

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т/ФМ.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

АН ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**НАМЛАНГАН ГРУНТЛАРДА ЖОЙЛАШГАН ҚУВУРЛАРНИНГ
ДИНАМИК УСТУВОРЛИГИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по физико-математическим наукам**
**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on physical and mathematical sciences**

Ан Екатерина Владимировна

Намланган грунтларда жойлашган қувурларнинг динамик устуворлиги.3

Ан Екатерина Владимировна

Динамическая устойчивость трубопроводов, расположенных в
водонасыщенных грунтах 23

Ан Екатерина Владимировна

Dynamic stability of pipelines located in water-full soil 44

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 49

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ВА
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т/ФМ.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ**

АН ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**НАМЛАНГАН ГРУНТЛАРДА ЖОЙЛАШГАН ҚУВУРЛАРНИНГ
ДИНАМИК УСТУВОРЛИГИ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.1.PhD/FM17 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида www.tdu.uz ва «ZiyoNet» ахборот-таълим портали www.ziyounet.uz манзилларига жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рашидов Турсунбой

техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Султанов Карим Султанович

физика-математика фанлари доктори, профессор

Сафаров Исмоил

физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T/FM.03.04 рақамли илмий кенгашнинг 2018 йил «3» март соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси-2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин. (39 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2 уй. Тел.: (99871) 246-46-00.

Диссертация автореферати 2018 йил «19» феврал куни тарқатилди.

(2018 йил «19» февралдаги 42 рақамли реестр баённомаси).

К.А. Каримов

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

Н.Д. Тураходжаев

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

М.М. Мирсаидов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда зилзилавий ҳудудларда намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг устуворлигини таъминлаш алоҳида аҳамият касб этмоқда. Шу жиҳатдан, ер ёриқлари ёки кўчкилар содир бўлиши мумкин бўлган ҳудудлардан, шунингдек намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг устуворлигини таъминлаш учун лойиҳалаш усулларини такомиллаштириш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Бу борада кўпгина ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Япония, Туркия, Италия, Хиндистон, Эрон ва бошқа сейсмик хавфли ҳудудларда ер ости қувурларининг устуворлигини таъминлашга алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда турли хил грунт шароитларида жойлашган қувурларнинг устуворлигини таъминлаш ва бўртиб чиқишининг олдини олишга йўналтирилган мақсадли илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш алоҳида аҳамият касб этади. Бу борада, жумладан ер ости қувурларнинг зилзила оқибатида бўртиб чиқиш омилларини ҳамда қувурларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлаш ва қудукларни кўтарилишини камайтиришга хизмат қиладиган чора-тадбирларни ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқотларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ҳозирги кунда республикамызда ер ости қувур тизимларини зилзилавий ҳудудларда ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқиш ва ер ости қувурларнинг зилзила содир бўлгандаги шикастланиш даражасини баҳолаш, уларнинг турғунлигини таъминлаш, жумладан, намланган грунтларда жойлашган қувурларнинг мустаҳкамлигини ошириш учун сейсмик таъсирларга ҳисоблаш ва лойиҳалаш услубларини такомиллаштириш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилди. Бу борада, жумладан намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларнинг устуворлигини ошириш бўйича янги ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилмоқда. Ушбу йўналишда ер ости қувурларининг сейсмик мустаҳкамлиги масалаларида устуворликни ошириш зарур ҳисобланади. 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 таъкидлаб ўтилган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан намланган грунтларда ётқизилган ер ости қувурларини сейсмик устуворлигини таъминлаш ва устуворликни ҳисоблаш учун компьютер дастурларини яратиш, грунтнинг реологик параметрлари ҳамда қувурнинг геометрик ва механик характеристикаларини унинг устуворлигига таъсирини ва қувурнинг бўртиб чиқиши юзага келиш омилларини аниқлаш ва уларни камайтириш чора-тадбирларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим аҳамият касб этмоқда.

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида», 2017 йил 1 июндаги ПФ-5066-сон «Фавқулодда 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 тўғрисида»ги Қарори ва Вазирлар Маҳкамасининг 2007 йил 3 апрелдаги 71-сон «Фавқулодда ҳолатларни прогноз қилиш ва олдини олиш бўйича Давлат дастури» даги 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 устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика, иншоотлар сейсמודинамикаси ва информатика» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ер ости иншоотларининг грунт билан ўзаро таъсири билан боғлиқ назарий ва тажрибавий илмий тадқиқот ишлари дунёнинг етакчи илмий марказлари, университетлари ва хорижий давлатлар илмий-тадқиқот институтларининг йирик олимлари, жумладан L.R. Wang, T. Tobita, H. Uno, T.D. O'rouke, T. Iwamoto, I. Friedmann, V. Debouvry, K. Wakamatsu ва бошқа олимларнинг илмий ишларида ўрганилган ҳамда маълум даражадаги ижобий натижаларга эришилган.

Мураккаб шаклдаги ер ости иншоотларининг сейсמודинамика назариясини асосий энг муҳим натижалари ЎзР ФА академиги М.Т. Ўрозбоев ва РФ ФА мухбир аъзоси А.А. Ильюшин раҳбарлигида ЎзР ФА академиги Т.Р. Рашидов томонидан олинган. У қувурнинг атрофидаги грунтга нисбатан кўчишини ҳисобга олган. Бу фактларни профессор Г.Х. Хожметов ва ЎзР ФА академиги Я.Н. Муборақов биргаликда тажрибалар асосида ўрганиб чиқишган. Грунт билан ўзаро таъсирда бўлган иншоотлар динамикаси муаммоларида турли математик моделлардан фойдаланилган, шунингдек қувурларни ҳисоблаш билан боғлиқ бўлган алоҳида масалалар турли йилларда А. Абдусаттаров, М.Ш. Исраилов, А. Каюмов, Е.Н. Колмакова, Ш. Маматкулов, Б. Мардонов, А.Х. Маткаримов, И. Мирзаев, М. Мирсаидов, С. Мухамедова, В.А. Омеляненко, С.Ф. Проскурина, Х.С. Сағдиев, К.Д. Салямова, И.Сафаров, Ш.М. Сибукоев, Т.Т. Собиров, К.С. Султанов, З.Р. Тешабаев, М.К. Усаров, А.А. Халджигитов, Б.Э. Хусанов, Т. Юлдашев, А. Юсупов ва бошқа олимлар томонидан кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилган.

Бугунги кунда ўзаро таъсирнинг кинематик моделларидан фойдаланиб, намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг динамик устуворлигини аниқлаш ва ҳисоблаш масалалари тўла ечилмаган. Ер ости қувурининг бўртиб чиқиши юзага келиш ҳолларини ҳисоблаш, қувурнинг геометрик ва механик характеристикаларини, грунтнинг реологик кўрсаткичларини ва шунингдек геометрик чизиксизликни қувурларнинг

устуворлигига таъсирини аниқлаш, “кувур-грунт” тизимида ўзаро таъсирининг кинематик моделларини қўллаган ҳолда, кувур охирида кудук бўлган ер ости кувурининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлашни сонли ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш етарли даражада ўрганилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг ФА-Ф8-Ф086 «Ёпишқоқликни, намликни ва грунт структурасининг бир жинсли эмаслигини ҳисобга олган ҳолда «деформацияланувчи қаттиқ жисм-грунт» ўзаро таъсири тизимидаги тадқиқот (сейсмик кучлар таъсирида)» (2007–2011); Ф4-ФА-Ф047 «Структураси ўзгарган грунтларда жойлашган мураккаб шаклдаги ер ости кувур тизимларининг сейсмодинамикаси» (2012–2016); ФА-А14-Ф019 «Жаҳон миқёсидаги кучли zilзилалар оқибатларини муҳандислик таҳлили ва янги тадқиқотлар асосида zilзилабардош ер ости муҳандислик иншоотларини ҳисоблаш ва лойиҳалаш усулларини актуаллаштириш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш» (2015–2017) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади сувга тўйинган грунтларда жойлашган, тез ёки даврий бўйлама юкланиш кўринишидаги кучлар таъсиридаги ер ости кувурларининг динамик мустаҳкамлигини ҳамда кувурнинг бузилишига олиб келадиган нотурғунлик ҳолатларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

биринчи яқинлашишда ечимнинг “доимий” ва “чегаравий” компонентларини қуриш ва вақтга боғлиқ ҳолда кувурнинг кўндаланг кўчишини аниқлашнинг ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

кувурнинг бўртиб чиқиши юзага келиш ҳолларини ва амплитуда-частотали боғлиқликни ҳисоблаш дастурини ишлаб чиқиш;

кўндаланг ва бўйлама кўчишларни биргаликда ҳисобга олувчи умумий ҳоллар учун сувга тўйинган грунтларда жойлашган ер ости кувурлари устуворлигини ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

кувурнинг геометрик ва механик характеристикаларини, грунтнинг реологик кўрсаткичларини ва шунингдек геометрик чизиқсизликни кувурларнинг устуворлигига таъсирини аниқлаш;

грунтнинг юқори ёпишқоқлигини ҳисобга олган ҳолда, кувурнинг нотурғун ҳолатга олиб келадиган критик вақт ва критик кучнинг катталигини аниқлаш;

“кувур-грунт” тизимида ўзаро таъсирининг кинематик моделларини қўллаган ҳолда, кувур охирида маълум бир оғирлик (кудук) бўлган ер ости кувурининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида сувга тўйинган грунтларда жойлашган ҳаётни таъминловчи ер ости тизимлари (кувурлар, кудуклар) олинган.

