

**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**

НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

НИШОНОВ НЕЪМАТИЛЛА АСАТИЛЛАЕВИЧ

**ЎЗГАРУВЧАН ЎЗАРО ТАЪСИР КОЭФФИЦИЕНТЛИ
ЕР ОСТИ ПОЛИМЕР ҚУВУРЛАРИНИНГ СЕЙСМОДИНАМИКАСИ**

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

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

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

Нишонов Неъматилла Асатиллаевич

Ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер
кувурларининг сейсмодинамикаси.....3

Нишонов Неъматилла Асатиллаевич

Сейсмодинамика подземных полимерных трубопроводов
с переменными коэффициентами взаимодействия.....21

Nishonov Nematilla Asatillayevich

Seismic Behavior of Underground Polymer Piping
with Variable Interaction Coefficients39

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**

НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

НИШОНОВ НЕЪМАТИЛЛА АСАТИЛЛАЕВИЧ

**ЎЗГАРУВЧАН ЎЗАРО ТАЪСИР КОЭФФИЦИЕНТЛИ
ЕР ОСТИ ПОЛИМЕР ҚУВУРЛАРИНИНГ СЕЙСМОДИНАМИКАСИ**

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

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида № В2017.2.PhD/Т.157 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Наманган муҳандислик-қурилиш институтида бажарилган.

Диссертация автореферати икки тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) веб-саҳифанинг www.tayi.uz ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим портали www.ziynet.uz манзилларига жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рашидов Турсунбай

техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Каюмов Абдубаки Джалилович

техника фанлари доктори, профессор

Тешабаев Зоҳиджон Раҳматович

техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

Етакчи ташкилот:

Тошкент темир йўл муҳандислари 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 10⁰⁰ 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. Жаҳонда қувурлар орқали маҳсулот етказиб бериш самарали усуллардан ҳисобланиб, ишлаб чиқариш инфраструктурасининг ривожланишида алоҳида аҳамиятга эга. Ҳозирги вақтда газ, сув таъминоти, канализация, нефт маҳсулотларини етказиб беришда ва агрессив грунтларда полимер қувурларидан кенг қўламда фойдаланилмоқда. Шу жиҳатдан полимер қувурларнинг агрессив муҳитларда коррозия таъсирига чидамлилиги, узоқ муддат фойдаланилиши, вазнининг енгиллиги, қурилиш суратини ва ўтказиш имкониятини юқорилиги, жумладан табиий шароитга ва зилзилага турғунлиги сабабли улардан кенг қўламда фойдаланилмоқда. Хорижий давлатларда ер ости полимер қувурларидан амалиётда фойдаланиш ва уларнинг кучли зилзилалардаги ҳолати бўйича етарлича тажриба орттирилган, шунинг учун уларнинг сейсмик хавфсизлигига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ер ости қувурларини сейсмик мустаҳкамлигини оширишга, сейсмик кучларнинг таъсирини ва улар таъсирида юз бериши мумкин бўлган шикастланишларни камайтиришга катта аҳамият берилмоқда. Бу борада, жумладан қувур тизимларига зилзила ва портлашлар таъсирини дифференциал баҳолаш мезонлари ҳамда сейсмик таъсирлардаги ер ости полимер қувурларининг шикастланиш даражасини прогнозлаш ва таснифлаш, грунтнинг турли намланиш даражасида “иншоот-грунт” тизимидаги ўзаро таъсир кучини аниқлаш, турли кўринишдаги сейсмик таъсирларда ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ва ихтиёрий йўналишдаги сейсмик юкланишлар таъсиридаги ер ости полимер қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқиш каби йўналишларда мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамиз мустақилликка эришгач қурилаётган ер ости иншоотларининг зилзилабардошлигини ошириш ҳамда сейсмик хавфсизлигини таъминлашга алоҳида эътибор қаратилди. Бу борада, жумладан ер ости иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини оширишга ва юз бериши мумкин бўлган шикастланишлар даражасини пасайтиришга эришилди. Шу билан бир қаторда сейсмик ҳудудларда ер ости қувурларини бир жинсли бўлмаган грунт шароитларида қурилиши, уларнинг мустаҳкамлигини ошириш учун бўлиши мумкин бўлган сейсмик таъсирларга ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш талаб этилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... аҳолининг коммунал-маиший хизматлар билан таъминланиш даражасини ошириш, энг аввало, янги ичимлик суви тармоқларини қуриш, ... қишлоқ жойларда тоза ичимлик суви билан таъминлашни тубдан яхшилаш, ...»¹ вазифаси белгилаб берилган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан қувур тизимларига зилзила таъсирини дифференциал баҳолаш мезонларини ишлаб чиқиш, грунтнинг

¹ 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

намланганлигини ҳисобга олувчи қувур ўқи бўйлаб ўзгарувчан ўзаро таъсирини аниқлаш, ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг кучланганлик деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услубларини такомиллаштириш масалалари муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги», 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон «Фавқулотда вазиятларнинг олдини олиш ва уларни бартараф этиш тизими самарадорлигини тубдан ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари, 2017 йил 9 августдаги ПҚ-3190-сон «Ўзбекистон Республикаси ҳудуди ҳамда аҳолининг сейсмик ҳавфсизлиги, қурилиш зилзилабардошлиги ва сейсмология соҳасида илмий тадқиқотлар ўтказишни такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисидаги» Қарори ва Вазирлар Маҳкамасининг 2007 йил 3 апрелдаги 71-сон «Фавқулотда ҳолатларини прогноз қилиш ва олдини олиш бўйича Давлат дастури»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни 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, иншоотлар сейсמודинамикаси ва информатика» ва XIV. «Сейсмология, бинолар ва иншоотлар сейсмик ҳавфсизлиги ва қурилиш» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Мамлакатимизда ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги муаммолари бўйича бир қатор олимлар илмий тадқиқотлар олиб боришган, академик Т.Рашидов грунт ва иншоот деформацияси фарқини ҳисобга олиб мураккаб тизимли ер ости иншоотларининг динамик назариясини ишлаб чиқди. Бу усул «қувур-грунт» тизимида нисбий кўчишни мавжудлигини инобатга олиб ҳисоблашлар ўтказиш ҳамда ер ости иншоотларининг зилзилабардошлигида муҳим омилларни ҳисобга олиш имкониятини яратди. Юртимизда Т.Рашидов ва шогирдлари Я.Н. Мубораков, Г.Х. Хожметов, А.А. Ишанходжаев, А. Юсупов, А. Каюмов, С.Ф. Проскурина, Х.С. Сагдиев, С. Мухамедова, В.А.Омеляненко, З.Р. Тешабаев, А.Х. Маткаримов, У. Рахмонов, Е.В. Ан, Д.А. Бекмирзаев, шунингдек Ш. Маматкулов, Б. Мардонов, К.С. Султанов, Т. Мавлонов, Б.Э. Хусанов Ш.М. Сибукаев, Т.Т. Сабилов ва бошқалар қувурнинг атрофидаги грунт муҳити билан ўзаро таъсирини ва ўзаро таъсирнинг тўлқин характериға боғлиқлигини ҳисобга олиб ер ости қувурлари ва иншоотларининг зилзилабардошлиги бўйича назарий ва тажриба тадқиқотлари олиб боришган.

Грунт билан ўзаро таъсирдаги ер ости иншоотлари ва қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги соҳасида жаҳондаги йирик тадқиқотчилар, жумладан T.D. O'rourke, M.J. O'rourke, Sh. Okamoto L.R. Wang, M. Kitaura, M. Miyajima, T. Iwamoto ва T. Yamaji, Meng Hai, S. Takashi, T. Tanaka, Д.Д. Баркан, В.А. Ильичев, Я.М. Айзенберг, А.С. Гехман, А.Г. Назаров, А.Б.Айбиндер, Ш.Г. Напетваридзе, П.П. Бородавкин, Н.Н. Булычев, А.А. Александров,

Н.С. Фотиева, М.Ш. Исраилов, А.Г. Касимов, Э.Н. Фигаров, Р.А. Гумеров ва бошқалар илмий тадқиқот ишлари асосида ижобий натижаларга эришганлар.

Шаҳар худудларининг интенсив ривожланиши ҳамда атроф муҳитнинг ифлосланишини камайтиришга бўлган эътибор сейсмик актив худудларда ер ости иншоотларининг қурилиш қўламини ортишига олиб келмоқда, шунинг учун табиий грунт шароитлари бўйича илмий тадқиқот ишларига талаб ошиб бормоқда. Ер ости иншоотларини турли хил грунт шароитларида қурилиши, жумладан сувга тўйинган ва қуйқаланиш ҳолатида грунт хоссасининг ўзгариши ва структураси бузилганлигини ҳисобга олиб иншоотларнинг КДХни ҳисоблаш муаммолари ҳозирги вақтгача етарли даражада ўрганилмаган. Шунинг учун бундай шароитларда ер ости иншоотларини сейсмик кучлар таъсиридаги кучланганлик ҳолатини ўрганиш тадқиқотлари муҳим масалалардан ҳисобланади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим ва илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг А-5-060 «Ер ости ҳаётни таъминловчи тизимларига сейсмик таъсирларни дифференциал баҳолаш, йўқотишларни камайтириш ва уларни зилзилабардошлигини таъминлаш бўйича тавсияномалар ишлаб чиқиш» (2006-2008); Ф-1.2.2 «Намланганлик даражаси, ер ости иншоотини атрофидаги грунт структурасини бузилганлигини ва хоссаларини ўзгариши таъсирини ҳисобга олиб сейсмодинамика назариясини ривожлантириш» (2003-2007); ФА-Ф8-Ф086 «Деформацияланувчи қаттиқ жисм-грунт» тизимида ёпишқоқлик, намлик ва грунт структурасини бир жинсли эмаслигини ҳисобга олувчи ўзаро таъсир муаммолари тадқиқотлари (сейсмик юкламаларда)» (2007-2011); Ф4-ФА-Ф047 «Структураси бузилган грунтларда жойлашган мураккаб шаклдаги ер ости қувур тизимлари сейсмодинамикаси» (2012-2016); ФА-А14-Ф019 «Жаҳон миқёсидаги кучли зилзилалар оқибатларини муҳандислик таҳлили ва янги тадқиқотлар асосида зилзилабардош ер ости муҳандислик иншоотларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш усуллари янгилаш учун таклифлар ишлаб чиқиш» (2015-2017) мавзулардаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади структураси бир жинсли бўлмаган грунтларда жойлашган ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларини сейсмик кучлар таъсиридаги кучланганлик ҳолатини баҳолаш услубини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

қувур тизимларига зилзила ва портлашлар таъсирини дифференциал баҳолаш мезонларини, сейсмик таъсирлардаги ер ости полимер қувурларининг шикастланиш даражасини прогнозлаш ва таснифлаш услубини ишлаб чиқиш;

грунтнинг намланганлигини ҳисобга олувчи қувур ўқи бўйлаб ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентини аниқлаш;

ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш;

ихтиёрий йўналишдаги сейсмик юкланишлар таъсиридаги ер ости полимер қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш услубини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида сейсмик актив ҳудудлардаги ер ости полимер қувурлари (сув, газ таъминоти, канализация, нефт қувурлари) тизими олинган.

Тадқиқотнинг предмети «қувур-грунт» тизимида узунлиги бўйича ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг сейсмик юкланишлардаги хавфсизлигини баҳолаш жараёнларини ташкил этади.

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

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

қувур тизимларига зилзила ва портлашлар таъсирини дифференциал баҳолаш мезонлари, сейсмик таъсирлардаги ер ости полимер қувурларининг шикастланиш даражаси прогнозлаш ва таснифлаш услублари ишлаб чиқилди;

грунтнинг намланганлигини ҳисобга олувчи қувур ўқи бўйлаб ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициенти аниқланди;

ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилди;

ихтиёрий йўналишдаги сейсмик юкланишлар таъсиридаги ер ости полимер қувурларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилди.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

сейсмик кучлар таъсиридаги ер ости полимер қувурларининг шикастланиш даражаси прогнозлаш ва таснифлаш услуби такомиллаштирилган;

бир жинсли бўлмаган ва намланган грунт шароитларида ётқизилган ер ости полимер қувурларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш математик модели ва ҳисоблаш компьютер дастури ишлаб чиқилган;

сейсмик ҳудудларда грунтнинг бир жинсли эмаслигини ҳисобга олиб ер ости полимер қувурларига сейсмик таъсирларни камайтириш бўйича ечимлар ишлаб чиқилган;

ер ости полимер қувурларини сейсмик ҳудудларда қўлланилиши бўйича ишлаб чиқилган услублар, лойиҳалаш ва қурилиш жараёнида (Ҳамроҳ қўчасидаги сув тармоғи объекти, Наманган вилояти, Тошкент шаҳридаги “Сувсоз” ДУК) фойдаланилиб, иш сифати ва меҳнат унумдорлигини 10-20%

оралиғида ҳамда полимер қувурининг коррозияга чидамлилиги ҳисобига хизмат муддатини 2 марта ошириш имконини яратган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Натижаларнинг ишончлилиги қурилиш механикасида умум қабул қилинган фаразлари билан мувофиқлиги, шунингдек бошқа тадқиқотчиларнинг табиий ва лаборатория шароитидаги тажриба натижаларига, ҳамда зилзила оқибатлари асосида олинган реал маълумотларга мутаносиблиги ва амалиётга жорий қилинганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларнинг илмий аҳамияти қувурларнинг уни ўраб турган грунт муҳити билан ўзаро таъсирини аниқлаш бўйича ўтказилган тажриба тадқиқотлари асосида ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли полимер қувурлари сейсмодинамикаси жараёнларини математик модели ва уларни сонли ҳисоблаш услублари ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Олинган натижаларининг амалий аҳамияти ер ости полимер қувурлари сейсмодинамикасини ҳисоблашни такомиллаштириш билан боғлиқ олинган натижалар бир жинсли бўлмаган ва намланган грунт шароитларида ётқизилган ер ости қувурларини лойиҳалаш ва қуриш бўйича меъёрий ҳужжатларга қўшимчалар сифатида тавсия қилинади. Бу натижалар ер ости қувурларини лойиҳалаш ва қуриш жараёнларини тезлашишига, бажарилган иш сифатини ортишига, мукамал ва турғун ишлашига эришилади ҳамда сейсмик хавфсизликни сезиларли даражада оширишга, бўлиши мумкин бўлган зилзилалардаги молиявий ҳаражатлар ва йўқотишларни камайтиришга хизмат қилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ер ости полимер қувурларини сейсмик кучлар таъсиридаги кучланганлик ҳолатини баҳолаш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлигини таъминлаш ва мавжуд ер ости иншоотларини зарарланиш даражасини камайтириш бўйича ишлаб чиқилган услублар Ўзбекистон Республикаси Фавқулодда вазиятлар вазирлиги фаолиятида ер ости иншоотларини зилзила оқибатида зарарланиш даражасини баҳолашга жорий этилган (Фавқулодда вазиятлар вазирлигининг 2017 йил 18 октябрдаги 2/4/15-2332-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши кучли зилзилалар оқибатини ва зарарланишларни камайтириш, жумладан инсонлар ҳаёти хавфсизлигини ошириш, техник ресурсларни оқилона ва тўғри тақсимлаш имконини беради;

сейсмик ҳудудларда намланган грунтларда жойлашган ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларини ҳисоблаш услуги «Сувсоз» давлат унитар корхонаси лойиҳалаш ва қурилиш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг 2017 йил 6 ноябрдаги 12184/10–05- сонли маълумотномаси). Илмий натижанинг қурилиш объектига қўлланилиши орқали ресурс тежамкорликка, иш сифати ва меҳнат унумдорлигини 20% га ортишига ва ер ости қувурининг хизмат муддатини 2 марта ошириш имконини берган;

структураси ўзгарувчан ва намланган грунтларда жойлашган ер ости полимер қувурларида ҳосил бўладиган кучланишларни аниқлаш услуги ва сейсмик ҳудудларда грунтнинг бир жинсли эмаслигини ҳисобга олиб ер ости полимер қувурларига сейсмик таъсирларни камайтириш бўйича ишлаб чиқилган методик тавсиялар «KELAJAK-S» корхонаси лойиҳалаш ва қурилиш ишлари учун жорий қилинган («KELAJAK-S» нинг 2017 йил 2 июлдаги амалиётга жорий этиш далолатномаси). Илмий натижанинг қурилиш объектида қўлланилиши полимер қувурларидан фойдаланиш эвазига 20-25% иқтисодий самарадорликка эришилган ва сейсмик хавфсизликни таъминлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 8 та халқаро ва 9 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 28 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та мақола, жумладан, 8 таси республика ва 3 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.

ДИСЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

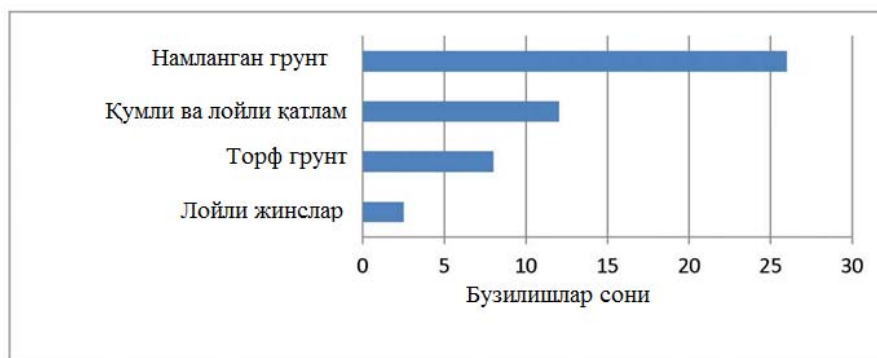
Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган 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 қувурларини зилзилалардаги ҳолатлари ҳақидаги маълумотлар ва иншоотлар сейсמודинамикаси назариясининг ривожланиши**» деб номланган биринчи бобида ер ости қувурлари сейсמודинамикасининг замонавий ҳолати ўрганилган, кучли зилзилаларда қувурларнинг реакцияси ва грунтнинг ҳаракат кўрсаткичлари келтирилган, ҳамда зарарланиш даражаси ўрганилган. Дунё шаҳарларида бўлиб ўтган зилзилалар оқибатида ер ости қувурларининг бузилишларини текшириш натижалари келтирилди ва таҳлил қилинди. Ер ости қувурларининг сейсмик таъсирлардаги шикастланишлари таснифланди ва шикастланиш даражаси прогноз қилинди, ҳамда анъанавий қўлланилаётган ва полимер қувурларининг зилзилалардаги зарарланишлари солиштириб баҳоланган ва таҳлил қилинган.

Зилзилалар оқибатларининг таҳлили асосида ер ости қувурларининг зарарланишлари тавсифланди, шикастланишлар даражасини прогнозлаш ва сейсмик таъсирлардаги бузилишларнинг солиштира таҳлили келтирилди.

Сейсмик таъсирларда ер ости қувурларининг шикастланишига таъсир қилувчи асосий омил ва бузилишлар характеристикалари таҳлил қилинди.

Зилзилаларда қувурларни шикастланиши ҳақидаги маълумотлар, зилзила интенсивлиги кичик бўлган бўш грунтларда жойлашган қувурлардаги бузилишларга қараганда, мустаҳкам асосда жойлашган юқори интенсивликдаги зилзила таъсиридаги бузилишларга нисбатан кам бўлишини кўрсатмоқда. Зилзилалар натижасида қувурларнинг зарарланишига грунт шароити катта таъсир кўрсатади. Қувур атрофидаги грунтнинг турли хил характеристикалари турли бузилишларни келтириб чиқаради (1-расм), ҳамда актив ер ёриғи, грунтнинг қуйқаланиши ва кўчишларни юзага келтиради.



1-расм. Турли грунт шароитларида қўмилган қувурларнинг зарарланиши

Ер ости қувурларининг солиштирма бузилишлари ва сейсмик таъсирлар орасидаги боғлиқликнинг ўрнатилиши ҳудуднинг сейсмик районлаштириш маълумотлари билан мос келади ва қувурлар характеристикаларини белгилаб, бўлиши мумкин бўлган ҳолатларни ўз вақтида прогнозлаш имконини беради ҳамда бўлиши мумкин бўлган хавф даражаси баҳоланади ва сейсмик хавфни бошқариш режалари ишлаб чиқилади.

Юқори эластиклигининг ҳисобига, полиэтилен қувурларнинг ишончлилиқ даражасини юқорилиги Кобе ва Крайстчерч шаҳарларида бўлиб ўтган зилзилалардаги газ ва сув таъминотидаги бузилишларнинг таҳлилини яққол мисол қилиб кўрсатиш мумкин. Юқори мустаҳкамликни характерловчи полиэтилен газ ва сув таъминоти қувурлари герметиклиги бузилмасдан грунтнинг катта силжишига бардош берган, асосан бошқа материалли қувурлар кўп зарарланган.

Кобе шаҳридаги зилзила вақтида паст босимли газ қувурларининг бузилишлари статистикаси маълумотлари, полиэтилен қувурлари зилзилада ўз иш қобилиятини сақловчи ягона қувур эканлигини кўрсатди. Кобе зилзиласидан сўнг Япония бўйича газ ва сув таъминотида асосан полиэтилен қувурлар қўлланилиши қонун билан белгилаб қўйилди.

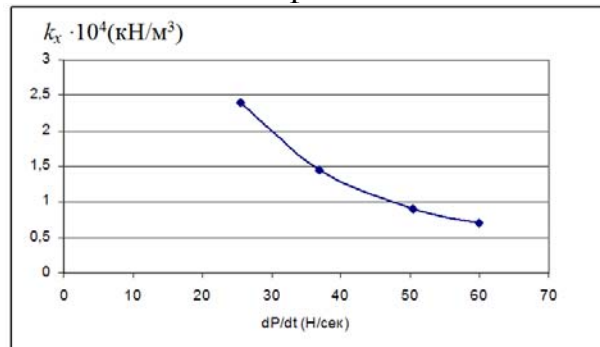
Охириги йиллардаги кучли зилзилалар оқибатларининг таҳлили шуни кўрсатдики, ер ости қувурлари асосан қуйқаланадиган бўш грунтларда зарарланади. Крайстчерч шаҳридаги сув таъминотидаги бузилишларнинг 80% қуйқаланадиган грунтларда жойлашган. Шундай грунт шароитларида ҳам поливинилхлорид (ПВХ) ва полиэтилен (ПЭ) қувурларидаги бузилишлар бошқа қувурлардаги бузилишларга нисбатан бир неча марта кам.

Бузилишларнинг кўриниши грунт шароитига, қувур материалига, конструктив хусусиятига ва бошқа омилларга боғлиқ. Энг кўп

«Ер ости қувурларини атрофидаги грунтнинг намланганлигини ҳисобга олган ҳолда ўзаро таъсир параметрларини аниқлаш» деб номланган иккинчи бобида полимер қувурларнинг атрофидаги грунт билан ўзаро таъсири бўйича экспериментал ва назарий-экспериментал тадқиқотлар ўтказилди. Ер ости қувурларини атрофидаги грунт билан ўзаро таъсир кўрсаткичларини аниқлаш бўйича юртимизда ва хорижда ўтказилган тадқиқотлар таҳлили келтирилган. Полимер қувурларни атрофидаги грунт билан бўйлама ўзаро таъсирини аниқлаш бўйича тажрибавий тадқиқотлар ўтказиш методикаси келтирилган ва намланган грунтнинг ўзаро таъсир коэффициенти тажрибавий аниқланган. Ер ости қувурларининг ўзаро таъсирини назарий-экспериментал аниқлаш услуби кўрилган.

The diagram illustrates a mechanical drive system for a roller conveyor. On the left, a motor (1) is connected to a gear (2). This gear (2) is part of a shaft (3) that also carries a gear (4) and a roller (5). The roller (5) is part of a conveyor system. The entire assembly is supported by a base with vertical supports.

Қувурларни грунт билан ўзаро таъсирини тажрибавий тадқиқ қилиш учун 1,75x1x1 м ўлчамдаги курилма тайёрланди (2-расм), тажрибалар ўтказиш учун Т.Рашидов ва Г.Хожметов методикасидан фойдаланилди.



4-расм. Металл қувурдаги ўзаро таъсир k_x коэффициентини юклама

Қувурларнинг грунт билан бўйлама ўзаро таъсир коэффициентини аниқлашда тажрибалар ўтказиш учун узунлиги $l=2$ м, диаметри 0.09 м бўлган металл ва полимер қувурлар, ҳамда қум ва тупроқ грунти танланди. Тажрибалар ўтказишда грунтнинг қўмилиш чуқурлиги 0.3 м дан 1.2 м гача ораликда, грунтнинг намлиги 8 – 32 % оралиғида ўзгартирилди.

Тажрибалар натижаси бўйича ўзаро таъсир коэффициентининг намликка боғлиқлиги аниқланди (3-расм). Берилган графиклардан кўринадики, қувурнинг кўрилатган кўмилиш чуқурлигида грунт намлигини ўзгариши билан k_x коэффициенти максимал қийматига 26% намликда эришади ва сўнг камайиб боради.

Қувурнинг грунт билан ўзаро таъсирининг юкланиш тезлигига боғлиқлигини тадқиқ этиш учун бир қатор тажрибалар ўтказилди. Бунинг учун қувурга бўйлама юкламалар тўртта режимда 250, 320, 530, 600Н таъсир эттирилди ва ҳар 10 с да ошириб борилди. Юкламанинг тезлиги ортиши билан бўйлама ўзаро таъсир коэффициенти k_x камаяди (4-расм).

«Намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларини сейсмик таъсирлардаги кучланганлик деформацияланганлик ҳолати тадқиқотлари» деб номланган диссертациянинг учинчи бобида қувурнинг ўқи бўйича грунтнинг намланганлигини ҳисобга олиш услуби ва ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентини куриш методикаси келтирилган. Грунт билан ўзаро таъсир коэффициенти ўзгарувчан бўлган полимер қувурларнинг бўйлама тебраниши масаласини сонли усулда ечишнинг комплекс дастури ва методикаси ишлаб чиқилган. Грунт билан ўзаро таъсир коэффициенти ўзгарувчан бўлган ер ости полимер қувурларини дифференциал тенгламасини ҳисоблаш натижалари келтирилган.

Маълумки, қувур жойлашган грунт муҳитининг намланганлиги унинг кучланганлик деформацияланганлик ҳолатига (КХД) муҳим таъсир кўрсатади. Грунтнинг сувга тўйинганлиги (намланганлигини) ҳисобга олиш умумий ҳолдаги масалани қўйилишида намлик w учун (x, y, z, t) боғлиқлиги муносабатларини инобатга олиш керак, ҳамда иншоот ва намликни турли геометрик жойлашишлари учун мос тенгламаларни кўриб чиқиш лозим. Иншоот ва намлик манбаини турли ҳоллари учун амалий масалаларни ечишда масалани соддалаштириш керак.

Олинган натижаларга мувофиқ k_x ни w намликка боғлиқлигини аппроксимациясини келтирамиз. Шу мақсадда 3-расмдаги (1) ва (2) эгри чизикларни уч ҳадли квадратлар кўринишида аппроксимациялаймиз:

$$k_x^{(1)}(w) = a_0^{(1)}w^2 + b_0^{(1)}w + c_0^{(1)} \text{ ва } k_x^{(2)}(w) = a_0^{(2)}w^2 + b_0^{(2)}w + c_0^{(2)} \quad (1)$$

Бу аппроксимацияни келгусида тўғри чизикли чекли қисмдаги ер ости қувурининг атрофидаги грунт намлигини ҳисобга олган ҳолда бўйлама тебранишини ўрганиш тадқиқотларида фойдаланилади.

Тажрибадан олинган эгри чизиклар (3-расм) асосида ер ости полимер қувурларининг грунт билан ўзгарувчан ўзаро таъсири $k_x(x)$ ни w намлик тарқалишига боғлиқлигини 4 хил варианты келтирилди, ишлаб чиқилган методика асосида (1) формуланинг кўпхадлари тажриба натижаларига мувофиқ танланади:

а) намлик манбаи тўғри чизикли қувурнинг ўртасида жойлашган ва унинг тарқалиши x ўқиға нисбатан симметрик;

б) намлик манбаи чекли тўғри чизикли қувурнинг бошланишида жойлашган ва намликни тарқалиши x ўқи бўйича камайиб боради;

в) намлик манбаи чекли тўғри чизикли қувурнинг охирида жойлашган ва намликни тарқалиши x ўқи бўйича ошиб боради;

г) x ўқи бўйича намлик қувурнинг ўртасида 15 дан 30%га кескин ўзгаради;

Ер ости полимер қувурларининг тебраниш жараёни ечимларида қўллаш мақсадида, юқорида келтирилган барча ҳолатлар учун ер ости қувурининг грунт билан турли хил ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентларининг аналитик формулалари олинди.

