейные взаимо- действия	нелинейные взаимо- действия	линейные взаимо- действия	нелинейные взаимо- действия
7	<i>Синусоидальные волны</i>	43.65895	44.8284	35.28842	39.3207
	<i>Бегущие волны</i>	65.85012	70.14736	51.79212	64.481
8	<i>Синусоидальные волны</i>	76.4068	81.9358	63.94046	70.4899
	<i>Бегущие волны</i>	115.2249	122.7579	82.24973	118.531

Сравнительный анализ показывает, что учет нелинейности взаимодействия трубопровода с грунтом в общем приводит к увеличению значения нормального напряжения трубопровода.

В третьей главе диссертации «**Решение задач динамики сложных систем подземных трубопроводов при сейсмическом нагружении**» решаются задачи сейсмодинамики сложных систем подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях с сосредоточенными и распределенными массами. Рассматриваются дифференциальные уравнения движения сложных систем подземных сооружений при сейсмических воздействиях. Учитывается податливость соединения узла. Разрабатываются компьютерная реализация и соответствующий комплекс программ.

Система уравнений решается методом конечных разностей. На основе использованного метода конечных разностей получены численные результаты и представлены в виде графиков. Для проверки достоверности полученные нами результаты сравниваются с ранее полученными результатами. Использованные схемы расчета позволили решить ряд новых задач по сейсмодинамике подземных трубопроводов.

Упрощенный метод исследования сейсмодинамики сложных подземных систем сводит общую задачу к независимым задачам продольного движения основных трубопроводов с усложненными условиями стыковки в узлах и приближает ее к достаточно изученной задаче продольного колебания подземного трубопровода.

В частном случае при $I_y=I_z=0$ ($I_y=I_z=0$ момент инерции в узле),

$$\begin{cases} -\rho F \frac{\partial^2 u'}{\partial t^2} + EF \frac{\partial^2 u'}{\partial x^2} - 2\pi R k_x (u' - u_0) = 0, \\ -\rho_1 F_1 \frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + EF \frac{\partial u'}{\partial x} - EF \frac{\partial u''}{\partial x} - 2\pi R_{uz} H_{uz} k_x^{uz} (u^0 - u_0) = 0, \\ -\rho F \frac{\partial^2 u''}{\partial t^2} + EF \frac{\partial^2 u''}{\partial x^2} - 2\pi R k_x (u'' - u_0) = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Система дифференциальных уравнений (6) с учетом граничных условий решается методом конечных разностей. В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

Задача 2. Рассмотрим чугунный подземный трубопровод с заземленными концами. Механические и геометрические параметры подземного трубопровода и грунта выбираем в следующем виде: $D_H=0.4$ м; $D_B=0.39$ м; $l=20$ м; $k_x=1 \cdot 10^4$ кН/м³. Для колодца: $E=2.5 \cdot 10^4$ МПа; $D_{H uz}=1.2$ м; $D_{B uz}=1.1$ м; $H_{uz}=1$ м; $k_x^{uz}=2 \cdot 10^4$ кН/м³; $u_0=a_0 \cdot \sin \omega t$; $a_0=0.002$ м; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с.

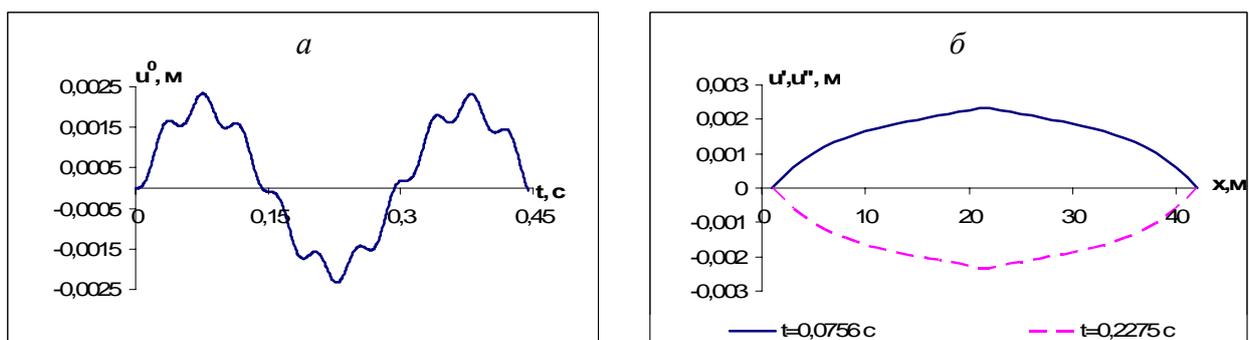


Рис.2. Изменение перемещения узла по времени (а) и вдоль координатной оси x при синусоидальном нагружении (б)

На рис.2, *a* приводятся результаты продольного смещения узла при воздействии сейсмической нагрузки вдоль оси трубопровода, изменяющейся по закону синусоиды, а на рис.2, *б* – изменение перемещения трубопроводов вдоль оси координат x при заданном времени. Если исходить из рис.2, *a*, *б*, максимальные смещения трубопроводов соответствуют максимальным смещениям узла.