Тадқиқотнинг предмети турли хил динамик, шунингдек сейсмик юкланишлар таъсиридаги, сувга тўйинган грунт билан ўзаро таъсирининг

кинематик моделларини қўллаган ҳолда ер ости иншоотларининг динамик турғунлигини текширишни ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот олиб бориш жараёнида деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси, математик моделлаштириш ва сонли усуллар, алгоритмлаштириш, математик физика, ҳисоблаш математикаси, дастурлаштириш технологияси ва ҳисоблаш экспериментлари усуллари қўлланилган.

Диссертация тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат: “қувур-грунт” тизимидаги ўзаро таъсирининг кинематик моделларидан фойдаланиб сувга тўйинган грунтда жойлашган ер ости қувурларининг динамик устуворлигини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

кўчишнинг вақтга боғлиқлиги ҳамда амплитуда частоталар боғлиқлигини аниқлаш учун бевосита қўллаш мумкин бўлган ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

кўндаланг ва бўйлама кўчишларни биргаликда ҳисобга олувчи умумий ҳоллар учун сувга тўйинган грунтларда жойлашган, геометрик чизиқсиз ер ости қувурининг устуворлигини текшириш масалаларини ечиш усули ишлаб чиқилган;

“қувур-грунт” тизимида ўзаро таъсирининг кинематик моделларини қўллаш асосида, қувур охирида маълум бир оғирлик (кудук) бўлган ер ости қувурининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг устуворлигини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

намланган грунтларда жойлашган қувурларнинг динамик турғунлигини, чизиқли ва чизиқсиз масалаларни ечиш, сонли натижалар олиш жараёнини автоматлаштириш имконини берувчи ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган (№ DGU 04374);

сейсмик ҳудудларда қуйқаланадиган грунтларда ётқизиладиган ер ости қувурларини бўртиб чиқишини камайтиришга хизмат қиладиган чора-тадбирлар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги сонли натижалар билан аналитик ечимларни бир-бирига мос келишида кўрсатилган ва илмий адабиётларда келтирилган шунга ўхшаш ечилган масалалар натижаларини кўрсатилган аниқ масалалар натижаларига солиштириб асосланган. Шунингдек, тадқиқотдан олинган натижалар чет эл тадқиқотчилари ўтказган тажриба натижаларига ҳамда зилзила оқибатида бўртиб чиққан қувурлар тавсифига мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқотнинг илмий аҳамияти ер ости иншоотлари сейсמודинамикаси назариясини келгусидаги ривожланишида сувга тўйинган грунтлардаги ер ости қувурларини бўртиб чиқиши ҳақидаги янги материаллар асосида тўлдириш билан изоҳланади. Диссертация ишининг натижалари намланган грунт шароитларини қувурларнинг устуворлигига таъсири – устуворлик назариясига ўзининг янги ҳиссасини қўшиши билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти ер ости иншоотларини лойиҳалаш амалиётида ишлаб чиқилган ҳисоблаш дастурини қўлланилиши

ҳаражатларни тежалишига ва лойиҳа конструкторлик ишланмалар жараёнларини тезлаштиришга олиб келади ҳамда ер ости иншоотларини турғунлигини текшириш имкониятини беради. Олиб борилган тадқиқотлар ва халқаро тажрибалар асосида қуйқаланган грунтлардаги ер ости иншоотларини бўртиб чиқишини камайтириш бўйича таклиф қилинган тавсиялар сейсмик хавф-хатарни сезиларли даражада камайтиришга хизмат қилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Намланган грунтларда жойлашган қувурларнинг динамик устуворлиги бўйича олинган илмий натижалар асосида:

бўйлама юкланишларда намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг устуворлигини ҳисоблаш усули ва дастури «O‘zog‘irsanoatloyiha instituti» АЖда ер ости қувурларини лойиҳалаш ва қурилиш жараёнида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг 2018 йил 31 январдаги 794/11-03-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижасида намланган грунтларда жойлашган қувурларнинг динамик устуворлигини ва мустаҳкамлигини 1,25 марта захира билан таъминлаш ҳамда ҳисоблаш вақтини 2,3 баробар қисқартириш имконини берган;

қувур охирида маълум бир оғирлик (қудуқ) бўлган ер ости қувурининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини ҳисоблаш усули «Қишлоққурилишлойиҳа» МЧЖ Бош лойиҳа-қидирув институтида “Якка тартибдаги яшаш комплекслари” объектларида ер ости қувурларидаги максимал кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини аниқлаш учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг 2018 йил 31 январдаги 794/11-03-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши иш сифати ва меҳнат унумдорлигини 20% га ошириш имконини берган;

кўчишларни вақтга боғлиқ ҳолда аниқлашнинг ҳисоблаш усули «Қишлоққурилишлойиҳа» МЧЖ Бош лойиҳа-қидирув институтида “Якка тартибдаги яшаш комплекслари” объектларида ер ости қувурларининг динамик устуворлигини таъминлаш учун жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитектура ва қурилиш қўмитасининг 2018 йил 31 январдаги 794/11-03-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши ҳисоб-лойиҳалаш ишлари самарадорлигини 1,5 баробар ошириш имконини берган.

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

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 24 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижалари чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 14 та мақола, жумладан 10 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби, кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 109 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «Сувга тўйинган, майда заррачали грунтларнинг механик хоссалари ва уларда жойлашган қаттиқ жисмлар билан ўзаро таъсир характери» деб номланган биринчи боби қувурнинг атрофидаги грунт билан ўзаро таъсир масалаларига бағишланган. Ҳаётни таъминловчи тизимлар бўйича хорижий маълумотлар ифода этилган ва охириги зилзилалар оқибатлари бўйича маълумотлар тахлили келтирилган. Япония тадқиқотчилари Т. Iwamoto и Т. Yamaji маълумотларига кўра, 1972 йилдаги Мияги шаҳридаги зилзилада ер ости қувурларининг шикастланиши ва бузилишидан ташқари ер остидан қувурларни қия аркалар ҳосил қилиб кўтарилган қисмлари аниқланган. Худди шунга ўхшаш шикастланишлар 1983 йилда Кум-Дагда, 1952 йилда Колифорнияда, 1993 йилда Kushiro-oki, 2004 йилда Niigataken-chuets ва бошқа жойларда қайд қилинган, бундан ташқари охириги зилзилаларда канализация қудуқларини кўтарилиши ҳам кузатилган.



1-расм. Қувур қисмининг ер остидан бўртиб чиқиши



2-расм. 2003 йил Onbetsu шаҳрида Tokachi-oki зилзиласи таъсирида қудуқнинг бўртиб чиқиши

Зилзила оқибатида бўртиб чиққан ер ости иншоотларининг тахлили уларни бўртиб чиқишига сабаб грунтнинг қуйқаланиши эканлигини кўрсатди. Сувга тўйинган грунт тушунчасига хусусияти жиҳатидан турли хил грунтлар киради. Шунинг учун лойли грунтларни намлигига қараб Т.Р.Рашидов ва Ш.М.Сибукаевлар томонидан 3 та категорияга бўлиш тавсия этилган:

I. $0 < \bar{W} < 15\%$) –ер ости иншоотлари билан ўзаро таъсир характери, ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлигининг динамик назарияси доирасида батафсил ва асослаб ишлаб чиқилган, юк кўтариш қобилиятига эга бўлган грунтлар.

II. ($15 < \bar{W} < 45\%$) – бу категориядаги грунтларни мураккаб реологик мухитлар каби ўрганиш керак, уларнинг юк кўтариш қобилияти унчалик катта эмас.

III. ($\bar{W} > 45\%$). – бу категориядаги грунтларни ёпишқоқ суюқлик сифатида қараш керак.

Диссертациянинг асосий бўлимида қаралаётган қувур асосан II ва III категориялар чегарасидаги сувга тўйинган грунтларда жойлашган.

Оддий грунтларда ер ости иншоотларини грунтлар билан ўзаро таъсирини характерловчи асосий хусусият ишқаланиш бўлса, сувга тўйинган грунтларда эса биринчи навбатда ишқаланиш билан бир қаторда ёпишқоқлиги ҳам киритилади. Шунга асосан ер ости иншоотлари сейсмодинамикасида асосий муаммолардан ҳисобланган «иншоот – грунт» ўзаро таъсир модели тизимига аниқлик ва қўшимчалар киритиш имконияти пайдо бўлади.