Кельвин-Фойгт моделини қўллаган ҳолда ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли тўғри чизикли ер ости қувурининг чекли қисмини бўйлама тебранишини кўриб чиқамиз. Бу ҳолда кучланиш ва деформация орасидаги боғлиқлик қуйидагича бўлади

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \quad (2)$$

(2) тенгликни ҳисобга олиб, ер ости полимер қувурининг бўйлама тебранишини умумий дифференциал тенгламаси кўринишда қуйидагича бўлади

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{t}^2} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \varphi \frac{\partial^3 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2 \partial \bar{t}} - D k_x(x)(\bar{u} - \bar{u}_0), \quad (3)$$

бу ерда $D = \frac{2Rl^2}{E(R^2 - r^2)}$; $\varphi = \frac{\eta}{Et_0}$.

Бу (3) тенгламани ечиш учун иккинчи тартибли аниқликдаги чекли айирмалар усулидан фойдаланилди. Ўзгарувчан коэффициентли ер ости полимер қувурларини ҳисоблаш алгоритми ва дастури ишлаб чиқилди. Мисол сифатида иккита чегаравий шартни кўриб чиқамиз:

Қувурнинг чап чегарасига қотириб ва эластик маҳкамланган, ўнг чегарасидаги шартни эса эркин деб қабул қиламиз:

$$\left. \begin{aligned} u(0, t) &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4); \quad \left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} &= k_N(u - u_0) \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5).$$

Бошланғич шарт қуйидаги кўринишда олинган

$$u|_{t=0} = u_0; \quad \dot{u}|_{t=0} = \dot{u}_0. \quad (6)$$

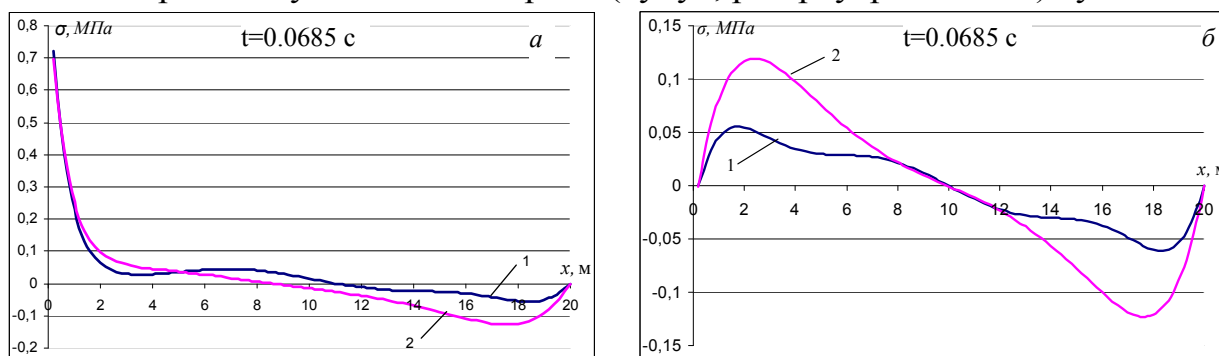
(6) бошланғич шартни ҳисобга олган ҳолда τ ($\tilde{t} = \tau \cdot j$, $0 \leq j \leq M$) вақтнинг ҳар бир қадамида тўғри ва тесқари ҳайдаш усулини қўллаган ҳолда ер ости полимер қувурининг ҚДХ ни аниқлаш масаласи ечилди.

Кўчишлар аниқлангандан сўнг, полимер қувурнинг бўйлама кучланиши (2) ифодадан аниқланади. Кучланиш σ қийматларини аниқлаш учун берилган чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда чекли айирмалар усули қўлланилади.

Ер ости полимер қувурини ҳисоблашда “қувур-грунт” тизимининг қуйидаги механик ва геометрик параметрларидан фойдаланилди: $E=5 \cdot 10^8$ Па, $\eta=7.7 \cdot 10^5$ Па с, $\rho=940$ кг/м³, $R=0.11$ м, $r=0.1037$ м, $l=20$ м, $T=0.3$, $a_0=5.2 \cdot 10^{-3}$ м, $k_N=8 \cdot 10^4$ кН/м. Сейсмик юкламаларда грунтнинг кўчишини гармоник функция кўринишида қабул қилинган $u_0(x, t)=a_0 \sin \omega t$. Олинган сонли натижалар графиклар кўринишида келтирилди ва таҳлил қилинди.

Чегаравий шарт қувурнинг тебранишига катта таъсир кўрсатади. Чап тарафи эластик маҳкамланган ва ўнг тарафи эркин бўлган ҳолга нисбатан

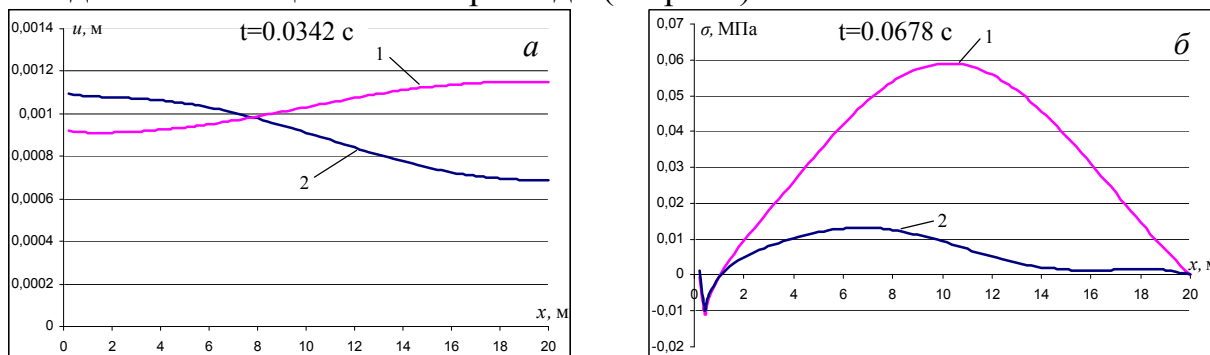
(7,б-расм), чап тарафи қотириб маҳкамланган ва ўнг тарафи эркин бўлган чегаравий ҳолда қувурдаги максимал кучланиш 7-10 марта катта (7,а-расм). Бу натижа зилзила оқибатлари бўйича қувурлардаги кучланишларни баҳолаш натижаларига мос келади, яъни юқори кучланишлар қувурнинг массив иншоотлар билан уланган жойларида (қудук, резервуар ва бошқ.) кузатилган.



7-расм. Турли чегаравий шартларда қувурнинг ўқи бўйлаб кучланишнинг берилган вақтдаги ўзгариши: 1 – тупроқ; 2 – қум

Иккинчи чегаравий шартни кўрилганда бўйлама кучланишни ўзгариши намликни тарқалишига боғлиқлиги кўринади (7,б-расм), бу ерда сиқилиш ва чўзилиш кучланишлари юзага келади. Қувурнинг узунлиги бўйича намлик тарқалишининг камайиши кўчишнинг камайишига олиб келмоқда. Умумий ҳолда кўрилатган намликнинг ўзгариш оралиғида, кучланиш σ максимал қийматига 20-25% намликда эришади.

Намликнинг поғонали кескин ўзгариш ҳолатида, кўчишнинг қиймати нисбатан тез ўзгаради (8а-расм). Кучланиш намликни поғонали ўзгарган жойида максимал қийматига эришади (8б-расм).



8-расм. Қувур ўқи бўйлаб кўчишлар (а) ва кучланишларнинг (б) берилган вақтлардаги ўзгариши: 1 – қум, 2 – тупроқ

Грунтдаги намликнинг манбаи ва унинг қувур ўқи бўйлаб тарқалиши қувурнинг КДХга муҳим таъсир кўрсатади. Асосан бу қувурнинг чегаралари эластик маҳкамланганда яхши кўзга кўринади. Грунтнинг физик-механик характеристикаларини кескин ўзгариши ер ости қувурини мустаҳкамлиги ва турғунлигини ўзгаришига олиб келадиган кучланишлар қийматини ошишига олиб келади.

«Полимер материалли қовушқоқ эластик ер ости қувурлар сейсמודинамикаси тадқиқотлари» деб номланган диссертациянинг тўртинчи бобида ихтиёрий йўналишдаги сейсмик юкламалар таъсирида ер ости полимер қувурлари сейсמודинамикаси масаласи қўйилган ва математик модели қурилган. Дифференциал тенгламалар системаси чегаравий ва бошланғич шартлари билан келтирилган. Ер ости полимер қувурлари сейсמודинамикасининг бир қатор масалалари ечилди ва олинган натижалари

таҳлил қилинди. Ер ости полимер қувурлари сейсמודинамикаси масалаларини ечиш усули ва компьютер реализацияси ишлаб чиқилди. Сейсмик юкламалар таъсиридаги полимер қувурларининг КДХ тадқиқ этилди.

Замонавий қурилишда қўлланилаётган полимер материалли ер ости қувурлари катта деформацияларга эга бўлган хоссаларни намоён қилмоқда. Уларнинг механик характеристикаларини аниқлаш учун полимер материалнинг механик ҳолати бўйича объектив қонуниятларга асосланган моҳиятини ва физик маъносини акс эттирувчи математик моделини қуриш лозим. Больцман-Волтернинг камсингуляр наслий ядроли наслий назарияси бўйича эластик қовушқоқ жисм учун кучланиш ва деформация орасидаги боғлиқликнинг интеграл модели кўрилган. Абел типдаги Больцман-Волтернинг камсингуляр наслий ядроси тажрибалар билан яхши мос келади ва деформациянинг ползучести ва кучланишнинг релаксацияси билан боғлиқ вақт омилини тўғри ҳисобга олади.

Ер ости полимер қувурининг кучланиш ва деформацияси орасидаги боғлиқлиги қуйидаги кўринишда оламит

$$\sigma = E \left[\varepsilon(t) - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \varepsilon(\tau) d\tau \right]. \quad (7)$$

(7) формулани ҳисобга олиб полимер қувурнинг бўйлама тебраниши ўлчамсиз катталикларда қуйидаги кўринишда бўлади

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(1 - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau \right) - D_1 k_x(x)(u - u_0), \quad (8)$$

бу ерда $D_1 = \frac{2Rl^2}{E(R^2 - r^2)}$.

Қувурнинг реологик хоссаларини ўрта реологик параметрли A_b , β ва α , Колтунов-Ржаницин камсингуляр ядроси ёрдамида, ҳисобга олиб қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\Gamma(t) = \bar{A}_b e^{-\bar{\beta}t} t^{\alpha-1}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad [\bar{\beta}] = c e k^{-1}, \quad [\bar{A}_b] = c e k^{-\alpha}; \quad (9)$$

бу ерда A_b – қовушқоқлик параметри, β – қовушқоқликнинг реологик параметри, α – наслий ядрони тажрибадан аниқланадиган сингулярлиги.

Интеграл остидаги (7) ифодага алмаштиришни қўллаб ҳосил бўлган дифференциал тенгламани иккинчи тартибда аниқликдаги марказий чекли айирмалар схемаси билан аппроксимацияланади ва $u_{k,j+1}$ ($k=i-1, i, i+1$) га нисбатан ечилди

$$u_{i,j+1} = \frac{\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) u_{i-1,j} + \left[2 - \tau^2 D k_i - \frac{2\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) \right] u_{i,j} + \frac{\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) u_{i+1,j} - u_{i,j-1} + D \tau^2 k_i u_{0i,j} \quad (10)$$

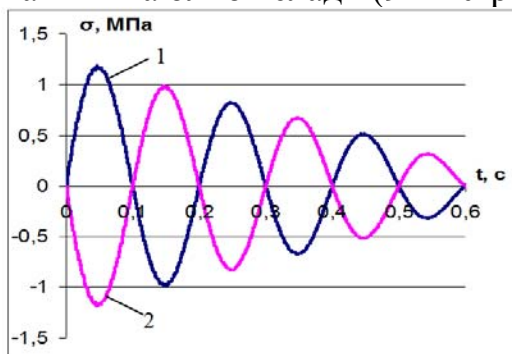
Чегаралари қотириб маҳкамланган ва бошланғич шартлари нолга тенг бўлган ҳолни кўриб чиқамиз.

Грунт билан ўзаро таъсирида бўйлама тебранишдаги ер ости полимер қувурини қуйидаги механик ва геометрик параметрларидан фойдаланилди: $E=5 \cdot 10^2$ МПа; $R=0.2$ м; $\rho=940$ кг/м³; $A=0.002$ м; $l=10$ м; $k_x=1,2$ кН/м³; $T=0,2$.

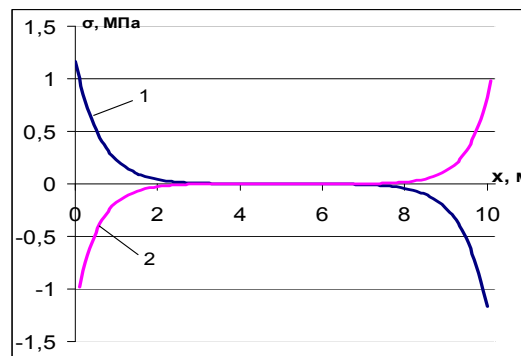
Қувурнинг ўқи бўйлаб таъсир этувчи сейсмик юкламаларда грунтнинг кўчишини гармоник функция кўринишида олинган $u_0(x,t) = a_0 \sin st$.

Ишлаб чиқилган алгоритм асосида масалани компьютер реализацияси бажарилди ва олинган натижалардан координата ва вақт бўйича кўчиш ва кучланишларни ўзгариш графиги қурилди.

Олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, қувур материалынинг эластик қовушқоқлигини ҳисобга олиш кучланиш қийматларини вақт бўйича камайишига олиб келади (9 – 10-расм).



9-расм. Қувурдаги кучланиш қийматларини турли кесимларда вақт бўйича ўзгариши:
1– $x=0$; 2– $x=L$



10-расм. Қувурнинг ўқи бўйлаб кучланиш қийматларини берилган вақтдаги ўзгариши:
1– $t=0.052$ с; 2– $t=0.146$ с

Атрофидаги грунт билан ўзаро таъсирдаги тўғри чизиqli ер ости полимер қувурининг горизонтал текисликда ихтиёрий йўналишдаги сейсмик таъсирлардаги ҳолатини кўриб чиқамиз.

Қувурнинг грунт билан ўзаро таъсир кучларини ҳисобга олувчи ер ости полимер қувурининг ҳаракат дифференциал тенгламалар системасини, мос бошланғич ва чегаравий билан биргаликда оламиз.

Олдинги масала сингари Ржаницын–Колтуновнинг камсингуляр учпараметрли ядросидан фойдаланамиз. Учпараметрли ядро Абел типдаги кучсиз хусусиятга эга, буни бартараф этиш учун юқорида кўрсатилган методикага мувофиқ интеграл остидаги тенгликни алмаштирамиз.