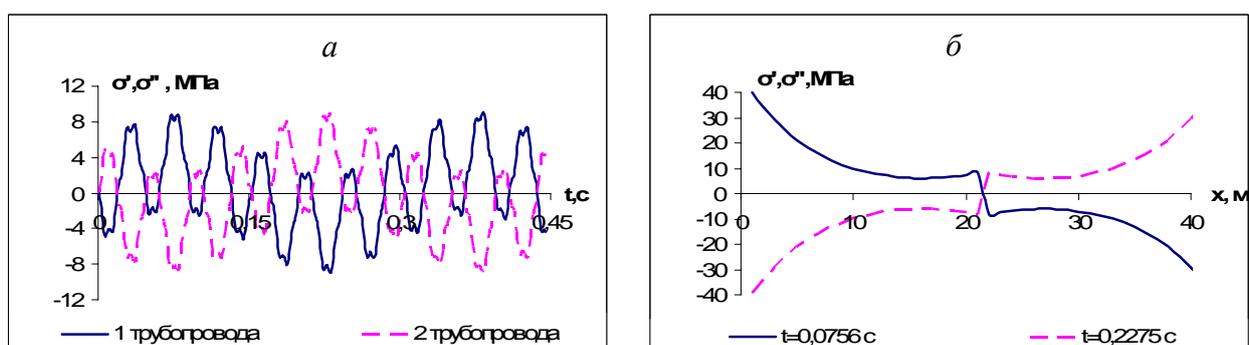


Рис.3. Изменение напряжений трубопроводов около узла по времени и оси координат x при синусоидальном нагружении

На рис.3, а приводится изменение напряжений трубопроводов около узла. Согласно рис.3, а, напряжение в трубопроводах имеет противоположные знаки, т.е., если первый трубопровод работает на растяжение, то второй – на сжатие (см. рис.3, а). Этот случай подтверждается на рис.3, б: при заданном времени максимальные значения напряжений здесь достигаются на заземленных концах трубопроводов.

В рассматриваемых задачах значения максимальных перемещений трубопроводов достигаются около узла и равняются перемещениям узла. Максимальный эффект взаимодействия с грунтом сосредоточивается в узловых участках трубопровода.

Разработанная прикладная программа для компьютера позволяет получить ряд численных результатов в зависимости от параметров трубопровода, узла, грунтовых условий и разных закреплений концов при разных сейсмических воздействиях. Тем самым появляется возможность автоматизировать исследования напряженно-деформируемого состояния трубопроводов в узле при направлении сейсмического воздействия вдоль оси трубопровода.

В четвертой главе диссертации «Сейсмодинамика подземных трубопроводов ортогональной и неортогональной конфигураций» рассматривается решение задач сейсмодинамики подземных трубопроводов ортогональной и неортогональной конфигураций. Описываются системы дифференциальных уравнений с граничными и начальными условиями. Решен ряд задач с анализом численных результатов сейсмодинамики подземных трубопроводов сложной конфигурации. Разработаны методики и компьютерная реализация решения задач сейсмодинамики подземных трубопроводов при ортогональной и неортогональной конфигурациях с численным исследованием.

В последнее время внимание уделяется, в основном, сейсмостойкости трубопроводов различной (Г-, Т-, П- и V-образные) конфигурации.

Проведенные нами исследования направлены на решение проблемы оценки напряженно-деформируемого состояния Г-образных (рис.4) трубопроводов при сейсмических нагрузках, направленных произвольно относительно главных осей конструкции. В деталях рассматриваются разработанные математические модели, алгоритмы и комплекс прикладных программ (НДС Т-, П-образных трубопроводов можно рассмотреть аналогично).

При этом получим систему дифференциальных уравнений (рис.4, $I \rightarrow \bar{x}$ для первого трубопровода, $II \rightarrow \bar{y}$ для второго трубопровода уравнения

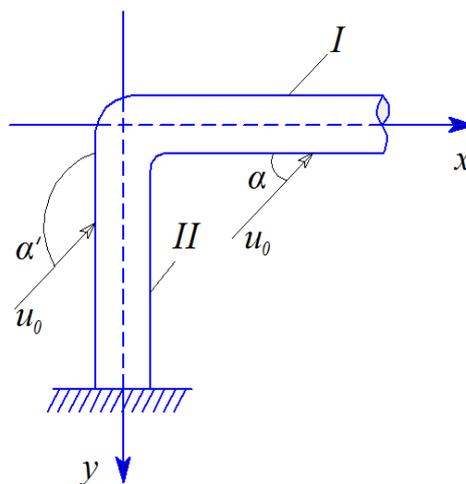


Рис.4. Участок трубопровода Г-образной конфигурации: I–трубопровод; II–трубопровод (в плоскости)