Т.Рашидов ва Ш.М.Сибукаевлар томонидан сувга тўйинган грунтларда қувурларни кўндаланг ва бўйлама ҳаракатлари учун тўртта таянч элементлардан ташкил топган ўзаро таъсирнинг қуйидаги математик моделлари тавсия қилинган: заррачаларини кўчиши ва тезлиги, шунингдек уларни деформацияси ва деформацияланиш тезлиги, эластиклик ва қовушқоқлик модули ҳисобланади, булар схематик кўринишда эластик (H) элемент ва қовушқоқ (N) элементларини параллел равишда “уланиши”ни билдиради, бу ерда H ва N Гук ва Ньютон элементларига тегишли:

$$-\bar{q}_x = \bar{k}_x u + \bar{\lambda}_x \frac{\partial u}{\partial t} + \bar{\beta}_x \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{\mu}_x \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}; \quad -\bar{q}_z = \bar{k}_z w + \bar{\lambda}_z \frac{\partial w}{\partial t} - \bar{\beta}_z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \bar{\mu}_z \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t};$$

хусусий ҳолда ўзаро таъсирнинг икки звеноли модели қуйидагича

$$-\bar{q}_x = \bar{k}_x u + \bar{\lambda}_x \frac{\partial u}{\partial t}; \quad -\bar{q}_z = \bar{k}_z w + \bar{\lambda}_z \frac{\partial w}{\partial t},$$

бу ерда u , w – қувурнинг бўйлама ва кўндаланг кўчиши, $\bar{k}_x, \bar{k}_z, \bar{\beta}_x, \bar{\beta}_z$ – ўзаро таъсирнинг эластиклик хоссасини характерловчи коэффициентлар; $\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_z, \bar{\mu}_x, \bar{\mu}_z$ – ўзаро таъсирнинг қовушқоқлик хоссасини характерловчи коэффициентлар.

“Қувур-грунт” тизимида ўзаро таъсирнинг бу моделлари ер ости қувурларининг устуворлиги тадқиқотларида фойдаланилади.

Диссертациянинг «Тез бўйлама кучланишда ер ости қувурларининг динамик устуворлиги» деб номланган иккинчи бобида қувурни ўраб турган майда заррачали грунт юқори даражада нам бўлган ҳолда сейсмик таъсирлар натижасида қувурларнинг динамик устуворлиги масалалари кўриб чиқилган. Масала геометрик чизиқли ва чизиқсиз ҳоллар учун ечилган. Қувур икки томондан шарнир билан маҳкамланган ва ўқи бўйлаб \vec{P} куч билан сиқилмоқда деб ҳисоблаймиз. Қувурнинг геометрик чизиқсизлигини ҳисобга олувчи ҳадлари бўлган қувурни бўйлама ҳаракатини тавсифловчи тенгламадан келиб чиқиб, қувур ва грунтни ўзаро таъсири модули ва \vec{P} бўйлама кучнинг ҳаракати қуйидагича:

$$EJ \frac{\partial^4 (W_1 - W_0)}{\partial x^4} + (m_T + m_r) \frac{\partial^2 W_1}{\partial t^2} + \bar{\lambda}_z \frac{\partial W_1}{\partial t} + \bar{k}_z (W_1 - W_0) + P(t) \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} =$$

$$= \frac{EF_T}{l} \left[u(l, t) - u(0, t) + \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 dx \right] \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2}. \quad (1)$$

бу ерда $W_0(x)$ ва $W_1(x, t)$ – қувурнинг бошланғич ва тўла эгилиши; $u(0, t)$ ва $u(l, t)$ – қувур чегараларининг бўйлама кўчиши; E – қувур материалининг эластиклик модули; J – қувур кесимининг ўқдаги инерция моменти; F_T – қувурнинг кўндаланг кесим юзаси; l – қувур узунлиги; m_T – қувурнинг массаси; m_r – грунтнинг массаси; $P(t)$ – ташқи куч.

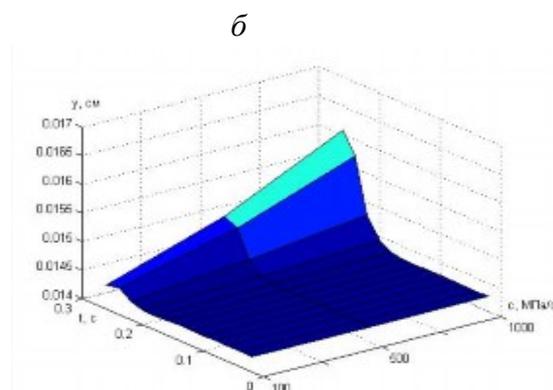
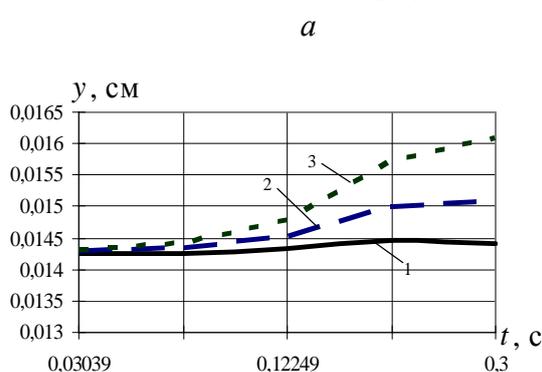
Чегаравий шартлар: $x=0$; l . бўлганида $W_1 = 0$, $\partial^2 W_1 / \partial x^2 = 0$. Аниқлик учун фараз қиламиз $u(l, t) = u(0, t) = 0$, яъни қувур четлари силжймайди.

Ташқи куч $P(t)$ учбурчак юк кўринишида берилмоқда:

$$P(t) = \begin{cases} \bar{c} t F_T, & t < T_0 \\ \bar{c} T_0 F_T \frac{T_1 - t}{T_1 - T_0}, & t > T_0 \end{cases} \quad (2)$$

Ўлчовсиз параметрларга ўтиш ва сувга тўйинган грунтларни ёпишқоқлигини ҳисобга олиш, вақт бўйича юқори хосилали кичик параметрли тенгламага келиш имкониятини беради. Бу тенглама ечимини тўғридан тўғри қўллаш мумкин бўлган ҳисоблаш формуласи кўринишида олиш имкониятини берадиган А.Н.Тихонов томонидан тавсия этилган усул билан ечилади. Қувурларнинг максимал кўндаланг кўчишларини вақтга боғлиқлиги графиги қурилган.

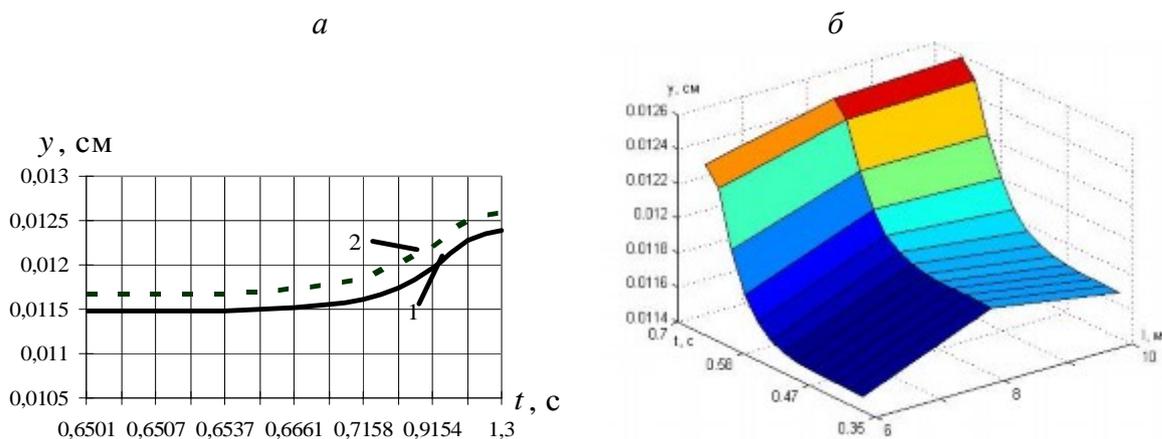
◆ биринчи қисм учун: $0 \leq t_1 \leq 1$, $P(t_1) = \bar{c} T_0 F_T t_1$.



3-расм. Қувурларнинг максимал кўндаланг кўчишининг ўзгариши (а) икки ўлчовли ва (б) уч ўлчовли фазода: 1 – $\bar{c} = 10^2$ МПа/с; 2 – $\bar{c} = 5 \cdot 10^2$ МПа/с; 3 – $\bar{c} = 10^3$ МПа/с

Графикдан кўришиб турибдики, бу босқичда $[0 \leq t_1 \leq 1]$ ҳаракат тебраниш характерига эга, y максимал кўчиш y_0 (чексиз кичик ҳад) тартибга эга, шунинг учун тебраниш сезиларли эмас. Бу босқич охирида t вақтнинг маълум қийматидан бошлаб y ни қийматини ўсиш тенденцияси кўринади. Бу босқич натижалари иккинчи босқич учун бошланғич шарт бўлиб хизмат қилади. Бу натижа А.С. Вольмирнинг «Деформацияланувчи тизимлар устуворлиги» китобида келтирилган грунтда бўлмаган стержен учун худди шунга ўхшаш натижага мос келади.

◆ Иккинчи қисм учун: $1 \leq t_1 \leq 2$, $P(t_1) = \bar{c}T_0 F_T(2 - t_1)$.