Ташқи кўчишлар векторларини киритиб умумий ўлчамсиз вектор кўринишидаги ҳаракат дифференциал тенгламалари, чегаравий ва бошланғич шартларни оламиз:

$$M \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} + A \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} A \frac{\partial^2 Y(t_n - t_k)}{\partial x^2} + B \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} B \frac{\partial Y(t_n - t_k)}{\partial x} +$$

$$+ CY - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} DY(t_n - t_k) = Q. \quad (11)$$

Чегаравий шарт:

$$\left[\bar{A} \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \bar{A} \frac{\partial Y(t_n - t_k)}{\partial x} + \bar{C} Y - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \bar{C} Y(t_n - t_k) \right] \delta Y \Big|_x = 0. \quad (12)$$

Бошланғич шарт:

$$\frac{\partial Y}{\partial t} \delta Y \Big|_t = 0, \quad (13)$$

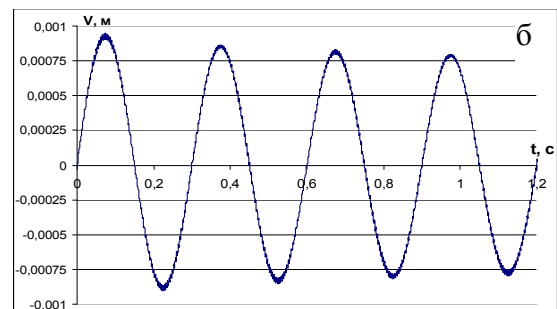
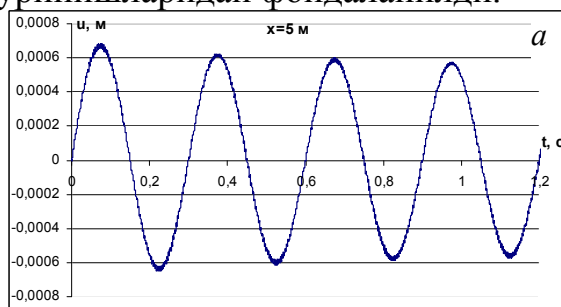
$$\text{бу ерда } Q = \left[\frac{l^2 b^2}{a_T^2} \bar{u}_{0x} \frac{q}{EF} \frac{\partial \bar{u}_{0z}}{\partial \bar{x}} \frac{2 p l^2 b^2}{a_T^2} \bar{u}_{0z} \right]^T, Y = \{u, v, \alpha_1\}^T, M, A, B, C, \bar{A}, \bar{B}, \bar{C} -$$

учинчи тартибли матрицалар.

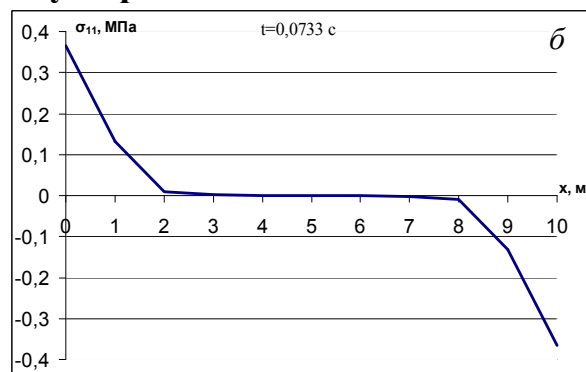
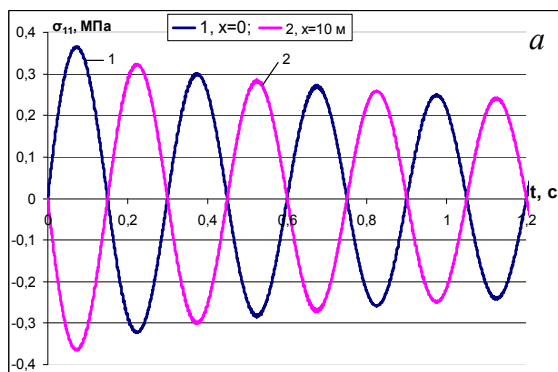
Оху текислигида масалани кўриб чиқамиз, қувурга ху текисликда сейсмик куч таъсир этади, яъни грунтнинг сейсмик куч таъсиридаги кўчиши қувурнинг бўйлама ўқиға вертикал текисликка бурчак остида таъсир этмоқда, бу ерда қувурнинг чегаралари қотириб маҳкамланган.

Ишлаб чиқилган алгоритмнинг компьютер реализацияси асосида қуйидаги масала ечилган. Механик ва геометрик параметрлар қуйидагича қабул қилинган: $E=5 \cdot 10^2$ МПа; $\delta=0.08$ м; $R=0.2$ м; $T=0.2$ с; $\rho=940$ кг/м³; $A=0.002$ м; $D_H=0.4$ м; $\omega=2\pi/T$; $C_p=1000$ м/с; $\varepsilon=0.8$; $\mu_{cp}=0.2$; $\mu_{mp}=0.24$; $A_b=0.1$; $\alpha=0.25$; $\beta=0.05$; $u_{0x}(x,t) = A \sin \omega t \cdot \cos \alpha$; $u_{0y}(x,t) = A \sin \omega t \cdot \sin \alpha$. Қувурнинг узунлиги 10 м, $\alpha=30^\circ$.

Берилган чегаравий шартларни ҳисобга олган ҳолда кўчишлар ва кучланишлар учун сонли натижалар олинди. Натижалар график кўринишида келтирилди. Қувурларни зилзилабардошликка ҳисоблашда зилзилада грунт ҳаракатини синусоида ва бошқа (гармоник, сўнувчи ва югурувчи тўлқинлар) кўринишларидан фойдаланилди.



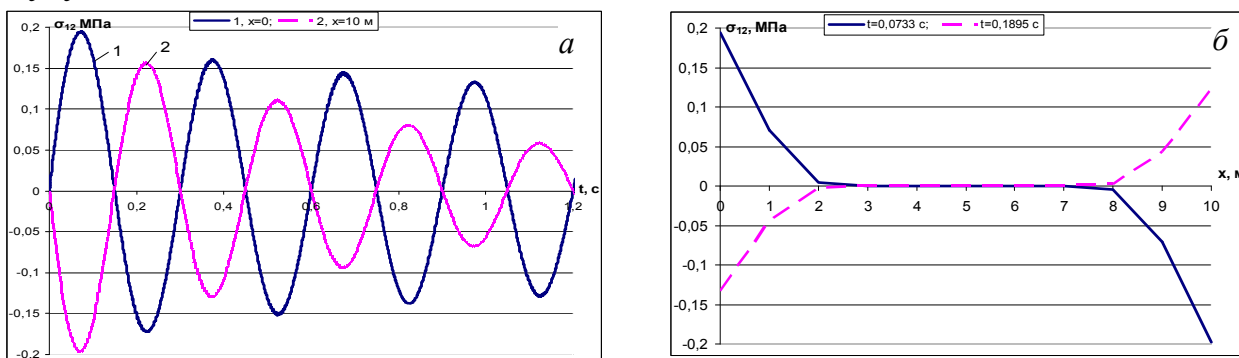
11-расм. Қувурнинг бўйлама (а) u ва кўндаланг (б) V кўчишини $x=5$ м даги вақт бўйича ўзгариши $\alpha=30^\circ$



12-расм. Қувурнинг нормал кучланишининг $x=0$, $x=10$ м даги вақт бўйича (а) ва қувурнинг ўқи бўйлаб берилган вақтдаги ўзгариши (б), $\alpha=30^\circ$

Ер ости полимер қувурларининг сейсмик юкланишларнинг турли қонуниятларидаги бўйлама ва кўндаланг тебранишларини биргаликда ечишдан олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, полимер қувурнинг эластик қовушқоқлик хоссаси сейсмик таъсирни сўнишига олиб келади, бу эса ўз навбатида солиштира бузилишлар камайишига ва шунингдек бу иншоотларни мустаҳкамлиги ва турғунлигини ортишига олиб келади.

Полимер қувурининг келтирилган модели бўйича олинган натижалар ва ташқи сейсмик таъсир характери унинг ҳолатига мувофиқ тавсифлайди ва биринчи бобда келтирилган дунёда бўлиб ўтган зилзила оқибатлари билан бутунлай мос келади.



13-расм. Қувурнинг урунма кучланишини $x=0$, $x=10$ м ораликдаги вақт бўйича ва қувурнинг ўқи бўйлаб берилган вақтдаги ўзгариши $\alpha=30^\circ$

Бажарилган тадқиқотлар асосида қувур четларини маҳкамланиш шароитларига ва грунт шароитининг бир жинсли эмаслигига эътибор қаратилган, полимер қувурларига сейсмик таъсирларни камайтириш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди.

Кўрсатиб ўтилган тадбирлар юқорида келтирилган методика бўйича аниқ қувурларни кўмилиш шароитлари, грунтнинг хоссалари ва қувурнинг материалига, ҳамда ташқи таъсир характери учун КДХ ҳисоблари билан тасдиқланиши лозим. Ҳозирги кунда бу масалаларга хорижий адабиётларида сейсмик ҳудудларда полимер қувурларни қўлланилишига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

ХУЛОСА

«Ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг сейсמודинамикаси» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Ер ости қувурларини зилзила оқибатлари таҳлили асосида таснифланди, солиштира зарарланиш критерияси аниқланди ва сейсмик таъсир интенсивлигига боғлиқ ҳолда бўлиши мумкин бўлган бузилишларни ва зарарланишларни олдиндан аниқлаш услуби ишлаб чиқилди. Ер ости қувурларини зилзиладаги ҳолатига атрофидаги грунтнинг физик-механик хоссалари, қувурнинг materiali, геометрик ўлчами ва қувурнинг конструктив хусусияти, кўмилиш чуқурлиги, сейсмик тўлқин фронтини қувурнинг бўйлама ўқи йўналишига боғлиқлиги аниқланди.

2. Полимер қувурни атрофидаги грунт билан бўйлама ўзаро таъсир коэффициентининг грунт намлигини ўзгаришига боғлиқлиги ва юкланиш тезлигининг таъсири тадқиқотлари бўйича бир қатор тажрибалар ўтказилди. Аналитик назарий формулалар асосида, ер ости қувурининг атрофидаги грунт билан ўзаро таъсир параметрларини аниқлаш бўйича назарий-экспериментал тадқиқотлар ўтказилди.

3. Қувурнинг грунт билан ўзаро таъсирини ўзгарувчан коэффициентини қуриш методикаси ишлаб чиқилди. Полимер қувурларда ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар асосида қувурнинг бўйлама ўқи бўйлаб намликни ўзгаришини тўртта ҳолати учун координата бўйича ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентини тарқалиш графиги қурилди.

4. Қувурнинг турли чегаравий шартлари учун ўзгарувчан ўзаро таъсир коэффициентли ер ости полимер қувурларининг бўйлама тебраниш масаласи ечилган ва қувурнинг ўқи бўйлаб намлик тарқалишининг тўрт хил қонунияти кўриб чиқилди. Чегаравий шартларни, грунт шароити, яъни намланиш даражаси ва унинг режимининг қувур узунлиги бўйича ўзгаришини ҳисобга олиб полимер қувурларини кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати аниқланди.

5. Кучланиш ва деформация орасидаги боғлиқлик Абел типдаги наслий камсингуляр ядроли Больцман-Вольтеррнинг наслий назарияси бўйича интеграл модел кўринишида олинди. Динамик таъсирларда ер ости полимер қувурларининг бўйлама тебраниши масаласи ечилди. Қувур материалининг эластик қовушқоқлик хоссасини ҳисобга олиш кучланиш қийматларини вақт бўйича камайишига олиб келди.

6. Ихтиёрий йўналишдаги сейсмик юкланишларда ер ости полимер қувурларини бўйлама ва кўндаланг тебранишларининг биргаликдаги тенгламалари келтириб чиқарилди. Марказий чекли айирмалар усули асосида масаланинг ҳисоблаш схемаси ишлаб чиқилди. Ер ости полимер қувурларининг сейсмик юкланишларни турли қонуниятларидаги бўйлама ва кўндаланг тебранишларининг биргаликда ечишдан олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, полимер қувурнинг эластик қовушқоқлик хоссаси сейсмик таъсирни сўнишига олиб келади, бу эса ўз навбатида солиштирма бузилишлар камайишига ва шунингдек бу иншоотларни мустаҳкамлиги ва турғунлигини ортишига олиб келади.

7. Бажарилган тадқиқотлар асосида қувурнинг чегаравий шартлари ва грунт шароитининг бир жинсли бўлмаганлиги ҳисобга олиниб, полимер қувурларига сейсмик таъсирларни камайтириш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди.

**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**

НАМАНГАНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

НИШОНОВ НЕЪМАТИЛЛА АСАТИЛЛАЕВИЧ

**СЕЙСМОДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ
КОЭФФИЦИЕНТАМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

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

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

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.2.PhD/T.157.

Диссертация выполнена в Наманганском инженерно-строительном институте.

Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу www.tayl.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель:

Рашидов Турсунбай

доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты:

Каюмов Абдубаки Джалилович

доктор технических наук, профессор

Тешабаев Зоҳиджон Раҳматович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

Защита диссертации состоится «___» _____ 2017 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.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. Во всем мире трубопроводы используются для транспортировки сырья, что является наиболее эффективным способом и имеет важное значение в производственной инфраструктуре. В настоящее время наметилась тенденция широкого применения полимерных труб для транспортировки нефти, нефтепродуктов, газа, проложения водопроводов, канализации и в агрессивных грунтах. Это обусловлено их высокой коррозионной стойкостью к воздействиям агрессивных сред, большой долговечностью и пропускной способностью, минимальным весом, высокими темпами строительства и устойчивостью к природным условиям, в том числе сейсмическим. В зарубежных странах накоплен достаточный практический опыт в области эксплуатации систем подземных трубопроводов из полимерных материалов и поведения их при сильных землетрясениях, при этом особое внимание уделяется сейсмобезопасности.

Важное место в мире занимают вопросы повышения сейсмостойкости, уменьшения сейсмических воздействий и возможных повреждений подземных трубопроводов при землетрясениях. В этой сфере пристальное внимание уделяется вопросам разработки критериев дифференцированной оценки сейсмических и взрывных воздействий на трубопроводные системы, а также классификации и прогнозу повреждаемости подземных полимерных трубопроводов при сейсмических воздействиях, определению силы взаимодействия в системе «труба-грунт» при различных степенях влажности, разработке методики численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов с учетом переменного коэффициента взаимодействия при различных видах сейсмических нагрузок, выполнению целевых научных исследований, формулирующих важные задачи в данной области.