записываются повторно), граничные и начальные условия в безразмерной векторной форме:

$$M \frac{\partial^2 U}{\partial \bar{t}^2} + A \frac{\partial^2 U}{\partial \bar{x}^2} + B \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + CU = U_0 \begin{pmatrix} I \rightarrow II \\ \bar{x} \rightarrow \bar{y} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$\left[\bar{A} \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + \bar{B}U + \bar{C}\bar{U}_0 \right]_{\bar{x}=0} = 0, \quad \left[\bar{A}_1 \frac{\partial U}{\partial \bar{x}} + \bar{B}_1U \right]_{\bar{x}=1} = 0, \quad (8)$$

$$\left[\bar{A} \frac{\partial U}{\partial \bar{y}} + \bar{B}U + \bar{C}\bar{U}_0 \right]_{\bar{y}=0} = 0, \quad U|_{\bar{y}=1} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \bar{t}} \delta U \Big|_{\bar{t}} = 0. \quad (10)$$

где $M, A, B, C, \bar{A}, \bar{A}_1, \bar{B}, \bar{B}_1, \bar{C}, \bar{C}$ – матрицы третьего порядка.

Задача 3. В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Механические и геометрические параметры выбираем в следующем виде: $E=2 \cdot 10^5$ МПа; $D_H=0.40$ м; $D_B=0.392$ м; $u_0=a_0 \cdot e^{-\varepsilon(t-f(x,y)/C_p)} \cdot \sin \omega(t-f(x,y)/C_p)$; $a_0=0.004$ м; $\varepsilon=0.5$ с⁻¹; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с; $C_p=1500$ м/с; $l=100$ м; $k_x=3 \cdot 10^4$ кН/м³; $\mu_{грунт}=0.2$; $\mu_{труба}=0.3$; $f(x,y)=x \cdot \cos \alpha - y \cdot \sin \alpha$; $\alpha=30^\circ$; $\alpha'=120^\circ$.

Результаты решения задач приводятся в виде графиков. На рис.5 проиллюстрировано изменение значения продольного u и поперечного v перемещения подземных трубопроводов I и II в точке пересечения этих трубопроводов ($x=0, y=0$) по времени.

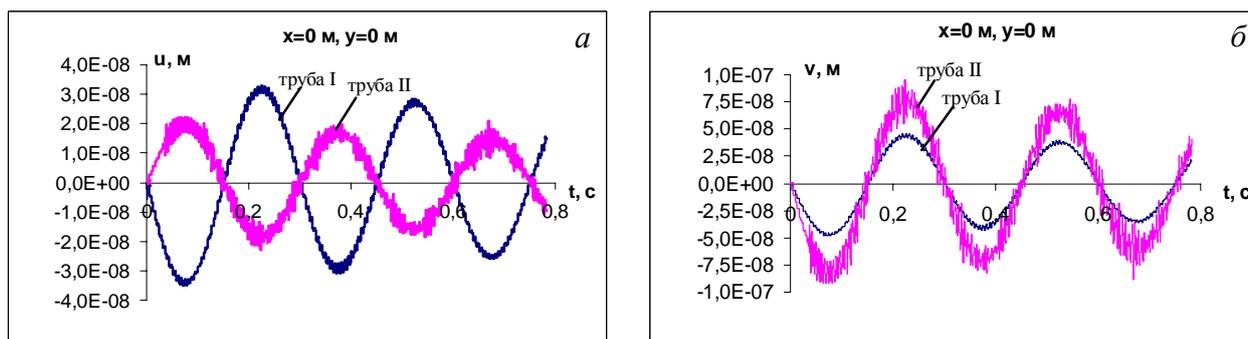


Рис.5. Изменение продольных (а) и поперечных (б) перемещений по времени в точке пересечения трубопроводов I и II

Если исходить из рис.5, то колебания имеют гармонический характер и гасятся по времени с местными всплесками, особенно у подземного трубопровода II. Колебания продольного смещения трубопроводов I и II в точке пересечения труб имеют противоположные фазы. Фазы поперечного колебания в точке пересечения труб I и II совпадают (см. рис.5).

На рис.6 приводится изменение значения продольного u и поперечного v перемещений подземных трубопроводов I и II вдоль оси трубопроводов при заданном времени. В данный момент времени подземный трубопровод I работает на растяжение, а подземный трубопровод II – на сжатие. Оба подземных трубопроводов изгибаются в положительных направлениях. Значения прогиба II трубопровода в его середине почти в два раза больше, чем у трубопровода I.