4-расм. Қувурларнинг максимал кўндаланг кўчишининг ўзгариши (а) икки ўлчовли ва (б) уч ўлчовли фазода: 1 – $l=6$ м; 2 – $l=10$ м; $P_{кр}=7782$ кН; $t_{кр}=0.54$ с; $R=0.2$ м; $k_1=20$ МПа/м; $\delta=0.02$ м; $\mu=10^3$ Па·с; $T_0=0.65$ с; $\sigma=13.4$ МПа

Бу босқичда $[1 \leq t_1 \leq 2]$ ҳисоблаш нолдан бошланади, олинган натижалар қувурнинг динамик нотурғун бўлгандаги ҳар бир аниқ ҳол учун критик вақт қийматини ва критик куч катталигини аниқлаш имкониятини беради. Натижалар таҳлили қуйидаги хулосаларни қилиш имкониятини беради:

- 1) Кутилганидек, қувурларни турғунлигига унинг қаттиқлиги таъсир қилади;
- 2) шунингдек қувурнинг турғунлик ҳолатига унинг узунлиги таъсир кўрсатади. l -узунлик қанча катта бўлса қувур турғунлиги шунча кам бўлади;
- 3) кучнинг параметри катта бўлгани сари қувурнинг бир хил параметрларида бўртиб чиқиш эҳтимоллиги ортиб боради;
- 4) кучланишнинг T_0 вақти қувурнинг турғунлигига таъсир қилади: T_0 қанча катта бўлса кўчиш шунча катта бўлади;
- 5) грунтнинг динамик қовушқоқлиги қанча катта бўлса қувурни бўртиб чиқиш эҳтимоллиги ортади;
- 6) эластиклик коэффиценти қанча катта бўлса қувур шунча турғун бўлади;
- 7) \bar{c} қанча катта бўлса, $P_{кр}$ ҳам шунча катта бўлади.

Масала геометрик чизиқли ва чизиқсиз қўйилган ҳоллар учун ечилган. Икки ҳол учун олинган натижалар таҳлили шуни кўрсатадики, геометрик чизиқсизликни ҳисобга олиб олинган натижалар чизиқли ҳол учун олинган натижалардан фарқ қилмайди (геометрик чизиқсизлик натижанинг вергулдан кейинги 4-чи, 5-чи сонларига таъсир қилади).

Диссертациянинг «**Бўйлама узилишли кучланишлар таъсиридаги ер ости қувурларини динамик устуворлиги**» деб номланган учинчи бобида бир томони маҳкамланган, иккинчи томони эса йирик жисм билан бирлаштирилган (мураккаб тугун ва бошқ.) юқори намланган грунтда жойлашган қувур қаралган. Сейсмик таъсир натижасида йирик жисм қувурга ўқ бўйлаб кўчишни узатади, бунда частотани тебраниши қувурни ўзининг кўндаланг тебраниш частотасидан тахминан икки баробар каттароқ бўлади. Масала Кирхгоффнинг техник назариясида қўлланиладиган стерженларни “катта эгилишлар” тенгламалар системаси базасида ечилади:

$$\left. \begin{aligned} m_T \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - EF_T \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 \right] &= \bar{q}_x \\ m_T \frac{\partial^2 W_1}{\partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 W_1}{\partial x^4} - EF_T \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial W_1}{\partial x} \left[\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 \right] \right\} &= \bar{q}_z \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

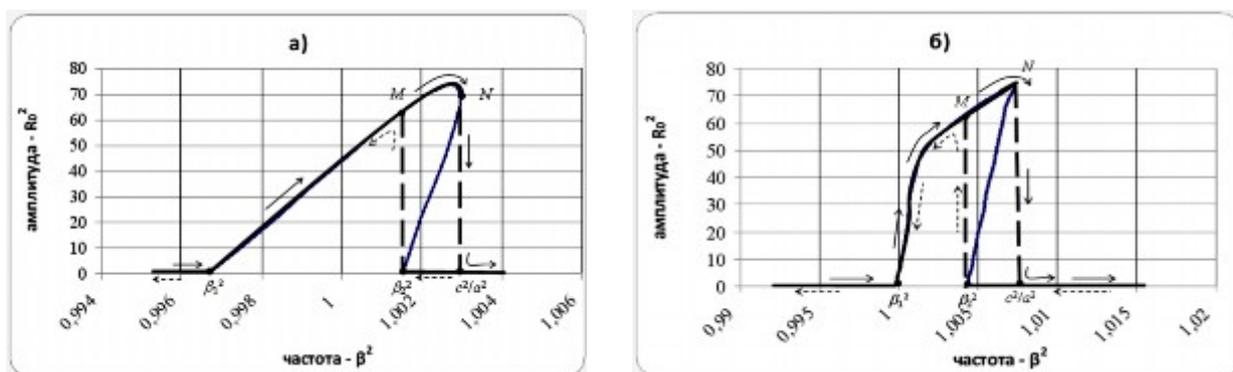
Чегаравий шартлар: $x=0$ бўлганда $U=0$, $x=l$ бўлганда $U=U_0+U_1 \cos \gamma t$;
 $x=0$; l бўлганда $W_1=0$, $\partial^2 W_1 / \partial x^2 = 0$

бу ерда t , x – қувурни вақт ўлчови ва ўқ бўйлаб координата нуқтаси; F_T – қувурнинг кўндаланг кесим юзаси; EJ – қувурнинг эгилишдаги бикирлиги; m_T – қувурнинг массаси; \bar{q}_x , \bar{q}_z – қувурга таъсир қилувчи ташқи қувватнинг ўлчовли бўйлама ва кўндаланг компоненталари.

Қувурни бошланғич эгилиши мавжуд бўлганлигини эътиборга олган ҳолда, ўлчовсиз катталикларга ўтиш ва масалани ўлчовсиз параметрларни қиёсий тахлили 2 та охириги вариантларни ажратиб олиш имконини берди:

I. Унча катта бўлмаган ёпишқоқликка эга бўлган, сувга тўйинган лойли грунтда жойлашган оғир қувур. Бу ҳолда масала параметрик резонансни тадқиқ қилишга келтирилган. Натижада қувур ва уни атрофидаги грунт билан ўзаро таъсирини характерловчи турли ҳил кўрсаткичларни сонли қийматлари учун амплитуда-частотали диаграммалар тузилган.

Шунга ўхшаш масалаларда қувур ўқининг бошланғич эгилиши, қувурни геометрик кўрсаткичлари ва ташқи муҳитни амплитуда-частота характеристикаларига таъсири қаралмаган.



5-расм. Параметрик тебранишларнинг амплитуда-частотали диаграммаси:

a – бошланғич эгилиш ҳисобга олинмаган; **б** – бошланғич эгилиш ҳисобга олинган

Параметрик кўзғалиш частотасининг секин ўзгариши 5,a-расмда (бошланғич эгилиш ҳисобга олинмаган) кўрсатилган, чап томондаги қалин чизиқлар турғун ҳолатни билдиради. β ошганида ҳаракатсиз ҳолат турғун бўлади, $\beta=\beta_1$ бўлганида амплитудаси аввал ошадиган параметрик тебраниш пайдо бўлади. N критик нуқтага яқинлашганда амплитуда яна камаяди. β нинг қиймати c/a қийматга етганда тебраниш тўхтайтиди. Агар β камайса, у ҳолда ўнг томондан борилганда ҳолат турғунлигича қолади. β_2 нуқтага етиб келишимиз билан $\beta=\beta_1$ яқинлашганда камаядиган, тенглашганда эса нолга тенг бўладиган M охириги амплитудали тебраниш ҳосил бўлади.

5,6-расм учун ҳам (ўнг томонини ҳисобга олган ҳолда, яъни бошланғич эгилишни) худди шундай таҳлил ўтказамиз.

II. Сезиларли даражадаги ёпишқоқ бўлган сувга тўйинган грунтда жойлашган энгил қувур. Бу ҳолда вақт бўйича катта ҳосилада кичик параметрли тенглама ҳосил бўлди. Бу тенгламани А.Н.Тихонов томонидан тавсия этилган усул билан ечамиз, яъни 2-чи бобда бажарилган ишларни ва графиклар таҳлилини қайтадан бажарамиз. Буни фарқи шундаки, бу ерда бир босқичли вақтга боғлиқ жараён қаралмоқда. Масала «қувур – грунт» ўзаро таъсир тизимида 4 ва 2 звеноли моделни қўллаш орқали ечилган. Натижалар таҳлили $\bar{\beta}_z$, $\bar{\mu}_z$ параметрлар қувурнинг кўндаланг кўчиши максимал қийматига таъсир қилмаслигини кўрсатди.

Иккинчи ва учинчи бобларда кўрилган масалалар таҳлиллар кўрсатадики, энгил қувурларда бўртиб чиқиш ҳоллари кам учрайди ва улар учун критик вақтнинг қиймати катта, яъни, кутилганидек энгил қувурлар ишончлироқ эканлигини кўрсатади.

Диссертациянинг «**Ер ости қувурлари ва қудуқлари кўтарилишини сонли усуллар билан тадқиқ қилиш**» номли тўртинчи бобининг §1 қисмида ўқ бўйлаб юкланишларда, бўйлама ва кўндаланг кўчишларни биргаликда ҳисобга олган ҳолда сувга тўйинган грунтда жойлашган қувурнинг кўтарилиши тадқиқ қилинган. l узунликдаги қувурни чекли элементларга бўлиб чиқамиз. Уларни катталигини бир хил деб ҳисоблаймиз ва a га тенг деб оламиз. $x=0$ кесимда ўқ бўйлаб ташқи ўқ бўйича таъсир қилувчи сиқиш кучи \vec{P} ҳаракат қилади. Ихтиёрий ер ости қувури синусоида кўринишида танлаб олинган бошланғич эгилишга эга.