С приобретением независимости в нашей республике реализуются всеобъемлющие мероприятия по повышению сейсмостойкости подземных сооружений и обеспечению сейсмической безопасности. В этом отношении достигнуто следующее – повышена сейсмостойкость строящихся подземных трубопроводов, и снижен уровень возможных повреждений от сейсмических воздействий. Наряду с этим строительство трубопроводов в неоднородных грунтовых условиях на сейсмических территориях требует совершенствования методов расчета на возможные сейсмические воздействия с целью повышения их прочности.

В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 года ставится задача реализации целевых программ «...повышение уровня обеспеченности коммунально-бытовыми услугами, ...обеспечение населения в сельской местности чистой питьевой водой путем строительства новых водопроводных линий...»¹. Осуществление данной задачи, в частности, разработка критериев дифференцированной оценки сейсмических воздействий, определение взаимодействия вдоль оси трубопровода с учетом влажности грунта, совершенствование методов

¹ №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия является важной задачей.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5066 от 1 июня 2017 г. «О мерах по коренному повышению эффективности системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», №ПП-3190 от 9 августа 2017 года «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» и Постановлением Кабинета Министров №71 от 03 апреля 2007 г. «Государственной Программы по прогнозированию и предупреждению чрезвычайных ситуаций», а также других нормативно-правовых документов, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика» и программой XIV. «Сейсмология, сейсmobезопасность зданий, сооружений и строительство».

Степень изученности проблемы. По проблемам сейсмостойкости подземных трубопроводов в нашей стране рядом ученых проведены научно-исследовательские работы. Академиком Т. Рашидова разработана динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений, в основу которой положен учет различия деформаций сооружения и грунта. Такой подход при расчете подземных сооружений на сейсмостойкость позволяет учитывать те важные факторы, которые выпали из рассмотрения в статической теории, т.е. наличия относительного смещения в системе «труба–грунт». В нашей стране в работах Т.Рашидова и его учеников Я.Н. Муборакова, Г.Х. Хожметова, А.А. Ишанходжаева, А.Юсупова, А.Каюмова, С.Ф.Проскуриной, Х.С.Сагдиева, С. Мухамедовой, В.А. Омеляненко, З.Р. Тешабаева, А.Х. Маткаримова, У.Рахмонова, Е.В. Ан, Д.А. Бекмирзаева, а также Ш.Маматкулова, Б.Мардонова, К.С.Султанова, Т.Мавлонова, Б.Э.Хусанова Ш.М.Сибукаева, Т.Т.Сабирова и др. теоретически и экспериментально исследована сейсмостойкость подземных трубопроводов по учету взаимодействия труб с окружающим грунтом и его волнового характера.

Научные исследования по сейсмостойкости подземных сооружений, взаимодействующих с грунтом, проведены такими крупными учеными мира, как Т.D. O’rourke, M.J. O’rourke, Sh. Okamoto, L.R. Wang, M. Kitaura, M. Miyajima, T. Iwamoto и T. Yamaji, Meng Hai, S. Takashi, T. Tanaka, Д.Д. Баркан, В.А. Ильичев, Я.М. Айзенберг, А.С. Гехман, А.Г. Назаров, А.Б. Айбиндер, Ш.Г. Напетваридзе, П.П. Бородавкин, Н.Н. Булычев, А.А. Александров, Н.С. Фотиева, М.Ш. Исраилов, А.Г. Касимов, Э.Н. Фигаров и др.

Интенсивное развитие современных городов и экологические требования к снижению загрязнения окружающей среды расширяют

диапазоны подземного строительства в сейсмоактивных районах, а следовательно, вызывают необходимость в научно-исследовательских работах по изучению влияния конкретных грунтовых условий. При строительстве подземных сооружений в различных грунтах, в том числе, и в водонасыщенных и в разжиженных, следует учитывать изменения свойств грунта по глубине и нарушенности его структуры. Во многих известных случаях эти факторы оказывались определяющими в поведении подземных сооружений при сейсмических воздействиях. В силу этого важнейшей задачей является исследование сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в вышеприведенных условиях. В связи с этим актуальным становится вопрос исследования взаимодействия подземных полимерных трубопроводов с окружающим их грунтом.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного и научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ Института механики и сейсмостойкости сооружений ГНТП-А-5-060 «Дифференцированная оценка сейсмических воздействий на подземные системы жизнеобеспечения, разработка рекомендаций по обеспечению их сейсмостойкости и уменьшению ущерба» (2006–2008); Ф-1.2.2 «Развитие сейсмодинамической теории подземных сооружений при учете влияния степени водонасыщенности, изменения свойств по глубине и нарушенности структуры окружающего грунта» (2003–2007); ФА-Ф8-Ф086 «Исследование проблем взаимодействия в системе «твердое деформируемое тело–грунт», учитывающих липкость, влажность и структурную неоднородность грунта (при сейсмических нагружениях)» (2007–2011); Ф4-ФА-Ф047 «Сейсмодинамика подземных трубопроводных систем сложной конфигурации, расположенных в грунтах с нарушенной структурой» (2012–2016); 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» (2015–2017).

Целью исследования является разработка методов оценки сейсмонапряженного состояния подземных полимерных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия, расположенных в структурно неоднородных грунтах.

Задачи исследования:

разработать критерии дифференцированной оценки сейсмических и взрывных воздействий на системы трубопроводов, методику классификации и прогноза повреждаемости подземных полимерных трубопроводов при сейсмических воздействиях;

определение переменного коэффициента взаимодействия с учетом влажности грунта вдоль продольной оси трубопровода;

разработать методику численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов с учетом переменного коэффициента взаимодействия;

разработать методику численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов при произвольном сейсмическом нагружении.

Объектом исследования являются подземные трубопроводные системы жизнеобеспечения: водоснабжения, канализации, газоснабжения, нефтепроводы из полимерных материалов в сейсмоактивных районах.

Предмет исследования – оценка безопасности полимерных трубопроводов при сейсмических нагружениях с учетом переменного коэффициента взаимодействия в системе «труба-грунт».

Методы исследования. В процессе исследования применены методы механики деформируемого твердого тела, механики грунтов и строительной механики, математического моделирования, метод конечных разностей для численного расчета динамических параметров, методы вычислительного эксперимента.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработаны критерии дифференцированной оценки сейсмических и взрывных воздействий на системы трубопроводов, классификация и прогноз повреждаемости подземных полимерных трубопроводов при сейсмических воздействиях;

определен переменный коэффициент взаимодействия вдоль оси трубопровода с учетом влажности грунта;

разработана методика численного расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов с учетом переменного коэффициента взаимодействия;

разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния подземных полимерных трубопроводов при произвольном направлении сейсмических нагрузок.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

усовершенствована методика классификации и прогноза повреждаемости подземных полимерных трубопроводов при сейсмических воздействиях;

разработаны математическая модель и программа численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного полимерного трубопровода, расположенного в неоднородных и водонасыщенных грунтовых условиях;

разработаны рекомендации по снижению сейсмических воздействий подземных полимерных трубопроводов с учетом неоднородности грунта в сейсмических районах;

разработанные методики по применению подземных полимерных трубопроводов в сейсмических районах внедрены в процесс проектирования и строительства (объект «Система водоснабжения по улице Хамрох», Наманганская область, ГУП «Сувсоз» в г.Ташкент) при этом повышено качество работ и производительность труда на 10-20%, а также за счет коррозиостойкости полимерных трубопроводов срок их службы увеличен в 2 раза.

Достоверность результатов исследования и его выводов подтверждается использованием общепринятых допущений в строительной

механике и хорошей качественной согласованностью с результатами, полученными другими исследователями в ходе натурных и лабораторных экспериментов и изучения последствий сильных землетрясений.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что разработана методика численного расчета полимерных трубопроводов с учетом проведенных экспериментальных исследований по определению взаимодействия трубопроводов с окружающим грунтом.

Практическая значимость результатов исследования подтверждается тем, что полученные результаты по совершенствованию сейсמודинамического расчета подземных полимерных трубопроводов рекомендуется включить в качестве дополнения в нормативные документы по проектированию и строительству подземных сооружений. Эти результаты служат в определенной степени ускорению процесса проектирования и строительства подземных трубопроводов, повышению качества работ, стабильной и сложной работы, а также существенному повышению сейсмобезопасности, снижению ресурсных и финансовых затрат и уменьшению ущерба при возможных землетрясениях.

Внедрение результатов исследования. На основе научных результатов исследования оценки сейсмонапряженного состояния подземных полимерных трубопроводов получены:

методики расчета по обеспечению сейсмостойкости подземных трубопроводов и снижению уровня сейсмической повреждаемости существующих объектов подземных сооружений внедрены в деятельности Министерства чрезвычайных ситуации Республики Узбекистан при оценке уровня повреждаемости подземных сооружений и последствий землетрясений (справка по внедрению Министерства чрезвычайных ситуациях Республики Узбекистан от 18 октября 2017 года, № 2/4/15-2332). Внедрение научных результатов будет способствовать снижению ущерба и последствий возможных сильных землетрясений, а также повышению безопасности жизни людей, рациональному и адресному распределению материально-технических ресурсов.

методика расчета подземных полимерных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия, расположенными в водонасыщенных грунтах в сейсмических районах, внедрены в процессе проектирования и строительства ГУП «Сувсоз» (справка по внедрению Государственного комитета по архитектуре и строительству Республики Узбекистан от 06 ноября 2017 года, № 12184/10-05). Внедрение научных результатов способствовало обеспечению ресурсосбережения, повышению качества работ и производительности труда на 20%, а также увеличению срока службы подземного трубопровода в 2 раза.

методика определения напряжений подземных полимерных трубопроводов, расположенных в структурно-неоднородных и водонасыщенных грунтах, а также разработанные рекомендации по уменьшению сейсмических воздействий на подземные полимерные

трубопроводы с учетом неоднородности грунтов в сейсмических районах, внедрены при проектировании и строительстве на предприятии «KELAJAK-S» (акт внедрения от 4 июля 2017 года ЧП «KELAJAK-S»). Внедрение научных результатов в строительном объекте за счет применения полимерных трубопроводов позволило получить 20-25% экономического эффекта и обеспечить сейсмическую безопасность.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 8 международных и 9 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 28 научные работы. Из них 11 научных статей, в том числе 8 республиканских и 3 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа 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, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Фактические данные о поведении подземных трубопроводов при землетрясениях и развитии сейсמודинамической теории сооружений**» приведены фактические данные о поведении подземных трубопроводов при землетрясениях и развитии сейсמודинамической теории сооружений. Изучено современное состояние сейсמודинамики подземных трубопроводов, описаны параметры движения грунта и реакции трубопроводов при сильных землетрясениях, изучена повреждаемость трубопроводов. Рассмотрены результаты обследований и проанализированы последствия землетрясений на подземные трубопроводы, произошедших в городах мира. Проведена классификация и сформулирован прогноз повреждаемости подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях, а также даны анализ и оценка сравнительных данных повреждений традиционных и полимерных трубопроводов при землетрясениях.

На основе проведенного анализа последствий землетрясений на подземные трубопроводы разработана классификация, осуществлен прогноз повреждаемости и удельных аварийностей при сейсмических воздействиях.

Проанализированы основные факторы, влияющие на повреждения подземного трубопровода и дана характеристика повреждения при сейсмическом воздействии.

Данные о повреждениях трубопроводов при землетрясении показывают, что при малой интенсивности повреждения трубопровода в слабом грунте могут быть выше, чем при высокой интенсивности в жестком основании. На повреждения трубопровода в результате землетрясения сильно влияют грунтовые условия. Различные характеристики окружающего грунта также вызывают разное число повреждений (рис.1), которое может проявляться в виде активного разлома, его разжижения и оползня.



Рис. 1. Повреждения трубопроводов, проложенных в различных грунтовых условиях

Установление зависимости между интенсивностью сейсмического воздействия и удельной аварийностью подземных трубопроводов, позволяет в соответствии с данными сейсморайонирования территории и характеристиками проложенных в ней трубопроводов провести заблаговременный прогноз возможной ситуации, дать оценку уровня возможной сейсмической опасности и разработать план управления сейсмическим риском.

Ярким примером высокой степени надежности полиэтиленовых трубопроводов, в силу их высокой эластичности, может служить анализ разрушений газопроводов при землетрясении, произошедшем в 1995 г. в Кобе и Крайстчерч. При практически полном разрушении газопроводов из материалов, характеризующихся большой жесткостью, полиэтиленовые газопроводы выдержали значительные смещения земли без нарушения герметичности.

Таким образом, установлено, трубы из полиэтилена выдержали нагрузки во время землетрясения. Данные по статистике разрушений элементов газопроводов низкого давления во время землетрясения в г. Кобе показывают, что полиэтиленовые трубы являются пока единственным типом труб, которые сохраняют работоспособность при землетрясениях. После землетрясения в Кобе преимущественное применение полиэтиленовых труб для газо- и водоснабжения было закреплено законодательно во всей Японии.

Анализ последствий сильных землетрясений последних лет показывает, что, в основном получают повреждения подземные трубопроводы и их системы, уложенные в рыхлых грунтах, подверженных разжижению. Почти 80% поврежденных водопроводов, были проложены в разжиженных местах грунта в г. Крайстчерч. При аналогичных грунтовых условиях такие полимерные трубопроводы и гибкие системы, как поливинилхлорид (ПВХ) и

полиэтилен (ПЭ), повреждаются в несколько раз меньше, чем трубы из других материалов.

Виды повреждений разнообразны и зависят от грунтовых условий, материалов трубопроводов, конструктивных особенностей и других факторов. Наибольшие повреждения наблюдаются в виде разрыва в местах поворотов, соединений колодцам и резервуарам, выпирания тыков, подъема колодцев и др.

Во второй главе диссертации «**Определение параметров взаимодействия подземных трубопроводов с окружающим их грунтом, с учетом его влажности**» рассмотрены экспериментальных и теоретико-экспериментальных исследований по взаимодействию полимерных труб с окружающим грунтом. Дан обзор отечественных и зарубежных экспериментальных исследований по определению параметров взаимодействия подземных труб с окружающим грунтом. Описана методика проведения экспериментальных исследований по определению коэффициентов продольного взаимодействия полимерных труб с окружающим грунтом. Экспериментально определен коэффициент продольного взаимодействия полимерных трубопроводов с окружающим водонасыщенным грунтом. Охарактеризовано теоретико-экспериментальное определение параметров взаимодействия подземных трубопроводов.

Эксперименты проводились со стальными и полимерными трубами, уложенными в песчанке и суглинке (рис.2).