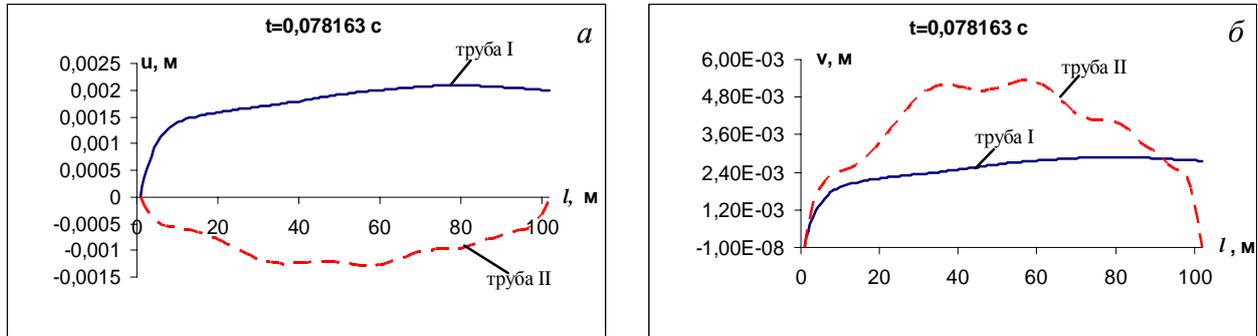


Рис.6. Изменение продольных (а) и поперечных (б) перемещений вдоль осей трубопроводов при заданном времени

На рис.7 приводится изменение значения продольного σ_{11} и касательного σ_{12} напряжения по времени на пересечении подземных трубопроводов ($x=0, y=0$). Если исходить из рис.7, колебания напряжений имеют гармонический характер и гасятся с истечением времени с местными всплесками, особенно труба II. Фазы колебания продольного напряжения труб I и II не совпадают, а касательного – совпадают.

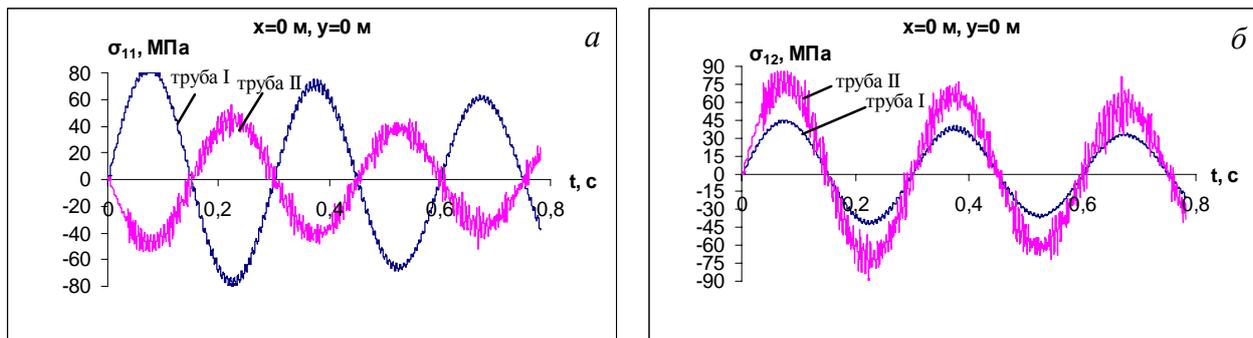


Рис.7. Изменение нормального (а) и касательного (б) напряжений по времени в точке пересечения трубопроводов I и II

На рис.8 приводится изменение значения продольного σ_{11} и касательного σ_{12} напряжений при заданном времени вдоль оси трубопровода. Если исходить из рис.8, максимальные абсолютные значения продольного σ_{11} и касательного σ_{12} напряжений достигаются на пересечении трубопроводов I и II и на заземленном конце трубопровода II.

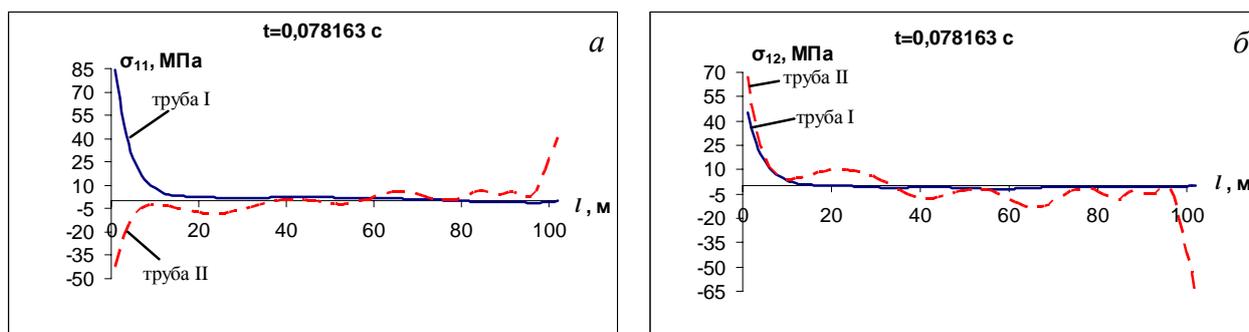


Рис.8. Изменение значений нормального (а) и касательного (б) напряжений вдоль осей трубопроводов при заданном времени