Геометрик чизиксизликни ҳисобга олган ҳолда i -чи элемент учун деформациянинг тўлиқ ишини ташкил қиламиз

$$A_v^i = \frac{1}{2} EF \int_0^a \left[\frac{\partial U^i}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 \right]^2 dx + \frac{1}{2} EJ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 (W_1^i - W_0^i)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{P^2 a}{2EF} \quad (4)$$

ва қувурнинг кинетик энергияси ифодасини тузамиз

$$E_k^i = \frac{1}{2} \mu \int_0^a \left[\left(\frac{\partial U^i}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial t} \right)^2 \right] dx, \quad \mu = m_T + m_\Gamma, \quad (5)$$

бу ерда $W_0^i = W_0^i(x)$, $W_1^i = W_1^i(x, t)$ – i -чи элементнинг бошланғич ва тўла эгилиши; U^i – i -чи элементнинг бўйлама кўчиши.

Сиқиш кучи потенциали қуйидаги формула билан ҳисобланади

$$V_p^i = \frac{-P^2 a}{EF} - \frac{P}{2} \int_0^a \left[\left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial W_0^i}{\partial x} \right)^2 \right] dx. \quad (6)$$

Қувур элементини грунт билан ўзаро муносабати кучидан бўладиган ишларни қуйидаги кўринишда тасаввур қиламиз:

$$A_{D1}^i = \frac{1}{2} \int_0^a \left[\bar{k}_x (U^i)^2 + \bar{k}_z (W_1^i - W_0^i)^2 \right] dx; \quad A_{D2}^i = \frac{1}{2} \int_0^a \left[\bar{\lambda}_x \frac{\partial}{\partial t} (U^i)^2 + \bar{\lambda}_z \frac{\partial}{\partial t} (W_1^i)^2 \right] dx. \quad (7)$$

Қуйидаги чегаравий шартларни кўриб чиқамиз:

$$x=0 \text{ да } W_1 = 0, \quad \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} = 0; \quad x=0 \text{ да } U=r_1; \quad x=l \text{ да } U=0.$$

Қувур элементлари чегарасида Кирхгоф гипотезасини қўллаймиз, у ҳолда (4) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$A_u^i = \frac{1}{2a} EF \left[U^i[a,t] - U^i[0,t] + \frac{1}{2} \int_0^a \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 dx \right]^2 + \frac{1}{2} EJ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 (W_1^i - W_0^i)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{P^2 a}{2EF}.$$

Умумий потенциал энергия $\Pi = A_u + V_p$ га тенг бўлади. $L = E_k - \Pi$, Лангарж функциясини аниқлаб, $q_i = q_i(t)$ ни умумлашган координатлар деб оламиз. Лагранжинг Π – ҳолдаги тенгламасини тузамиз.

$$\left\{ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = - \frac{\partial A_{D1}}{\partial q_i} - \frac{\partial A_{D2}}{\partial \dot{q}_i}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{r}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial r_1} = - \frac{\partial A_{D1}}{\partial r_1} - \frac{\partial A_{D2}}{\partial \dot{r}_1} \right.$$

Кўндаланг йўналишдаги қувур шаклини учинчи даражали Эрмит полиноми орқали ифода этамиз. Қувур узунлигини n та чекли бўлакка бўламиз, у ҳолда тугуннинг номаълум кўчишлари сони $(n+1)$ бўлади. Эгилишлар $W_1=q_i, W_1=q_j$, элемент тугунларида бурилиш бурчаги қуйидагича $W_1' = q_{i+1}, W_1' = q_{j+1}$. Шундай қилиб, k -чи элемент учун қувурни тўлиқ эгилишини қуйидаги кўринишда берамиз:

$$W_1^k = \mathcal{E}_1 q_i + \mathcal{E}_2 q_{i+1} + \mathcal{E}_3 q_j + \mathcal{E}_4 q_{j+1},$$

бу ерда q_i, q_j —эгилишлар, q_{i+1}, q_{j+1} —тугунлардаги бурилиш бурчаги;

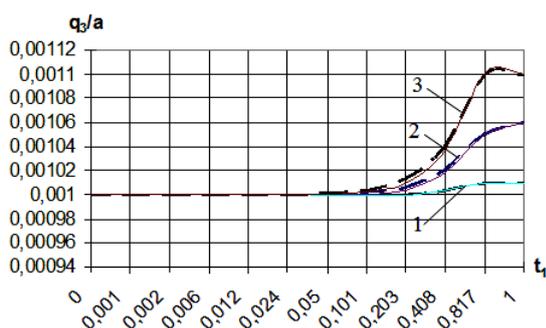
$$\mathcal{E}_1 = 1 - 1.5\xi^2 + 0.5\xi^3, \quad \mathcal{E}_2 = a(\xi - 1.5\xi^2 + 0.5\xi^3), \quad \mathcal{E}_3 = 1.5\xi - 0.5\xi^3, \\ \mathcal{E}_4 = a(-0.5\xi + 0.5\xi^3), \quad \xi = x/a.$$

Ихтиёрий k элемент учун бўйлама кўчишни қуйидаги кўринишда оламиз:

$$U^k = r_i(a-x)/a + r_{i+1}(x/a) = r_i(1-\xi) + r_{i+1}\xi,$$

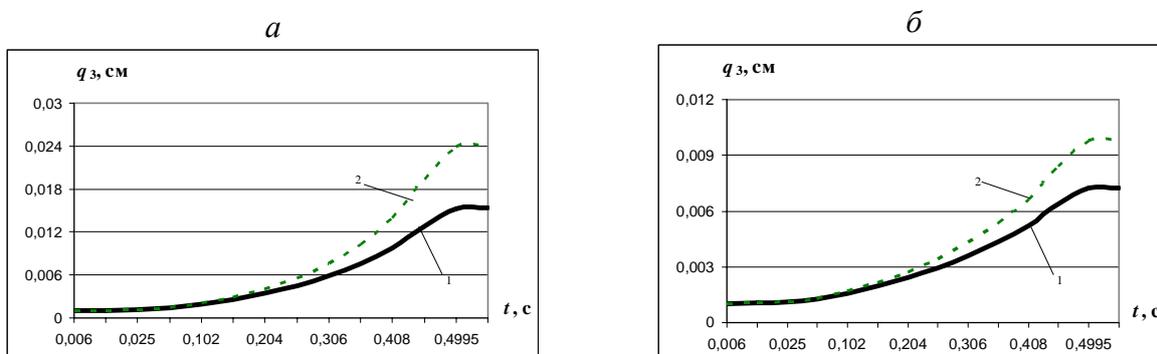
бу ерда r_i, r_{i+1} – тугунларни бўйлама кўчиши.

Ер ости қувури ўқ бўйлаб $P(t) = \bar{c}F_T t$, $P = mP_0$ ($P_0 = 4\pi^2 EJ / l^2$ - эйлер критик кучи) куч таъсиридаги ер ости қувурларининг q_3/a максимал кўндаланг кўчиши, $t_1=t/T_0$ вақтга боғлиқлиги графиги учта тугунли ($n+1=3$) иккита элементга ($n=2$) бўлинган қувурлар учун ҳосил қилинган. Ер ости қувурини динамик устуворлигини аналитик тадқиқи диссертациянинг 2-чи бобида бажарилганлигини қайд қилиб ўтамиз.



6-расм. Қувурнинг максимал кўндаланг кўчишининг вақтга боғлиқ ўзгариши:
— аналитик; --- сонли; 1— $c=10^2$ МПа/с;
2— $c=5 \cdot 10^2$ МПа/с; 3— $c=10^3$ МПа/с

Натижаларни солиштирганда уларни бир-бирига жуда яқинлиги ва хатолик унча кўп эмаслиги кўриниб турибди. Бўйлама ва кўндаланг кўчишлар биргаликда ҳисобга олинганда, умумий ҳол учун масалаларни ечиш ва усулни апробация қилиш учун масаланинг ечими сонли усул билан олинган.



7-расм. Ер ости қувури кўндаланг ҳаракатининг вақтга боғлиқлиги: 1 – бўйлама кўчиш ҳисобга олинмаганда; 2 – $r_1=0.001$; $l=7$ м (а) ва $l=8$ м бўланида (б)

7,а-расмда бўйлама r_1 кўчишни ҳисобга олганда кўндаланг кўчишнинг қиймати 1.56 марта ошади, 7,б-расмда эса бўйлама r_1 кўчишни ҳисобга олиш кўндаланг кўчиш қийматини 1.35 марта оширади. Бўйлама r_1 кўчиш қувурнинг геометрик параметрларига ва грунт билан ўзаротаъсир коэффициентларига боғлиқлиги олинди. Ўқ бўйлаб Эйлер кучланиши қийматидан кичик қийматга эга бўлган куч таъсирида бўйлама r_1 кўчишни қувурни кўтарилишига таъсири биринчи формада унча сезиларли эмас, яъни кўндаланг кўчишнинг сонли қийматлари бир хил даражада. Шунинг учун 2-чи бобда бўйлама кўчишда қувур четлари силжимас деб олинган фараз ўринлидир, бу нарса ўз ўрнида олинган натижаларга қиёсий баҳо беради.