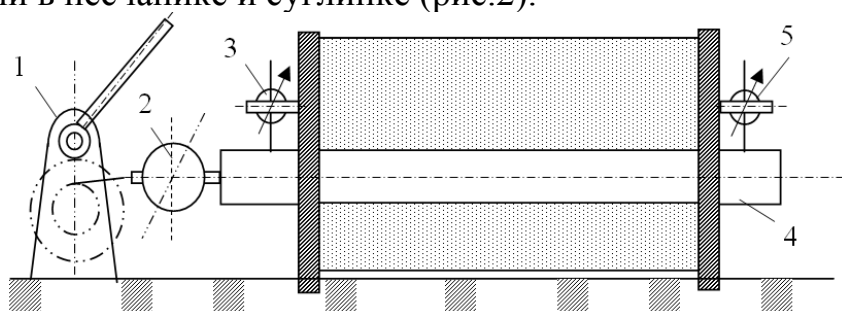


Рис. 2. Схема установки для изучения продольного взаимодействия трубы с грунтом.

Для экспериментального исследования взаимодействия трубопроводов с грунтом была сконструирована установка, представляющая собой платформу размерами 1.75x1x1 м, при этом использована методика Т.Рашидова и Г.Хожметова.

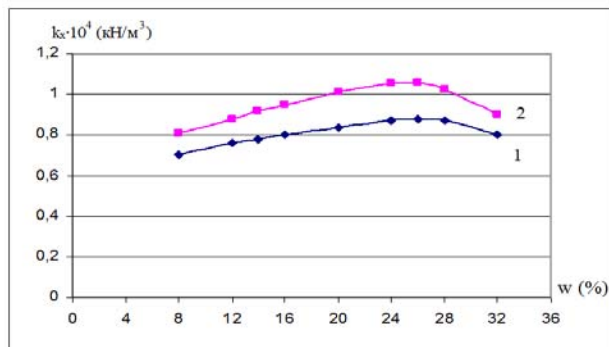


Рис. 3. Зависимость коэффициента продольного взаимодействия от влажности грунта: 1 – песок; 2 – суглинок; h = 0.6м.

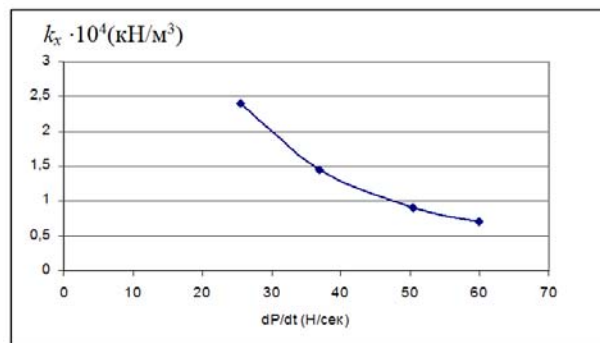


Рис. 4. Кривая зависимости k_x от скорости нагружения стальной трубы при h=0.6 м и W=28%.

Для проведения экспериментов по определению коэффициента продольного взаимодействия трубопровода с грунтом были выбраны трубы длиной $l=2$ м из стали и полиэтилена, диаметры которых составляли 0.09 м. В качестве грунта выбраны песок и суглинок. Эксперименты проводились при глубинах заложения от 0.3 м до 1.2 м. Влажность грунтов менялась в пределах 8 – 32 %.

По результатам экспериментов была определена зависимость коэффициента взаимодействия от влажности грунта (рис.3). Из графиков видно, что на рассматриваемой глубине заложения с изменением влажности грунта коэффициент k_x достигает максимального значения при 26% и в дальнейшем он уменьшается.

Проведена серия экспериментов для исследования влияния скорости нагружения на параметры взаимодействия трубы с грунтом. При этом для четырех режимов нагружения продольное усилие на трубу возрастало в среднем за каждые 10 с на 250, 320, 530, 600Н. С ростом скорости нагружения коэффициент продольного взаимодействия k_x уменьшается (рис.4).

В третьей главе диссертации **«Исследование напряженно-деформированного состояния подземных труб, расположенных в водонасыщенной грунтовой среде, при сейсмических воздействиях»** рассмотрены способ учета водонасыщенности грунтовой среды вдоль продольной оси трубопровода и методика построения переменного коэффициента взаимодействия. Разработана методика и создан комплекс прикладных программ по численной реализации задачи о продольных колебаниях подземных полимерных трубопроводов при переменном коэффициенте взаимодействия с грунтом. Приведены результаты решения дифференциального уравнения движения подземного полимерного трубопровода с переменным коэффициентом взаимодействия с грунтом.

Известно, что водонасыщенность грунтовой среды, в которой находится подземный трубопровод, существенно влияет на напряженно-деформированное состояние последнего. Отметим, что в общем случае постановка задачи, учитывающая влияние водонасыщенности грунта, должна, кроме всего прочего, включать соотношения для влажности w , зависящей от (x, y, z, t) , и рассмотрение соответствующих уравнений для различного геометрического расположения сооружения и источника влаги. В практических целях следует искать определенные упрощения для различных случаев расположения сооружения и источника влаги.

Согласно полученным результатам, приведены аппроксимации зависимости k_x от w . С этой целью аппроксимируем кривые 1 и 2 из рис. 3 квадратными трехчленами вида

$$k_x^{(1)}(w) = a_0^{(1)}w^2 + b_0^{(1)}w + c_0^{(1)} \text{ и } k_x^{(2)}(w) = a_0^{(2)}w^2 + b_0^{(2)}w + c_0^{(2)}. \quad (1)$$

Эта аппроксимация в дальнейшем используется при исследовании продольных колебаний прямолинейного конечного участка трубопровода с учетом влажности окружающего грунта.

На основе полученных экспериментальных кривых (рис.3) приведены 4 варианта изменения переменного коэффициента продольного взаимодействия подземного полимерного трубопровода с грунтом в зависимости от распространения влажности w . По разработанной методике согласно эксперименту, подбираются следующие коэффициенты многочлена формулы (1):

- а) источник влаги расположен под серединой прямолинейного участка трубопровода и его распределение симметрично относительно x ;
- б) источник влаги расположен в начале прямолинейной части трубопровода и распределение влажности уменьшается по оси x ;
- в) источник влаги расположен в конце прямолинейной части трубопровода и распределение влажности увеличивается по оси x ;
- г) скачок влажности в середине трубопровода с 15 на 30% по оси x ;

Для всех вышеназванных случаев получены различные переменные коэффициенты взаимодействия трубопровода с грунтом, которые используются в решении колебательных процессов подземных полимерных трубопроводов.

Рассмотрим продольные колебания прямолинейного конечного участка подземного трубопровода при переменном коэффициенте продольного взаимодействия с грунтом с применением модели Кельвина – Фойгта. В этом случае зависимость между напряжением – деформацией имеет вид

$$\sigma = E\varepsilon + \eta \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}. \quad (2)$$

Если учесть соотношение (2), общее дифференциальное уравнение продольных колебаний подземного полимерного трубопровода в безразмерных величинах примет вид

$$\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{t}^2} = \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2} + \varphi \frac{\partial^3 \bar{u}}{\partial \bar{x}^2 \partial \bar{t}} - D k_x(\bar{x})(\bar{u} - \bar{u}_0). \quad (3)$$

здесь $D = \frac{2Rl^2}{E(R^2 - r^2)}; \varphi = \frac{\eta}{Et_0}.$

Для решения уравнения (3) используется метод конечных разностей второго порядка точности. Разработаны алгоритм и программа расчета подземного полимерного трубопровода с переменными коэффициентами взаимодействия. В качестве примера рассмотрим два граничных условия.

Для левого конца трубы ставим условия жесткого и упругого закрепления, на правом конце условия принимаем свободными:

$$\left. \begin{aligned} u(0, t) &= 0 \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4). \quad \left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} &= k_N(u - u_0) \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5).$$

Начальные условия принимаем в виде

$$u|_{t=0} = u_0; \quad \dot{u}|_{t=0} = \dot{u}_0. \quad (6)$$

С учетом начальных условий (6) решена задача определения напряженно-деформированного состояния подземного полимерного трубопровода с использованием прямой и обратной прогонок при каждом шаге времени τ ($\tilde{t} = \tau \cdot j, 0 \leq j \leq M$).

После определения перемещений продольные напряжения полимерной трубы вычисляются по формуле (2). Для определения значений σ используем метод конечных разностей с учетом заданных граничных условий.

При расчете подземного полимерного трубопровода приняты следующие механические и геометрические параметры системы «труба–грунт»: $E=5 \cdot 10^8$ Па, $\eta=7.7 \cdot 10^5$ Па·с, $\rho=940$ кг/м³, $R=0.11$ м, $r=0.1037$ м, $l=20$ м,

$T=0.3$, $a_0=5.2 \cdot 10^{-3}$ м, $k_N=8 \cdot 10^4$ кН/м. Сейсмическое перемещение грунта принята в виде гармонической функции $u_0(x,t)=a_0 \sin \omega t$. Полученные численные результаты представлены в виде графиков (рис.7).

Граничные условия существенно влияют на характер колебаний трубопровода. Максимальные напряжения в трубопроводе в 7–10 раз больше в случаях заземленного левого и свободного правого концов (рис. 7,а), чем при случае, когда левый упруго закреплен и правый свободный (рис. 7,б). Этот результат согласуется с результатами оценки напряжений трубопровода по последствиям землетрясения, где наибольшие напряжения наблюдаются в местах подключения к массивным сооружениям (колодец, резервуар и т.д.).

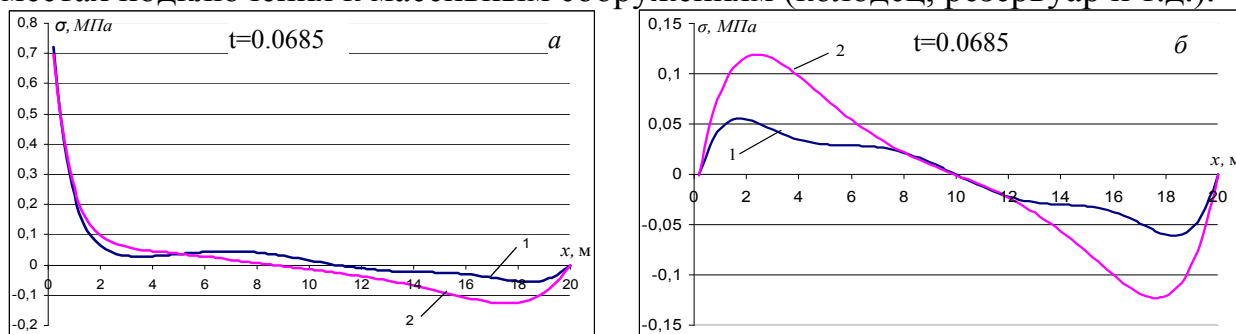


Рис. 7. Изменение напряжений вдоль осей трубопроводов при заданном времени, при различных граничных условиях: 1 – суглинок; 2 – песок

При рассмотрении второго граничного условия продольное напряжение возникает в точке (рис.7,б), здесь возникают как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Для случаев распределения влажности по длине трубы уменьшение значения влажности приводит к уменьшению перемещения. В общем случае в рассматриваемом диапазоне изменения влажности σ достигает максимальных значений при влажности 20-25%.

В случае ступенчатого изменения влажности значения перемещений также изменяются относительно быстро (рис. 8а). Максимальные значения напряжений получены в местах ступенчатого изменения влажности (рис. 8б).

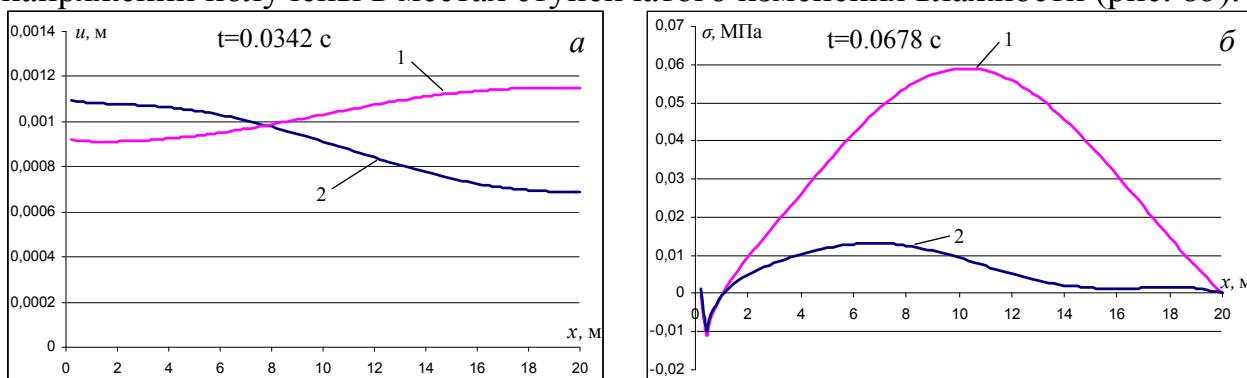


Рис. 8. Изменение продольных перемещений (а) и напряжений (б) вдоль осей трубопроводов при заданном времени: 1–песок, 2–суглинок

Источник влаги в грунте и его распределение по оси трубопровода существенно влияет на его НДС. Особенно это заметно при упругом закреплении концов. На участке резкого изменения физико-механических характеристик грунта происходит увеличение значения напряжения, что приводит к потере прочности и устойчивости подземного трубопровода.

В четвертой главе диссертации «Исследование сейсродинамики вязкоупругих подземных трубопроводов из полимерных материалов» дана постановка задач и построена математическая модель задачи

сейсמודинамики подземных полимерных трубопроводов при произвольном направлении сейсмического нагружения. Приведены системы дифференциальных уравнений с граничными и начальными условиями. Решен ряд задач с анализом численных результатов сейсמודинамики подземных полимерных трубопроводов. Разработаны методики и компьютерная реализация решения задач сейсמודинамики подземных полимерных трубопроводов. Исследовано НДС полимерных трубопроводов при воздействии сейсмической нагрузки.

Подземные трубопроводы из полимерных материалов, применяемые в современном строительстве, обладают податливостью к большим деформациям. Для определения механических характеристик необходимо построить математическую модель, отражающую физический смысл и концептуальные закономерности механического поведения полимерного материала. Рассмотрена интегральная модель связи между напряжениями и деформациями для вязкоупругих тел по наследственной теории Больцмана–Вольтерра со слабосингулярными ядрами наследственности. Модель Больцман–Вольтерра с сингулярными ядрами наследственности типа Абеля хорошо согласуется с экспериментами и правильно учитывает фактор времени, связанный с ползучестью деформации и релаксацией напряжений.

Связь между напряжениями и деформациями подземных полимерных трубопроводов имеет вид

$$\sigma = E \left[\varepsilon(t) - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \varepsilon(\tau) d\tau \right]. \quad (7)$$

С учетом формулы (7) в безразмерных величинах дифференциальное уравнение продольных колебаний полимерного трубопровода принимает вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \left(1 - \int_0^t \Gamma(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau \right) - D_1 k_x(x)(u - u_0), \quad (8)$$

где $D_1 = \frac{2Rl^2}{E(R^2 - r^2)}$.