Полученные результаты подземных трубопроводов неортогональной конфигурации. Графическая зависимость удельной аварийности с учетом изменения углов направленности трубопроводов в грунте показана на рис.9. Результаты исследования, полученные японскими специалистами по последствиям землетрясений, приводятся на рис.9, на рис.10 – данные на основе наших расчетов. Если сравнить полученные результаты с последствиями землетрясений, то наши результаты подтверждаются. Таким образом, увеличение углов между трубопроводами приводит к увеличению напряжений на трубопроводе.

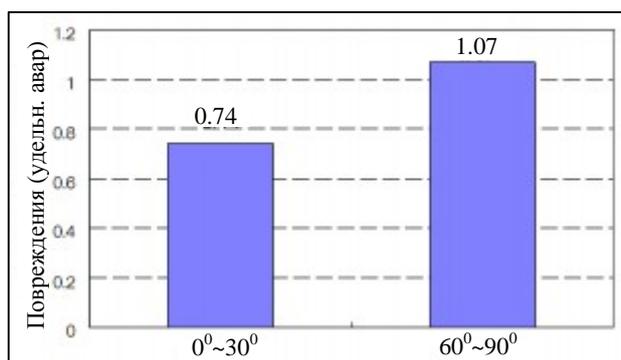


Рис.9. Зависимость уязвимости трубопроводов от изменения угла между трубами при неортогональных соединениях

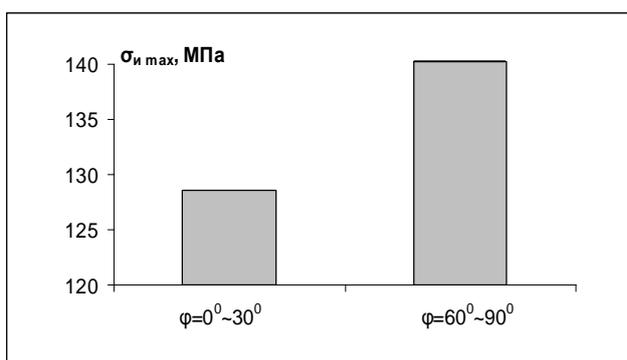


Рис.10. Изменение значений максимальной интенсивности нормальных напряжений в зависимости от изменения угла между трубами (8 баллов)

Универсальность разработанного расчетного алгоритма и программы позволили получить новые результаты, которые являются основой для широких исследований НДС трубопроводов сложной конфигурации ортогональной и неортогональной стыковок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему «Сейсמודинамика подземных трубопроводов со сложными условиями взаимодействия с грунтом» сформулированы следующие выводы:

1. Разработаны численные вычислительные методики и программные продукты по расчету напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводов, уложенных в естественных грунтах. Построены методики и программы расчета с учетом грунтовых условий, в том числе учитывающих глубину заложения, геометрию, закрепления концов трубопроводов при решении задач сейсмостойкости.

2. Каждый конкретный случай доведен до числовых значений, определяются опасные сечения возникновения максимальных нормальных напряжений при воздействии сейсмических нагрузок на подземный трубопровод. С целью доказательства достоверности выбранного численного метода проведен анализ в сравнительном аспекте полученных результатов с ранее решенными (Подсчитанные значения отличаются на 5–10% относительно подсчитанных значений по КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах»).

3. Выведены совместные уравнения продольных и поперечных колебаний Г-, V-образного трубопровода при действии сейсмической нагрузки в произвольном направлении. Определены узловые нагрузки подземных трубопроводов сложной конфигурации с учетом податливости узлов присоединения трубопроводов. Это имеет особое значение при определении сейсмической прочности подземных трубопроводов в сложных конфигурациях.

4. Универсальность разработанного расчетного алгоритма и программы будут являться основой для широких исследований НДС трубопроводов сложной конфигурации ортогональной и неортогональной стыковок.

5. Получен ряд численных результатов в зависимости от угла падения сейсмической нагрузки. Создана схема исследований НДС систем подземных трубопроводов с ортогональной и неортогональной конфигурациями в условиях землетрясения.

Проведенные теоретические и вычислительно-экспериментальные исследования решают проблемы оценки напряженно-деформируемого состояния Г-, V-образных трубопроводов при сейсмических нагружениях, направленных произвольно относительно главных осей конструкции.