Тўртинчи бобнинг §2 қисмида ер ости қувурининг $x=l$ нуқтасига қудук сифатида олинган масса бирлаштирилгандаги кучланганлик-деформацияланганлик ҳолати (КДХ) тадқиқ қилинган. Грунтнинг сейсмик кўчиши $x=l$ нуқтада перпендикуляр йўналишда таъсир қилиб қуйидаги кўринишда берилади $\bar{W}_{gr} = \lambda_{gr} \sin \omega t$, бу ерда $\omega = 2\pi/T_0$.

$$EJ \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + m_T \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + \bar{\lambda}_z \frac{\partial(W - \bar{W}_{gr})}{\partial t} + \bar{k}_z (W - \bar{W}_{gr}) = 0. \quad (8)$$

бу ерда $W(x,t)$ ва \bar{W}_{gr} – қувур ва грунтнинг кўндаланг кўчиши; $\bar{\lambda}_z$, \bar{k}_z – қувурни сувга тўйинган грунт билан ўзаро таъсир коэффициенти.

Чегаравий шартлар:

$$\left\{ \begin{array}{l} W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad x = 0 \text{ да,} \\ EJ \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} = m_{kol} \frac{\partial^2 \bar{W}_{kol}}{\partial t^2} + \beta_{kol} \frac{\partial(\bar{W}_{kol} - \bar{W}_{gr})}{\partial t} + k_{kol} (\bar{W}_{kol} - \bar{W}_{gr}) \quad x = l \text{ да,} \\ EJ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - k_2 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \quad x = l \text{ да} \end{array} \right.$$

Бошланғич шартлар: $W = 0$; $\partial W / \partial t = 0$

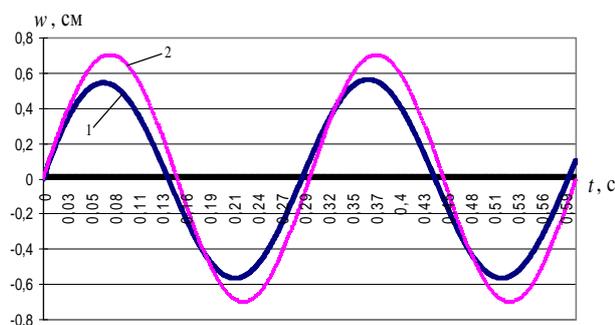
Чегаравий масала чекли айирмалар усули билан ечилади.

Нормал кучланиш, момент ва кесувчи кучи қуйидаги формула билан аниқланади:

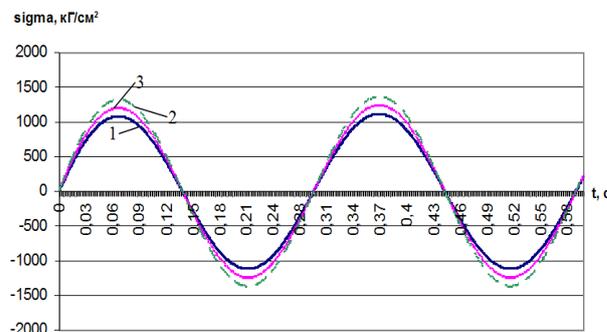
$$\sigma = -EZ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}; \tau_{xz} = G \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) = 0; M = -EJ_y \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}; Q = \frac{\partial^3 W}{\partial x^3}.$$

a

б



1 – $x=0.1$ м; 2 – $x=6$ м



1 – $z=R_B$; 2 – $z=(R_B+\delta/2)$; 3 – $z=R_H$

8-расм. Қувурни кўндаланг кўчиши (а) ва нормал кучланишларининг (б) вақт бўйича ўзгариши

Ер ости қувурлари кўндаланг кўчишига ўзаро таъсир коэффициенти ва иншоотнинг геометрик ўлчамлари таъсир қилади. Чегаравий шартлар нормал кучланишларнинг ўзгаришига таъсир кўрсатади. Нормал кучланишнинг қиймати қувурнинг кўндаланг кесими бўйлаб ўзгаради. Максимал нормал кучланиш ($z=\pm R_H$) ташқи радиус нукталарида пайдо бўлади.

Тўртинчи бобнинг §3 қисмида сувга тўйинган грунтларда жойлашган ер ости иншоотларининг кўтарилишини камайтириш бўйича тавсиялар берилган. Чуқур кўмилган қувурларни бўртиб чиқишини юқори температура ва қувурдан оқаётган оқимнинг босими ёки ташқи сабаблар (тупроқ эрозияси, тупроқни ювилиб кетиши, грунтни қуйқаланиши ва ҳ.к.) келтириб чиқариши мумкин. Бундай грунтларда, агар ўқ бўйлаб тарқалган сейсмик таъсирлар билан генерацияланган куч катта бўла бошласа қувур турғунлигини йўқотади ва жараён кучайган сари қувурни ер устига бўртиб чиқиши кузатилади. Буни натижасида қувурнинг сезиларли даражада эгилиши ва овал шаклга келиши, қувур деворларининг шикастланиши, бинобарин, қувурдан транспортировка қилинаётган суюқликнинг оқиб чиқиб кетиши хавфи пайдо бўлади. Қувурни бўртиб чиқиш жараёни маълум даражада ундаги бошланғич нуқсонларга ҳам боғлиқдир. Қувурни устини грунт билан ёпиш унинг осилиб турган қисмига кўшимча оғирлик беради, натижада бошланғич эгилишини кучайтиради. Агар қувур ўқи бўйлаб қувур остидаги бўшлиқ тўлдирилса қабарикликлар ҳосил бўлмайди. Бўшлиқни тўлдирадиган материал сифатида шағал, қум, лойли тупроқ ёки заводда тайёрланган маҳсус ўрамлар ишлатилиши мумкин.

Хорижда ер ости иншоотларини бўртиб чиқишини олдини олиш мақсадида сувга тўйинган грунтларда жойлашган ер ости иншоотларининг лаборатория тажриба тадқиқотлари олиб борилади: 1. Хандақни грунт билан

қайта тўлдиришда максимал зичлаш керак; 2. Хандақларни қум билан эмас, балки шағал билан тўлдириш керак; 3. Цемент билан қумни аралаштириш керак. Озроқ бетон қоришмасини қўшиш ҳам қувурни қаршилигини оширади. Бироқ бу усулни мавжуд қувур ва қудуқлар учун қўллаб бўлмайди; 4. Қозиклар ўрнатиш, чунки қозиклар қуйқаланган грунт ҳаракатини олдини олади; 5. Қуруқ бетонли ер ости блокларини қўллаш грунтни қуйқаланишини камайтиради. Ушбу натижалар Ўзбекистон шароитига мослаштирилиши талаб қилинади.

Ер ости қувурларини сейсмик мустаҳкамлиги бўйича Япония, АҚШ, Россия ва бошқа давлатларнинг қувурлардан ишончли ва хавфсиз фойдаланишни таъминлаш кўзда тутилган тадбирлари ҳисобга олинган меъёрий ҳужжатлари таҳлил қилинди:

– қувур трассаси бўйлаб грунтнинг бир хил текисликда бўлмаслиги бир хил текисликдагига нисбатан қувурда катта деформацияларни келтириб чиқаради. Зилзилабардош қурилишда қувурнинг ер ости силжишини ҳисобга олиш керак. Бўртиб чиқишни моделлаштириш учун “қувур – грунт” тизимида бўйлама ва кўндаланг йўналишдаги ҳамда тажрибавий аниқланадиган функциялар орқали ифодаланадиган ўзаро таъсири моделидан фойдаланиш лозим;

– тектоник бузилишлар эҳтимоли бўлган ҳудудларда қувурларни ўтказишда сиқилиш ва ўртача эгилишга ишлаш имкониятини эътиборга олиб кўмиш керак бўлади. Сиқилишга ишлашга мажбур қиладиган қувурнинг кўмилиш чуқурлигидан имкон даражада четлашиш керак бўлади. Қувурнинг узилишсиз чўзилиш деформациясига чидамлик қобиляти унинг сиқилишдаги деформациясидан анча кам. Ҳар қандай сиқилишдаги деформация шундай катталиқ билан чегараланиши керакки, унда қувурнинг эгилиши эзилиш ёки локал устуворликни йўқолишига олиб келмаслиги лозим;

– қувур атрофидаги грунтнинг зичлаш бўртиб чиқишни камайтириш имконини беради, чунки грунт қувурнинг бошланғич деформациясига катта таъсир этадиган унинг ўқига перпендикуляр йўналган кучни камайтириш функциясини бажаради;

– сейсмик актив ҳудудларда қувурларни лойиҳалашда қияликлардан, шу жумладан нотурғун ва чўкувчан грунтли жойларда четлаб ўтиш тавсия қилинади;

– қувурлар кўмилганида сел оқимларидан ҳимоя қилиш учун сувдан ҳимояловчи қурилмалар, ер ости сувларини дренажлар орқали оқизиш, тиргович девор иншоотларидан фойдаланиш кўзда тутилади;

– намланган грунтли ҳудудларда кўмилган қувур қисмларини турғунлик ҳолатига ҳисобланиши лозим. Турғунлик ҳолати кўзда тутилган махсус конструкция ва қурилмалар билан қуйидаги усуллардан бири ёки уларнинг комбинацияси орқали таъминланади: грунтни мувозанатлаш, темирбетон плиталар ёки яшиқлар, юкланган грунтлар, эгарсимон темирбетон юклар, йиғма темирбетон қобиклар, бутунлай бетонлаш ёки винтли анкер қурилмалари орқали маҳкамлаш усуллари.