Реологические свойства трубопровода учитываются с помощью слабосингулярного ядра Колтунова–Ржаницына с тремя, следующими реологическими параметрами A_b , β и α вида:

$$\Gamma(t) = \bar{A}_b e^{-\bar{\beta}t} t^{\alpha-1}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad [\bar{\beta}] = c^{-1}, \quad [\bar{A}_b] = c^{-\alpha}; \quad (9)$$

где A_b –параметр вязкости; β –реологический параметр вязкости; α –параметр сингулярности ядра наследственности, определяемый экспериментально.

Используя преобразования в подынтегральном выражении, получается дифференциальные уравнения и аппроксимируются центральными разностными схемами второго порядка точности и решаются относительно $u_{k,j+1}$ ($k=i-1, i, i+1$) следующим образом:

$$\begin{aligned} u_{i,j+1} = & \frac{\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) u_{i-1,j} + \left[2 - \tau^2 D k_i - \frac{2\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) \right] u_{i,j} + \\ & + \frac{\tau^2}{h^2} \left(1 - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \right) u_{i+1,j} - u_{i,j-1} + D \tau^2 k_i u_{0i,j}. \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрим случай при граничных условиях, когда оба конца заземлены и начальные условия нулевые.

Решена задача о продольных колебаниях подземного полимерного трубопровода со следующими механическими и геометрическими параметрами и его взаимодействия с грунтом: $E=5 \cdot 10^2$ МПа; $R=0.2$ м; $\rho=940$ кг/м³; $A=0.002$ м; $l=10$ м; $k_x=1.2$ кН/м³; $T=0.2$. Сейсмическое перемещение грунта, действующее вдоль оси трубопровода, принято в виде гармонического перемещения $u_0(x,t) = a_0 \sin st$.

На основе разработанного алгоритма выполнена компьютерная реализация задачи и по полученным результатам построены графики изменения перемещений и напряжений по координате и времени.

Анализ полученных результатов показывает, что учет вязкоупругих свойств материала трубопровода приводит к уменьшению значения напряжения по времени (рис.9–10).

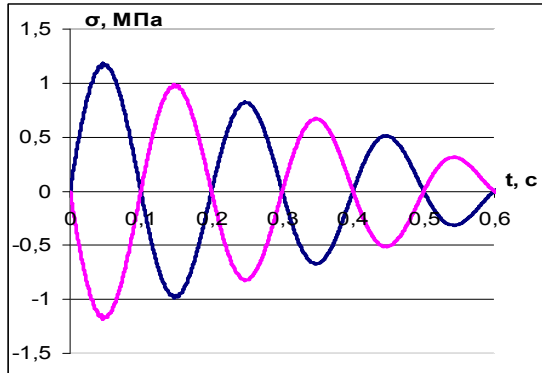


Рис. 9. Изменение значения напряжений трубопровода по времени в сечениях: 1– $x=0$; 2– $x=L$

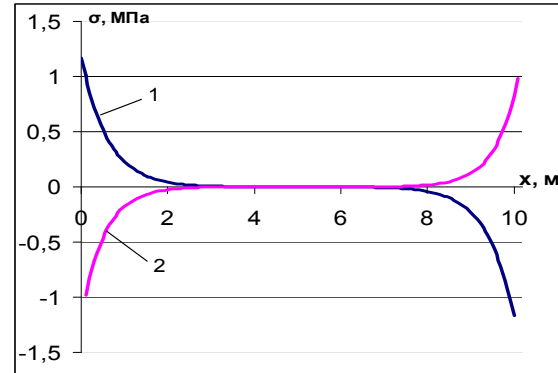


Рис. 10. Изменение значения напряжений вдоль оси трубопровода в заданном времени: 1– $t=0.052$ с; 2– $t=0.146$ с

Рассматривается прямолинейный подземный полимерный трубопровод, взаимодействующий с окружающим грунтом, при действии сейсмического воздействия произвольного направления в горизонтальной плоскости.

При учете сил взаимодействующего трубопровода с грунтом получим систему дифференциальных уравнений движения подземного полимерного трубопровода с соответствующими начальными и граничными условиями.

Как и в предыдущей задаче, используем слабосингулярное трехпараметрическое ядро Ржаницына–Колтунова, имеющее слабую особенность типа Абеля. Для устранения такой слабой особенности используем преобразования в подынтегральном выражении, согласно вышеуказанной методике.

После введения векторов перемещения внешних сил преобразований получим дифференциальное уравнение движения, граничные и начальные условия в следующей общей безразмерной векторной форме:

$$M \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} + A \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} A \frac{\partial^2 Y(t_n - t_k)}{\partial x^2} + B \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} B \frac{\partial Y(t_n - t_k)}{\partial x} +$$

$$+ CY - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} DY(t_n - t_k) = Q. \quad (11)$$

Граничные условия:

$$\left[\bar{A} \frac{\partial Y}{\partial x} - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \bar{A} \frac{\partial Y(t_n - t_k)}{\partial x} + \bar{C} Y - \frac{A_b}{\alpha} \sum_{k=1}^n B_k^b e^{-\beta t_k} \bar{C} Y(t_n - t_k) \right] \delta Y \Big|_x = 0 \quad (12)$$

Начальные условия:
$$\left. \frac{\partial Y}{\partial t} \delta Y \right|_t = 0, \quad (13)$$

где $Q = \left[\frac{l^2 b^2}{a_T^2} \bar{u}_{0x} \frac{q}{EF} \frac{\partial \bar{u}_{0z}}{\partial \bar{x}} \frac{2pl^2 b^2}{a_T^2} \bar{u}_{0z} \right]^T$, $Y = \{u, v, \alpha_1\}^T$, $M, A, B, C, \bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ –

матрицы третьего порядка.

Рассмотрим задачу на плоскости Oxy , трубопровод нагружен в плоскости xy , т.е. сейсмическое перемещение грунта происходит в вертикальной плоскости под углом к продольной оси трубопровода, при этом концы трубопровода заземлены.

Задача решена на основе алгоритма компьютерной реализации. Механические и геометрические параметры приняты в следующем виде: $E=5 \cdot 10^2$ МПа; $\delta=0.08$ м; $R=0.2$ м; $T=0.2$ с; $\rho=940$ кг/м³; $A=0.002$ м; $D_H=0.4$ м; $\omega=2\pi/T$; $C_p=1000$ м/с; $\varepsilon=0.8$; $\mu_{zp}=0.2$; $\mu_{mp}=0.24$; $A_b=0.1$; $\alpha=0.25$; $\beta=0.05$; $u_{0x}(x,t) = A \sin \omega t \cdot \cos \alpha$; $u_{0y}(x,t) = A \sin \omega t \cdot \sin \alpha$. Длина рассматриваемой трубы 10 м, $\alpha=30^\circ$.

Получены численные результаты для перемещений и силовых факторов с учетом граничных условий. Результаты представлены в виде графиков. При расчете трубопровода на сейсмостойкость использованы варианты задания движения почвы при землетрясениях в виде синусоиды (гармонический закон, затухающей и бегущей волны) (рис.11-13).

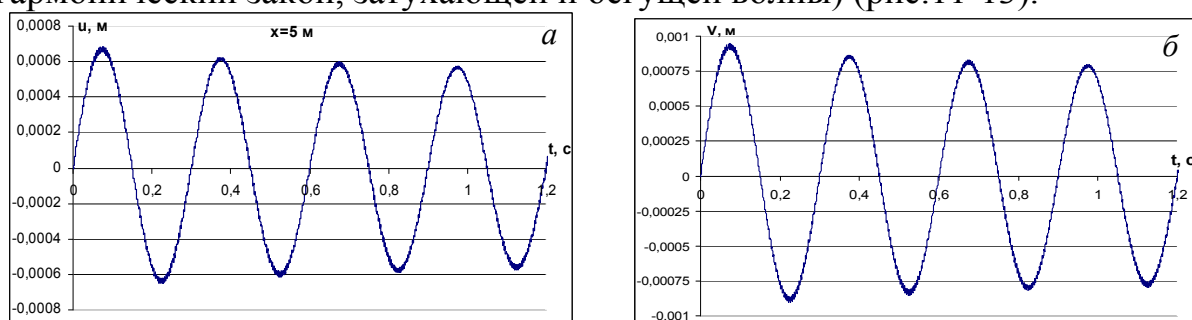


Рис. 11. Изменение продольного перемещения u и V трубопровода по времени на расстоянии $x=5$ м и вдоль оси при заданном времени t при $\alpha=30^\circ$

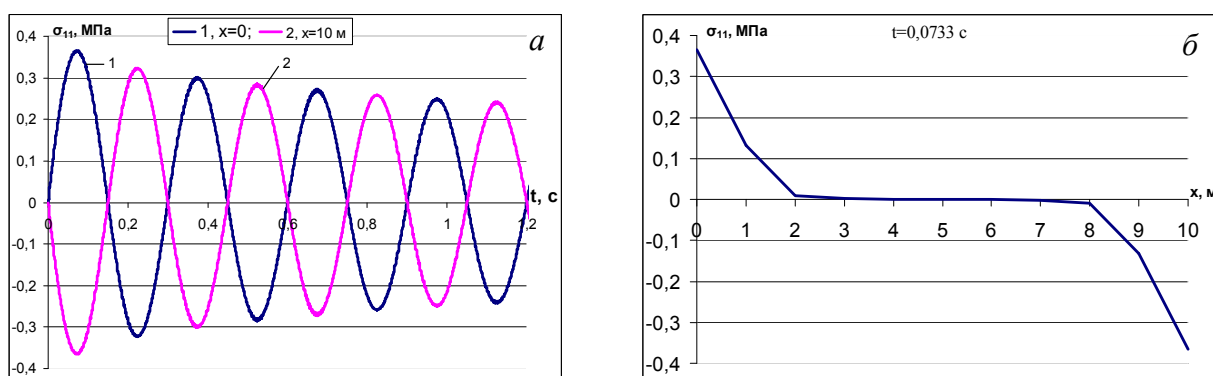


Рис. 12. Изменение нормального напряжения трубопровода по времени на расстоянии $x=0$, $x=10$ м и вдоль оси при заданном времени t при $\alpha=30^\circ$

Анализ полученных результатов о совместных продольных и поперечных колебаниях подземных полимерных трубопроводов при различных законах сейсмического нагружения показывает следующее. Вязкоупругие свойства полимерного трубопровода приводят к гашению внешних сейсмических воздействий, а следовательно, и к меньшей

повреждаемости, что тем самым повышает прочность и устойчивость этих сооружений.

Полученные результаты работы по принятой модели полимерного трубопровода и характер внешнего сейсмического воздействия позволяют адекватно описать его поведение и вполне согласуются с анализом последствий землетрясений, произошедших в мире, анализ которых приведен в первой главе.

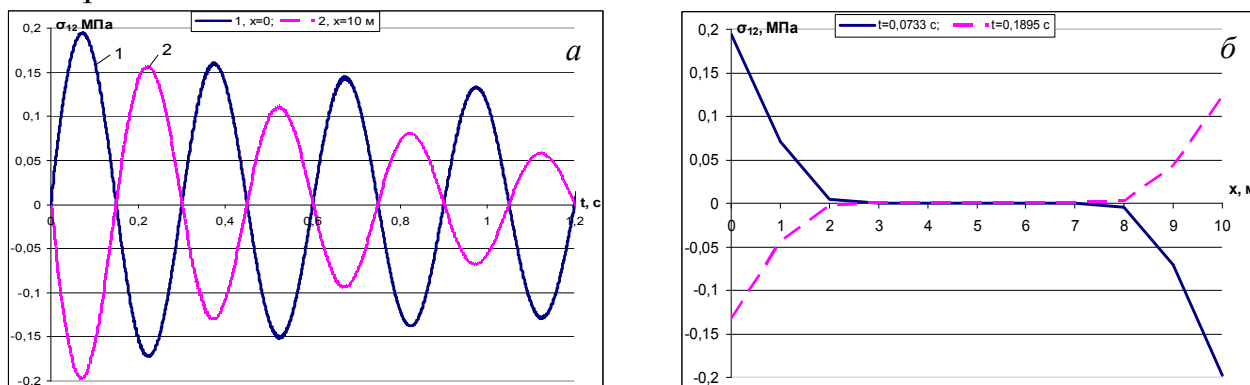


Рис. 13. Изменение касательного напряжения трубопровода по времени на расстоянии $x=0$, $x=10$ м и вдоль трубопровода в заданное время t при $\alpha=30^\circ$

На основе выполненных исследований разработаны рекомендации по уменьшению сейсмических воздействий на полимерные трубопроводы, в которых внимание акцентируется на условия закрепления концов трубопровода и неоднородность грунтовых условий.

Все указанные мероприятия должны подтверждаться расчетом НДС по вышеуказанным методикам для конкретных условий укладки, свойств грунта и материала трубопроводов, а также характера внешнего воздействия. Эти проблемы особенно вопросы применения полимерных трубопроводов в сейсмических районах ныне занимают одно из центральных мест в мировой научной литературе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследований, проведенных по теме «Сейсמודинамика подземных полимерных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия» диссертации доктора философии (PhD) представлено следующее заключение:

1. На основе анализа последствий землетрясений на подземные трубопроводы разработана их классификация, выявлены критерии повреждаемости и составлен прогноз ожидаемых повреждений и разрушений в зависимости от интенсивности сейсмического воздействия. Определена зависимость поведения подземных трубопроводов при землетрясениях от физико-механических свойств окружающего грунта, материала, геометрических размеров и конструктивных особенностей трубопровода, глубины его заложения, соотношения фронта сейсмической волны к направлению продольной оси трубы.

2. Экспериментально определен коэффициент продольного взаимодействия полимерных труб с окружающим грунтом в зависимости от

изменения влажности окружающего грунта и проведена серия экспериментов по исследованию влияния скорости нагружения на параметры взаимодействия трубы с грунтом. На основе приближенных теоретических формул проведены теоретико–экспериментальные исследования по определению параметров взаимодействия подземных трубопроводов с окружающим грунтом.

3. Разработана методика построения переменного коэффициента взаимодействия трубопровода с грунтом. Построены графики распределения переменного коэффициента взаимодействия по координате для четырёх случаев изменения влажности вдоль продольной оси трубопровода, на основе проведенных экспериментальных исследований на полимерных трубах.

4. Решены задачи продольных колебаний подземного полимерного трубопровода с переменными коэффициентами взаимодействия для различных условий закрепления концов трубопровода и рассмотрены четыре вида закона распределения влажности вдоль оси трубопровода. Определено напряженно-деформированного состояния полимерных трубопроводов с учетом влияния условий закрепления, грунтовых условий, то есть степень влажности и изменение ее режима по длине трубопровода.