6. Выполненная работа является первым приближением при рассмотрении комплекса задач и открывает перспективу исследования поведения трубопроводов сложной (Г-, Г- и V-образной) конфигурации. Представленные методы и программные средства обеспечивают комплексный анализ прочности подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях.

7. Практическая важность результатов непосредственно вытекает из самой постановки задач. Поэтому научно-исследовательские работы не только завершены алгоритмами и программами расчета на компьютерах, но доведены до конечных практических результатов. Они позволяют существенно дополнить нормативный документ КМК 2.01.03-96 «Строительство в сейсмических районах», раздел IV «Подземные сооружения и инженерные сети».

8. Полученные результаты, в частности, использованы при проектировании подземных трубопроводов (объекты «Мундуз» Андижанской области и «Орзу» Наманганской области), что способствовало повышению качества и эффективности подземных работ на 15%, сокращению времени расчета в 2 раза и обеспечению устойчивости и запаса прочности объекта на 1,2 раза. В рамках внедрения получена экономическая эффективность в размере 142 млн 809 тыс. сум (акты внедрения от 14.04.2016 г. и 25.05.2016 г.).

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T.09.01 AT TASHKENT INSTITUTE OF DESIGN,
CONSTRUCTION AND MAINTENANCE OF AUTOMOTIVE ROADS
AND TURIN POLYTECHNICAL UNIVERSITY IN TASHKENT**

INSTITUTE OF SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES

BEKMIRZAEV DIYORBЕК ABDUGAPPOROVICH

**SEISMODYNAMICS OF UNDERGROUND PIPELINES WITH COMPLEX
CONDITIONS OF INTERACTION WITH SOIL**

**05.09.02 – Basements, foundations and underground structures. Bridges and transport
tunnels. Roads, subways**

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

TASHKENT – 2017

The subject of doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan № B2017.1.PhD/T.16.

The dissertation is carried out at Institute of Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on web-page of Scientific Council at the address (www.tayi.uz) and information-educational portal Ziyonet at the address (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser:	Rashidov Tursunbay doctor of technical sciences, professor, academician
Official opponents:	Rasulov Hayat Zayirovich doctor of technical sciences, professor Raxmanov Usarkul doctor of philosophy, docent
Leading organization:	Ferghana Polytechnic Institute

The defense of the dissertation will take place on «_____» _____ 2017 at ____ o'clock at a meeting of Scientific Council DSc.27.06.2017.T.09.01 at Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads and Turin Polytechnical University in Tashkent. (Address: 100060, Tashkent, A.Temur prospect, 20. Phone/fax (99871) 232-14-79; e-mail: tadi_info@edu.uz.)

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center (IRC) of Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads (registration number _____). (Address: 100060, Tashkent, A.Temur prospect, 20. Phone (99871) 227-10-32.)

Abstract of the dissertation sent out on «_____» _____ 2017 year
(mailing report № _____ on «_____» _____ 2017 year)

A.A. Riskulov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, docent

A.M. Baboev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy

A.A. Ishankhodzhaev
Chairman of the academic seminar under
the scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is the development of a technique for calculating the seismodynamics of underground pipelines with complex conditions of interaction with soil.

The tasks of research: to develop a methodology for the numerical calculation of stress-strain state of underground pipelines under longitudinal oscillations taking into account linear and nonlinear interactions in the “pipe-soil” system; to develop a technique for the numerical calculation of stress-strain state of complex systems of underground pipelines under seismic effects with distributed masses; to develop a numerical calculation technique and mathematical modeling of the process of seismodynamics of underground pipelines of orthogonal and nonorthogonal configurations; to determine the nodal loads at the intersection of underground pipelines of orthogonal and non-orthogonal configuration; carry out multivariate computational experiments to study the dynamics of underground pipelines of various configurations and various seismic loads for application in practice.

The object of the research work is the underground piping of different configuration support systems (water pipelines, gas pipelines, oil pipelines and others) under seismic loading.

Scientific novelty of the research work consists in the following: solution techniques for wide application of approximate numerical methods to the problems of seismodynamics of underground pipelines are improved; a technique for calculating stress-strain state (SSS) of underground pipelines under longitudinal oscillations is developed, it takes into account the linear and nonlinear interactions in “pipe-soil” system; a technique for calculating stress-strain state of complex systems of underground pipelines under the influence of seismic loads with distributed masses is developed; a technique for calculating stress-strain state for pipeline systems of orthogonal and non-orthogonal configurations is developed for an arbitrary direction of seismic loads.

The outline of the thesis. Based on the conducted research on the thesis of the doctor of philosophy (PhD) on “Seismodynamics of underground pipelines with complex conditions of interaction with soil”, the following conclusions are presented:

A numerical method and software products for calculating the stress-strain state of underground pipelines laid in natural soils have been developed. The methodologies and calculation programs were developed taking into account the ground conditions, including taking into account the depth of the deposit, geometry, fixing the ends of the pipelines in solving problems of seismic resistance.