Қувурларни сейсмик турғунлиги қуйидагича таъминланиши лозим:

– сеймик нуқтаи назардан қулай бўлган қурилиш майдони ва трасса қисмини танлаш (ер ости қувурларининг қурилишида микро сейсмораёнлаштиришга асосий эътибор қаратиш лозим);

– ҳисоблашларга асосланган рационал конструктив ечим ва антисейсмик тадбирни қабул қилиш;

– қувурларни мустаҳкамлик ва турғунликка ҳисоблашларда қўшимча заҳира турғунлик ва мустаҳкамликни қабул қилиш.

Меъёрларга кўра, қувурларни турғунлигини сақлаб қоладиган сценарияли сейсмик таъсир билан текширилган грунтда жойлаштириш лозим. Юқорида келтирилган шартлар қаноатлантирилмаганда ноқулай кўринишлар характери ва даражасини баҳолаш ва тегишли чоралар қабул қилиш керак. Юқорида келтирилган тадбирларсиз бундай грунтлардан иншоотларга асос сифатида фойдаланиш имконияти махсус тадқиқотларга асосланиши керак. Зарур ҳолларда бундай майдонларда қурилиш ишларини олиб бориш ЎзР Давлат Архитектура қурилиш қўмитаси билан келишилган махсус техник шартлар асосида рухсат этилади.

Сувга тўйинган грунтларда полимер қувурларидан фойдаланиш лозим, чунки улар анча эгилувчандир, шунинг учун динамик кучланишлар (зилзила каби) таъсирига бардош бериши мумкин. Бу тадбирлар ер ости ҳаётни таъминлаш тизимларни узлуксиз ишлашга имкон беради. Диссертация тадқиқотининг натижалари юқорида келтирилган хулосалар билан мос келиб меъёрий ҳужжатларни актуаллаштиришга тавсия этилди.

Шундай қилиб, ер ости иншоотларини сейсмик таъсирларга ҳисоблашда мустаҳкамликка, иншоотлар турғунлигига ва грунтли асосни юк кўтариш қобилиятини ҳисоблаш ишларини бажариш керак. Бўлиши мумкин бўлган зилзилаларда қувур тизимлари чидамлилигини баҳолаш зилзилабардош инфраструктура қурилишида катта аҳамиятга эга.

ХУЛОСА

«Намланган грунтларда жойлашган қувурларни динамик устуворлиги» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. “Қувур-грунт” тизимида ўзаротаъсирининг кинематик моделини қўллаган ҳолда сувга тўйинган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг кинематик турғунлиги бўйича янги масала қўйилган ва уларни ечиш усуллари таклиф қилинган. Оғир ва енгил қувурлар ҳолатини акс эттирадиган максимал кўндаланг кўчиш ва амплитуда-частота характеристикалари аниқланган.

2. Тез бўйлама юкланишларда геометрик чизикли ва чизиксиз ҳоллар учун масалалар ечилган. Ечимлар натижалари қиёсий таҳлил қилинган ва натижада геометрик чизиксизлик сезиларсиз даражада намоён бўлиши қайд қилинган. Қувур нотурғун бўладиган критик вақт ва куч катталиги аниқланган. Шунингдек, масаланинг бундай қўйилиши сонли усул билан

ечилган. Масаланинг аналитик ва сонли усуллар орқали олинган ечимлари натижаларини қиёсий тахлилидаги бир-бирига жуда ҳам яқинлиги уларни ишончилиги тасдиғидир.

3. Циклик кучланишлардаги масалаларда унча катта бўлмаган қовушқоқликка эга бўлган сувга тўйинган лойли грунтларда жойлашган катта қувурларда бўртиб чиқиш параметрик резонанс кўринишида намоён бўлиши белгиланган. Нисбатан юқори қовушқоқликка эга бўлган сувга тўйинган лойли грунтларда жойлашган енгил қувурларда бўртиб чиқиш бўлиши мумкинлигини тадқиқ қилиш А.Н.Тихонов усули билан ечиладиган оддий дифференциал тенгламаларга келтирилади. Шунингдек, бу масалалар учун грунт билан ўзаротаъсирнинг 2 ва 4 звеноли математик моделларини қўллаган ҳолда натижалар солиштирилган. Қувурлар бўртиб чиқиши тадқиқотлари мисолида, қувур кичик погон массали бўлса, уни бўйлама пульсли юкланишларида ўзаротаъсирнинг 2 звеноли моделини қўллаш мумкинлиги аниқланган.

4. Аниқ сонли параметрлар учун графиклар тузилган бўлиб, уларни тахлили грунтни реологик параметрларини, қувурни геометрик характеристикасини унинг мустаҳкамлигига таъсирини аниқлаш имконини беради. Улар бўйича олинган натижалар ва хулосалар табиий шароитдаги қувурларни кузатишда олинган натижаларга, шунингдек чет эл тадқиқотчиларининг экспериментал тадқиқотлари натижаларига мос келади. Бир хил грунт шароитида жойлашган енгил қувурларда оғир қувурларга нисбатан бўртиб чиқиш хавфи камроқ бўлади.

5. Сейсмик ҳудудларда ётқизиладиган қуйқаланадиган грунтларда ер ости қувурларини бўртиб чиқишини камайтириш бўйича тавсиялар таклиф қилинган.

Намланган грунтларда жойлашган ер ости қувурларининг устуворлиги бўйича олинган натижалар ва ҳисоблаш дастури АЖ «O'zogirsanoatloyiha instituti» ва бош лойиҳа-қидирув институти «Қишлоққурилишлойиҳа» МЧЖ корхоналарида лойиҳалаш ва қурилиш жараёнига жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Давлат архитуктура ва қурилиш қўмитасининг 2018 йил 31 январдаги 794/11-03 -сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши иш сифати ва меҳнат унумдорлигини ортишига, ҳисоблаш вақтининг қиқаришига, қувурнинг устуворлигини ва мустаҳкамлигини 1,25 марта захира билан таъминлаш имконини берган.

Бўйлама юкланишлардаги намланган грунтларда кўмилган ер ости қувурларининг динамик турғунлиги тадқиқотлари бўйича ишлаб чиқилган усули ва ҳисоблаш дастури лойиҳалаш ва қурилиш жараёнига жорий қилинган (АЖ «O'zog'irsanoatloyiha instituti» 2017 йил 10 ноябрдаги №7/1767 сонли жорий этиш маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши лойиҳалаш жараёнида иш сифати ва эффективлигини ортишига, ҳисоблаш вақтини 2,3 баробар қисқартириш, иншоотнинг турғунлиги ва захира мустаҳкамлиги 1,25 марта ошириш имконини берган.

Қувур охирида маълум бир оғирлик (қудук) бўлган ер ости қувурининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини сонли ҳисоблаш усули ва

кўчишларни вақтга боғлиқ ҳолда аниқлашнинг ҳисоблаш формуласи МЧЖ «Кишлокқурилишлойиха» Бош лойиҳа-қидирув институтида “Якка тартибдаги яшаш комплекслари” объектларида лойиҳалаш ва қурилиш жараёнига жорий этилган (МЧЖ «Кишлокқурилишлойиха» нинг 2017 йил 7 декабрдаги амалиётга жорий этиш далолатномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши иш сифати ва меҳнат унумдорлигини 20 % га, ҳамда ҳисоб-лойиҳалаш ишлари самарадорлигини 1,5 баробар ошириш имконини берган.

6. Олинган натижалар бўйича кўпгина мулоҳазалар, дастурий ҳисоблашлар ва кетма-кет экспериментал тадқиқотлар, шунингдек Ўзбекистоннинг маҳаллий шароитига мослаштирилган турли давлатлар меъёрий ҳужжатларидан тавсиялар ҚМҚ 2.01.03-96 меъёрий ҳужжатини тўлдириш ва такомиллаштиришга ҳизмат қилиши мумкин. Тадқиқотнинг асосий ғояси “махсулотни ташишда оқиб чиқиб кетишига йўл қўйиш йўқ” ишлаб чиқаришнинг сейсмик критерийсини таъминлаш мақсадида ер ости иншоотларини шикастланишини камайтиришдир. ҚМҚ 2.01.03-96 га ер ости қувурларини турғунлигини баҳолаш бўйича бўлим киритиш лозим, бу ер ости қувурларини лойиҳалаш, қуриш сифатини ва зилзилабардошлигини ошириш имкониятини беради.

Олиб борилаётган тадқиқотлар ер ости иншоотлари сейсмодинамика назариясининг навбатдаги ривожланиши бўлиб, дунё миқёсида кўтарилган долзарб мавзунинг акс эттиради. Диссертация иши натижалари қувурлар устуворлигига грунт шароити намланганлиги таъсирини ҳисобга олиб, устуворлик назариясига қўшилган янги ҳисса ҳисобланади.

7. Бажарилган иш биринчилардан ҳисобланади ва келгусида илгари кўзда тутилмаган ер ости қувурига нисбатан ихтиёрий йўналишдаги сейсмик таъсирларни ўрганиш билан боғлиқ янги тадқиқотларга йўл очади. Бундай масалаларга асос ва ишларни давом эттириш йўллари яратилган,

Бу йўналишда ўтказилган тадқиқотнинг амалий аҳамияти бевосита масалани қўйилишидан келиб чиқади, жумладан қувурларнинг турғунлигини баҳолашнинг соддароқ усулларини лойиҳаловчилар ва қурувчиларга учун тавсиялар ишлаб чиқиш талаб этилади. Шунингдек ер ёриқларидан ва кўчкилар бўлиши мумкин бўлган жойлардан қувурлар ўтказилганда уларнинг турғунлигини ўрганиш масалалари ҳам аҳамиятлидир.