5. Связь между напряжением и деформацией принята в виде интегральной модели для вязкоупругих тел по наследственной теории Больцмана–Вольтерра со слабосингулярными ядрами наследственности типа Абеля. Решена задача о продольном колебании подземного полимерного трубопровода при динамическом воздействии. Учет вязкоупругих свойств материала трубопровода приводит к уменьшению значения напряжения по времени.

6. Выведены совместные уравнения продольных и поперечных колебаний подземного полимерного трубопровода при произвольном направлении сейсмического нагружения. Построена вычислительная схема задачи с применением центральных конечно-разностных соотношений метода конечных разностей. Проведен анализ полученных результатов о совместных продольных и поперечных колебаниях подземных полимерных трубопроводов при различных законах сейсмического нагружения, анализ вышеприведенных задач показывает, что вязкоупругие свойства полимерного трубопровода способствует гашению внешних сейсмических воздействий, что соответственно приводит к меньшей повреждаемости и тем самым повышает прочность и устойчивость этих сооружений.

7. Разработаны рекомендации по уменьшению сейсмических воздействий на полимерные трубопроводы, при соблюдении условий закрепления концов трубопровода и учета неоднородности грунтовых условий.

**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**

NAMANGAN ENGINEERING - CONSTRUCTION INSTITUTE

NISHONOV NEMATILLA ASATILLAYEVICH

**SEISMIC BEHAVIOR OF UNDERGROUND POLYMER PIPING
WITH VARIABLE INTERACTION COEFFICIENTS**

**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 № B2017.2.PhD/T.157.

The dissertation is carried out at the Namangan Engineering - Construction Institute.

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 adress (www.ziynet.uz).

Scientific adviser:

Rashidov Tursunbay

doctor of technical sciences, professor, academision

Official opponents:

Kayumov Abdubaki Djalilovich

doctor of technical sciences, professor

Teshabaev Zohidjon Rahmatovich

candidate of technical sciences, senior researcher

Leading organization:

Tashkent Railway Engineering Institute

The defense of the dissertation will take place on «____» _____ 2017 at 10⁰⁰ o'clock at the meeting of 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 (Address: 100060, Tashkent, A.Temur street, 20. Phone.: (99871) 232-14-79, e-mail: tadi_info@edu.uz).

The dissertation is registreted in Information-resource center (IRC) of Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automotive Roads (registration number №____). (Address: 100060, Tashkent, A.Temur street, 20. Phone.: (99871) 232-14-79).

Abstract of the dissertation sent out on «____» _____ 2017 year.

(mailing report № ____ on «____» _____ 2017 year).

A.A. Riskulov

Chairman of the Scientific Council for awarding
scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Dotsent

A.M. Baboev

Scientific secretary of Scientific Council for awarding
scientific degrees, Candidate of Technical Sciences

A.A. Ishanxodjaev

Chairman of the academic seminar under the Scientific Council
for awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to develop the methods for estimating seismic stress of underground polymer pipelines with variable coefficients of interaction located in structurally heterogeneous soils.

The task of the research work: to develop criteria for differentiated evaluation of seismic and explosive effects on pipeline systems, the methods, classification and forecast for the damage of underground polymer pipelines under seismic influences; to determine variable coefficient of interaction taking into account moisture content of soil along the longitudinal axis of the pipeline; to develop the methods for numerical calculation of stress-strain state of underground polymer pipelines taking into account the variable coefficient of interaction; to develop a technique for numerical calculation of stress-strain state of underground polymer pipelines under arbitrary seismic loading.

The objects of the research work are the underground pipeline of life-support systems: water supply, sewerage, gas and oil supply pipelines from polymeric materials in seismically active areas.

Scientific novelty of the research work consists in the following: criteria for differentiated evaluation of seismic and explosive effects on pipeline systems, classification and prediction of the damage of underground polymer pipelines under seismic influences are developed; variable coefficient of interaction along the axis of the pipeline is determined taking into account the moisture content of soil; technique for calculating stress-strain state of underground polymer pipelines with account of variable coefficient of interaction is developed; a technique for calculating the stress-strain state of underground polymer pipelines for an arbitrary direction of seismic loads is developed.

The outline of the thesis. Based on the results of research conducted within the framework of research topic "Seismodynamics of underground polymeric pipelines with variable coefficients of interaction" of the Ph.D. thesis the following conclusions are derived:

Based on the analysis of earthquakes aftermaths on underground pipelines, their classification was developed; the criteria for damage were developed, as well as prediction of the expected damage and destruction, depending on the intensity of seismic effect. The dependence of the behavior of underground pipelines during the earthquakes on physical and mechanical properties of surrounding soil, material, geometric dimensions and design features of the pipeline, the depth of its construction, the ratio of seismic wave front vs direction of the longitudinal axis of the pipe is determined.

The coefficient of longitudinal interaction of polymer pipes with surrounding soil was experimentally determined, depending on the change in moisture content of surrounding soil; and a series of experiments was conducted to study the influence of the loading rate on the parameters of soil-pipe interaction. On the basis of approximate theoretical formulas, theoretical and experimental studies were carried out to determine the interaction parameters of underground pipelines with surrounding soil.

A methodology has been developed for constructing a variable coefficient of interaction between the pipeline and soil. The graphs of the distribution of the variable coefficient of interaction along the co-ordinate for four cases of moisture-

content change along the longitudinal axis of the pipeline are constructed, based on experimental studies carried out on polymer pipes.

The problems of longitudinal oscillations of underground polymeric pipeline with variable coefficients of interaction for various conditions of fixing the ends of a pipeline are solved and four types of the law of distribution of moisture-content along the pipeline axis are considered. The stress-strain state of polymeric pipelines is determined taking into account the effect of the fixing conditions, ground conditions, that is, the degree of moisture-content and the change in its regime along the length of the pipeline.

The relationship between stress and strain is adopted as an integral model for viscoelastic bodies by the Boltzmann-Volterra hereditary theory with weakly singular kernels of heredity of Abel-type. The problem of longitudinal oscillation of underground polymeric pipeline under dynamic action is solved. An account of viscoelastic properties of the pipeline material leads to a decrease in stress value over time.

The joint equations of longitudinal and transverse oscillations of an underground polymer pipeline are derived for an arbitrary direction of seismic loading. A computational scheme of the problem is constructed using the central finite-difference relations of the method of finite differences. The analysis of the obtained results on joint longitudinal and transverse vibrations of underground polymer pipelines under different laws of seismic loading is carried out. The analysis of the above problems shows that the viscoelastic properties of the polymer pipeline contribute to damping of external seismic action, which consequently leads to less damage and thus increases the strength and stability of these structures.

Recommendations have been developed to reduce seismic effects on polymer pipelines, while observing the conditions for fixing the ends of the pipeline and considering the heterogeneity of ground conditions.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Маматкулов Ш., Мухамедова С.М., Нишонов Н.А. Вопросы определения коэффициента податливости стыков трубопроводов, контактирующих с однородными упруго-вязкими полимерными материалами // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2007. –№3. –С. 65-68. (05.00.00; №6).
2. Мухамедова С.М. Нишонов Н.А., Абдукадыров Д.Д. Опыт Хансин-Аваджского землетрясения по восстановлению газоснабжения // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. – 2007. – № 5. – С. 64-69. (05.00.00; №6).
3. Нишонов Н.А. Экспериментальные исследования взаимодействия подземных полимерных труб с водонасыщенным грунтом // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2009. – № 5-6. – С. 95-99. (05.00.00; №6).
4. Маматкулов Ш., Собиров Т. Нишонов Н. Учет водонасыщенности грунтовой среды вдоль продольной оси подземного трубопровода и построение переменного коэффициента взаимодействия с грунтом // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2012. –№1. – С. 26-29. (05.00.00; №6).
5. Нишонов Н.А. Колебания подземных трубопроводов с переменными коэффициентами взаимодействия при сейсмических нагрузках // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2013. –№3-4. – С. 30-36. (05.00.00; №6).
6. Нишонов Н.А., Бекмирзаев Д.А. Импульс кучлар таъсиридаги ер ости кувурлари сейсмодинамикаси масалаларини ҳисоблаш // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2014. –№ 3-4. – С. 21-26. (05.00.00; №6).
7. Нишонов Н.А. Динамическое поведение подземных вязкоупругих трубопроводов при сейсмическом воздействии // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2016. –№ 1, – С.64-69. (05.00.00; №6).
8. Юлдашев Т., Нишонов Н.А. Исследование НДС подземных полимерных трубопроводов при продольном воздействии // Журнал «Проблемы механики». Ташкент. –2016. –№ 3, – С.120-123. (05.00.00; №6).
9. Rashidov T.R., Nishonov N.A. Seismic Behavior of Underground Polymer Piping with Variable Interaction Coefficients // Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York. July 2016, Vol. 53, Issue 3, –P.196-201. (№11) Springer IF=0.347.
10. Юсупов А., Мухамедова С., Нишонов Н.А. Определение параметров взаимодействия трубопроводов с водонасыщенным грунтом // Вестник Нижегородского университета Н.И. Лобачевского. –2011. –№ 4. –Ч.4. –С. 1645 – 1647.
11. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Бекмирзаев Д.А., Ан Е.В., Нишонов Н.А. Современные проблемы сейсмодинамики подземных трубопроводных систем жизнеобеспечения и направление дальнейших исследований // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н.Исанова. Вестник 1(51) –2016. –С.419-427.

12. Юсупов А., Мухамедова С.М., Рашидова Э.С., Нишонов Н.А. Воздействия землетрясений на подземные трубопроводы систем жизнеобеспечения. // Материалы международной конференции «Современные проблемы механики» 28-29 июня 2007 г. Самарканд. – С. 205-209.

13. Нишонов Н.А. Синусоидальные волны в вязкоупругих трубопроводах с учетом взаимодействия с грунтовыми средами. // Материалы республиканской научной конференции «Современной проблемы математики, механики и информационных технологий» посвященной 90-летнему юбилею Национального университета Узбекистана. 8 мая, 2008, – С. 207-209.

14. Юсупов А., Мухамедова С.М. Нишонов Н.А. Классификация и прогноз повреждаемости подземных трубопроводов систем жизнеобеспечения при сейсмических воздействиях. Материалы Международной конференции по распространению упругих и упруго-пластических волн. 28-29 мая 2009 г. Бишкек, Кыргызстан, – С. 385-389.

15. Сабилов Т., Мухамедова С.М., Нишонов Н.А. К вопросу практического расчета подземных полимерных трубопроводов на сейсмическое воздействие в водонасыщенных грунтах. // Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы механики» 23-24 сентября 2009 г. Ташкент. – С. 479-478.

16. Мухамедова С.М., Нишонов Н.А., Муродов А. Особенности использования и эксплуатации трубопроводов из полимерных материалов // Материалы республиканской научно-технической конференции «Композиционные материалы на основе техногенных отходов и местного сырья: состав, свойства и применение» 15-16 апреля 2010 г., Ташкент, – С. 174-176.

17. Нишонов Н.А. Продольные колебания подземных полимерных труб в водонасыщенном грунте // Материалы республиканской научно-практической конференции «Взгляд молодых ученых на актуальные проблемы науки», Ташкент, 29 октября, 2010 г. С. 32.

18. Юсупов А., Мухамедова С., Нишонов Н. Экспериментальные исследования взаимодействия подземных полимерных труб с окружающим грунтом // «Республикада иншоотлар замини ва пойдеворсозлик муаммолари» Республика илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. 20-21 декабрь 2010 й. Тошкент. 76-79 бетлар.

19. Нишонов Н.А. Продольные колебания подземных полимерных труб // Научные труды. Республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте», Посвящается 80-летию, ТашИИТ. 15-16 декабря 2011 г. – С. 215-217.

20. Сабилов Т., Нишонов Н.А., Бекмирзаев Д.А К вопросу построения переменного коэффициента взаимодействия с грунтом для подземного трубопровода из полимерного материала // Международная научно-практическая конференция «Проблемы геомеханики и преподавания

естественных дисциплин», посвященная 60-летию д.т.н. Баймахана Рысбека Баймаханулы 18 октября 2012 г. Алматы. – С. 263-266.

21. Нишонов Н.А. Влияние переменного коэффициента взаимодействия на прочность подземной трубы // “Научный прогресс и инновационное развитие экономики” Материалы Республиканской научно-практической конференции молодых ученых. 5 декабря 2012 г. Ташкент, – С. 31-32.

22. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Нишонов Н. Исследование сейсмодинамики подземных полимерных трубопроводов при импульсивной нагрузке // Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем». Самарканд. 2013. – С.277-282.

23. Нишонов Н.А. Сейсмостойкость подземных полимерных трубопроводов // Республиканской научно-практической конференции молодых ученых посвященной 70-летию Академии наук Республики Узбекистан 26 декабря 2013 г. – С. 131-132.

24. Юсупов А., Нишонов Н.А. Использование полимерных трубопроводов в сейсмических районах // «Курилишда геотехника масалаларини замонавий усуллари ва технологияси» республика илмий-амалий анжуман материаллари II-қисм. Тошкент. –2014. – С. 119-123.

25. Нишонов Н.А. Алгоритм решения подземных полимерных трубопроводов при динамических нагрузках // «Наука, образование, инновации: пути развития». Материалы шестой всероссийской научно-практической конференции 21–24 апреля 2015 г. Петропавловск-Камчатский, Россия: КамчатГТУ, 2015. – С. 21-27.

26. Нишонов Н.А. Бекмирзаев Д.А. Колебания системы подземный «трубопроводов - грунт» с учётом водонасыщенности грунта. // “Ўзбекистонда геотехниканинг долзарб муаммолари ва уларнинг амалий ечимлари” ТАҚИ. Республика илмий – амалий анжуман материаллари II – қисм. Тошкент 2016 й. 51-55 б.

27. Рашидов Т., Юлдашев Т., Нишонов Н.А. Исследование сейсмодинамики подземных трубопроводов из полимерных материалов. // «Упругость и неупругость» материалы международного научного симпозиума деформируемых тел, посвященного 105 – летию со дня рождения А.А. Илюшина. Москва. 20-21 января 2016 г. – С. 398-401.

28. Нишонов Н.А. «Оценка удельной аварийности подземных полимерных трубопроводов при землетрясении» «Современное состояние и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования» материалы международной научно-технической конференции г. Самарканд. 16 – 17 июня 2017 г. – С. 242-245.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари
«ТАЙИ Хабарномаси» илмий-техник журнали таҳририясида
таҳрирдан ўтказилди

Бичими 60x84^{1/16}. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 41.

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