Each case is brought to numerical values, dangerous sections are defined for the occurrence of maximum normal stresses under the influence of seismic loads on the underground pipeline. In order to prove the reliability of the chosen numerical method, the results are compared in a comparative way with the previously solved ones. (the calculated values differ by 5-10% relative to the

calculated values for document KMK 2.01.03-96 “Construction in seismic regions”, division IV “Underground structures and engineering networks”).

The combined equations of longitudinal and transverse oscillations of the Γ - and V-shaped pipeline are derived under the action of a seismic load in an arbitrary direction. Nodal loads of underground pipelines of a complex configuration are determined taking into account the compliance of the pipelines joining units. This is of particular importance in determining the seismic strength of underground pipelines in complex configurations.

The versatility of the developed calculation algorithm and program will be the basis for extensive studies of SSS pipelines with a complex configuration of orthogonal and non-orthogonal docking.

A number of numerical results are obtained depending on the angle of incidence of the seismic load. The scheme of research of the SSS of systems of underground pipelines with orthogonal and non-orthogonal configuration in conditions of earthquake is created.

The theoretical and computational-experimental studies solve the problems of estimating the stress-strain state of Γ - and V-shaped pipelines under seismic loads directed arbitrarily with respect to the main axes of the structure.

The performed work is the first approximation when considering a set of tasks and opens the prospect of studying the behavior of pipelines of a complex (T-, Γ - and V-type) configurations. The presented methods and software provide a comprehensive analysis of the strength of underground pipelines under seismic influences.

The practical importance of the results follows directly from the very formulation of problems. Therefore, the research work is not only completed by algorithms and computer calculation programs, but is brought to the final practical results. They allow to significantly supplement the normative document KMK 2.01.03-96 “Construction in seismic regions”, division IV “Underground structures and engineering networks”.

Results obtained are implemented, in particular, in projecting of underground pipelines (objects “Munduz” Andijan district, “Orzu” Namangan district); this gives 15% increase in quality and efficiency of underground works, 2 times decrease in design time, 1,2 times increase in stability and margin of strength of the object. Economic benefit from the implementation of the object is 142 mln 809 thousand soum (implementation acts on 14.04.2016 and 25.05.2016).

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Бекмирзаев Д.А. Ер ости кувурларини зилзилабардошлигини сонли-такрибий усуллар ёрдамида тахлил қилиш ва аналитик ечимлар билан солиштириш // «Механика муаммолари» Ўзбекистон журнали. – Тошкент, 2012. – №3. – Б. 76–79. (05.00.00; №6).
2. Бекмирзаев Д.А. Ер ости кувурлари сейсmodинамикасининг баъзи масалаларини сонли усуллар ёрдамида тадқиқ этиш // «Механика муаммолари» Ўзбекистон журнали. – Тошкент, 2013. – №3-4. – Б. 23–27. (05.00.00; № 6).
3. Бекмирзаев Д.А., Юлдашев Т. Сейсмик куч таъсирида ер ости кувурларини кучланганлик деформация ҳолатларини тадқиқ этиш // «Механика муаммолари» Ўзбекистон журнали. – Тошкент, 2013. – №1. – Б. 92–96. (05.00.00; №6).
4. Бекмирзаев Д.А. Задачи сейсmodинамики подземных трубопроводов при нелинейном взаимодействии с грунтом // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2014. – №1. – С. 13–18. (05.00.00; №6).
5. Бекмирзаев Д.А., Нишонov Н.А. Сейсmodинамика подземных составных трубопроводов при нелинейных взаимодействиях с грунтом // Проблемы архитектуры и строительства. – Самарканд, 2015. – № 3. – С. 120 – 124. (05.00.00; №14).
6. Рашидов Т.Р., Бекмирзаев Д.А. Численный метод в исследовании сейсmodинамики сложных систем подземных трубопроводов // Известия МГТУ «МАМИ». Естественные науки. – Москва, 2015. – Т. 4. – № 4(26). – С. 100–105. (05.00.00; №37).
7. Bekmirzaev D.A., Xusainov R.B., Kamilova R.A. Design methods of seismodynamics of complex systems of underground pipelines // European science review. – Austria, 2016. – № 3-4. – Pp. 280-283. (05.00.00; № 3).
8. Рашидов Т.Р., Бекмирзаев Д.А. Сейсmodинамические задачи подземных трубопроводов сложной конфигурации // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – Москва, 2015. – № 3. – С. 33–37.
9. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т. Бекмирзаев Д.А., Ан Е.В., Нишонov Н.А. Современные проблемы сейсmodинамики подземных трубопроводных систем жизнеобеспечения и направление дальнейших исследований // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – Киргизия, 2016. –№1(51). – С. 419–427.
10. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Бекмирзаев Д.А. RPT-программа для расчета продольного колебания подземных трубопроводов при нелинейном взаимодействии с грунтом // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 03282. 24.07.2015 г.
11. Рашидов Т.Р., Бекмирзаев Д.А. Программа расчета напряженно-деформированного состояния для сложных систем подземных

- трубопроводов при сейсмическом воздействии // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 03648. 11.04.2016 г.
12. Бекмирзаев Д.А. Сеймик куч таъсирида ер ости кувурларини грунт билан чизиксиз ўзаро таъсирлари хақида // ФА 70 йиллигига бағишланган ёш олимлар Республика илмий-амалий конференцияси. 2013 й. – Тошкент, 2013. – Б. 124.
13. Бекмирзаев Д.А., Юлдашев Т. Ер ости кувурларини зилзила вақтида ишлашини ифодаловчи масалаларни қўйилиши ва ечиш алгоритми // «Материаллар, конструкциялар, грунтлар механикаси ва реологик мураккаб системаларнинг долзарб муаммолари». Халқаро илмий-техник конференция материаллари. 19-20 апрель 2013 й. – Самарқанд, 2013. – Б. 277-282.
14. Бекмирзаев Д.А., Нишонов Н.А., Юлдашев Т. Метод конечных разностей в сейсмодинамике трубопроводов, взаимодействующих с грунтом // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение». – Спб., 2014. – С. 574–580.
15. Бекмирзаев Д.А., Юлдашев Т. Математические модели и алгоритмы решения задач сложных систем подземных сооружений // «Информатика: проблемы, методология, технологии». XIV Международной конференции. 6–8 февраля 2014 г. – Воронеж, 2014. – С. 74–77.
16. Рашидов Т.Р., Бекмирзаев Д.А. Зилзила таъсирда ер ости кувурларини бўйлама тебраниши масалаларини дастурий таъминоти хақида // «Курилишда геотехника масалаларини замонавий усуллари ва технологияси». Илмий амалий анжуман. 29-30 октябрь 2014 й. – Тошкент, 2014. – Б. 165-169.
17. Бекмирзаев Д.А. Решение нелинейных задач сейсмодинамики подземных трубопроводов // Наука, образование, инновации: пути развития. Материалы Шестой всероссийской научно-практической конференции. 21–24 апреля 2015 г. – Петропавловск-Камчатский, 2015. – С. 9–13.
18. Бекмирзаев Д.А., Юлдашев Т. Решение задачи подземных трубопроводов при воздействии продольной сейсмической нагрузки // «Информатика: проблемы, методология, технологии». XV Международной конференции. 12–13 февраля 2015 г. – Воронеж, 2015. – С. 39 – 43.
19. Рашидов Т.Р., Бекмирзаев Д.А. Решение задачи при прохождении стационарной волны вдоль подземного трубопровода // Современные строительные материалы, технологии и конструкции. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВПО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова». 24–26 марта 2015 г. Грозный, 2015. Том 2. – С. 316–325.
20. Рашидов Т.Р., Юсупов А.Ю., Бекмирзаев Д.А. Математическое моделирование сейсмодинамики подземных трубопроводов сложной конфигурации // Проблемы механики и строительства транспортных сооружений. Труды II Международной научно-практической конференции. – Алматы, 2015. – С. 464 – 468

21. Бекмирзаев Д.А., Юлдашев Т. Решение задачи сейсродинамика подземных трубопроводов ортогональной конфигураций // Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела. Материалы VIII Международного научного симпозиума. 9–11 декабря 2015 г. – Тверь, 2015. – С. 98–103.
22. Бекмирзаев Д.А., Камилова Р. Ер ости кувурлари сейсродинамикаси масалаларининг умумий таҳлили // «Ўзбекистон Республикаси автомобиль транспорти ва йўл хўжалиги корхоналари ривожланишида ёш мутахассисларнинг ўрни». Республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами. – Т.: «Иқтисод-молия», 2015. – С. 338–341.
23. Бекмирзаев Д.А. Исследование сейсродинамики подземных трубопроводов с учетом нелинейного взаимодействия в системе «труба-грунт» по модели А.А. Ильющина и Т. Рашидова // Упругость и неупругость. Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел. – М.: Издательство Московского университета, 2016. – С. 281–282.
24. Бекмирзаев Д.А. Алгоритмы решения задач сложных систем подземных трубопроводов при воздействии сейсмических нагрузок // «Информатика: проблемы, методология, технологии». XVI Международной конференции. 11–12 февраля 2016 г. – Воронеж, 2016. – С. 275–278.

Автореферат «Механика муаммолари» Ўзбекистон журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларини мослиги текширилди (28.06.2017 й.).

Бичими $60 \times 84^{1/16}$. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 25.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.