Талабгор ЎзР ФА академиги, т.ф.д. Т.Рашидовга қимматли маслаҳатлари, доимий эътибори ва ҳар томонлама амалий ёрдамлари учун, ф.-м. ф.н., доц. Ш.М. Сибукаевга масалаларни қўйилишидаги бебаҳо ҳиссаси ва устуворлик назарияси бўйича берган маслаҳатлари учун, шунингдек ф.-м.ф.д., проф. Б. Мардоновга диссертация иши қўлёзмасини яхшилашдаги қимматли консултациялари, маслаҳатлари ва ўз вақтида кўрсатган ёрдами учун ўзининг самимий миннатдорлигини билдиради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.T/FM.03.04 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

АН ЕКАТЕРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ,
РАСПОЛОЖЕННЫХ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ**

01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

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

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.1.PhD/FM17

Диссертация выполнена в Институте механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан.

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

Научный руководитель: **Рашидов Турсунбай**
доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты: **Султанов Карим Султанович**
доктор физико-математических наук, профессор

Сафаров Исмоил
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: **Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится «3» марта 2018 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T/FM.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00, факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за № 39). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00.

Автореферат диссертации разослан «19» февраля 2018 года.

(реестр протокола рассылки № 42 от «19» февраля 2018 года).

К.А. Каримов
Председатель научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., профессор

Н.Д. Тураходжаев
Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученых степеней, д.т.н., доцент

М.М. Мирсаидов
Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире обеспечение устойчивости подземных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах на сейсмических территориях, имеет огромное значение. В связи с этим развитие методов проектирования для обеспечения устойчивости подземных трубопроводов, расположенных в районах разломов или возможных оползней, а также в водонасыщенных грунтах, является одной из важных задач. В этом направлении во многих развитых странах, включая, США, Японию Турцию, Италию, Индию, Иран и другие сейсмоопасные регионы, особое внимание уделяется на обеспечение устойчивости подземных трубопроводов.

Во всем мире проводятся целевые научно-исследовательские работы, направленные на обеспечение устойчивости трубопроводов, расположенных в различных грунтовых условиях и предотвращение их выпучивания, что имеет особое значение. В этой области, в том числе проведение таких научных исследований как определение причин выпучивания подземных трубопроводов по результатам последствий сильных землетрясений, а также определение напряженно-деформированного состояния трубопроводов и разработка мероприятий, обеспечивающих уменьшение подъема колодцев, являются важными задачами.

В настоящее время в нашей республике разработаны методики расчета подземных трубопроводных систем для сейсмических районов и оценка степени повреждения подземных трубопроводов при землетрясении, исследования по обеспечению их устойчивости, в том числе, проведены широкомасштабные мероприятия по совершенствованию методики расчета и проектирования повышения прочности трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах, при сейсмических воздействиях. В этой области, в том числе разрабатываются новые методы расчета по повышению устойчивости подземных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах. В данном направлении необходимо повышать устойчивость трубопроводов в задачах сейсмостойкости подземных сооружений. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 года обозначена необходимость реализации целевых программ «...повышение уровня обеспеченности коммунально-бытовыми услугами, ... обеспечение населения в сельской местности чистой питьевой водой путем строительства новых водопроводных линий...»¹. Реализация данной задачи, в частности, обеспечение сейсмостойкости подземных трубопроводов, прокладываемых в водонасыщенных грунтах, создание компьютерной программы для расчета устойчивости подземных трубопроводов, выявление влияния реологических параметров грунта, а также геометрических и механических характеристик трубопровода на его устойчивость, и определение параметров, при которых происходит выпучивание трубопровода, и проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку мероприятий по уменьшению их подъема является важной задачей.

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

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 года «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 3 апреля 2007 года о «Государственной Программе 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. Исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика».

Степень изученности проблемы. Научные теоретические и экспериментальные исследования, связанные с взаимодействием подземных сооружений с грунтом, проводились такими известными учеными, как L.R. Wang, T. Tobita, H. Uno, T.D. O'rouke, T. Iwamoto, I. Friedmann, B. Debouvy, K. Wakamatsu и мн.др. из ведущих мировых научных центров, университетов и научно-исследовательских институтов зарубежных стран.

Основополагающие результаты сейсמודинамической теории сложных систем подземных сооружений получены академиком АН РУз Т.Р. Рашидовым под руководством академика АН РУз М.Т. Уразбаева и при консультации члена-корреспондента АН РФ А.А. Ильюшина. Им было учтено перемещение подземного трубопровода относительно окружающего грунта. Данный факт экспериментально изучен совместно с профессором Г.Х. Хожметовым и академиком АН РУз Я.Н. Мубораковым. Научные исследования по проблемам динамики сооружений, взаимодействующих с грунтом, использование различных математических моделей, а также отдельные задачи, связанные с конкретными расчетами трубопроводов, в разные годы были проведены такими учеными как А. Абдусаттаровым, М.Ш. Исраиловым, А. Каюмовым, Е.Н. Колмаковой, Ш. Маматкуловым, Б. Мардоновым, А.Х. Маткаримовым, И. Мирзаевым, М. Мирсаидовым, С. Мухамедовой, В.А. Омеляненко, С.Ф. Проскуриной, Х.С. Сагдиевым, К.Д. Саламовой, И.Сафаровым, Ш.М. Сибукаевым, Т.Т. Собировым, К.С. Султановым, З.Р. Тешабаевым, М.К. Усаровым, А.А. Халджигитовым, Б.Э. Хусановым, Т. Юлдашевым, А. Юсуповым и др.

На сегодняшний день выявление и расчет динамической устойчивости трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах, с использованием кинематических моделей взаимодействия недостаточно решены. Определение влияния геометрических и механических характеристик подземного трубопровода, реологических параметров грунта,

а также геометрической нелинейности на его устойчивость, с использованием кинематических моделей взаимодействия в системе «трубопровод – грунт», разработка метода численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода с присоединенным колодцем на конце изучены не в достаточной мере.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ Института механики и сейсмостойкости сооружений 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 «Сейсמודинамика 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 сейсмостойких подземных инженерных сооружений» (2015–2017).

Цель исследования состоит в определении динамической устойчивости подземных трубопроводов, уложенных в водонасыщенных грунтах, при действии сил в виде быстрого или циклического продольных нагружений, а также условий, при которых трубопровод окажется в состоянии неустойчивости, что может стать причиной его разрушения.

Задачи исследования:

разработать метод расчета для определения поперечного перемещения трубопровода в зависимости от времени и построить «регулярные» и «пограничные» компоненты решения в первом приближении;

разработать программу расчета для определения амплитудно-частотных зависимостей и определить соотношения, при которых происходит выпучивание трубопровода;

разработать метод расчета устойчивости подземного трубопровода, расположенного в водонасыщенных грунтах, для общего случая, когда совместно учитываются продольные и поперечные перемещения;

выявить влияние реологических параметров грунта, геометрических и механических характеристик трубопровода, а также геометрической нелинейности на устойчивость трубопровода;

определить критическое время и величину критической силы, учитывая значительную вязкость окружающего грунта, при которых трубопровод окажется в состоянии неустойчивости;

разработать метод численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода с массой на конце (колодец), применяя кинематические модели взаимодействия в системе «сооружение – грунт».

Объект исследования – подземные системы жизнеобеспечения (трубопроводы и колодцы), уложенные в водонасыщенных грунтах.

Предмет исследования – исследование динамической устойчивости подземных сооружений на основе использования кинематических моделей их

взаимодействия с водонасыщенным грунтом при различных видах динамических нагрузений, в том числе сейсмических.

Методы исследования. В диссертации применены методы механики деформируемого твердого тела, математического моделирования, численные методы, алгоритмизации, математической физики, вычислительной математики, технологии программирования и вычислительный эксперимент.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработан метод расчета динамической устойчивости подземных трубопроводов, уложенных в водонасыщенных грунтах, с использованием кинематической модели взаимодействия в системе «труба – грунт»;

разработан метод расчета для определения перемещений в зависимости от времени, а также амплитудно-частотные зависимости, пригодных для непосредственного их применения;

разработан метод решения задачи по исследованию устойчивости геометрически нелинейного подземного трубопровода, расположенного в водонасыщенных грунтах, для общего случая, когда совместно учитываются продольные и поперечные перемещения;

разработан метод численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода с массой на конце (колодец) на основе применения кинематических моделей взаимодействия в системе «сооружение – грунт».

Практические результаты исследования заключается в следующем:

разработан метод расчета по устойчивости подземных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах;

разработана программа расчета, позволяющая автоматизировать процесс решения линейных и нелинейных задач и получать численные результаты динамической устойчивости трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах (№ DGU 04374);

предложены мероприятия по уменьшению выпучивания подземных трубопроводов в разжиженных грунтах, прокладываемых в сейсмических районах.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обоснована сопоставлением результатов решения конкретных задач, в которых показано хорошее совпадение численных результатов с аналитическими решениями и путем сопоставления с результатами решений схожих задач, имеющих в научной литературе. А также полученные результаты исследования хорошо согласуются с выводами экспериментальных исследований зарубежных ученых и с описаниями случаев выпучивания трубопроводов в реальных условиях при землетрясениях.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость исследования состоит в дальнейшем развитии сейсродинамической теории подземных сооружений путем дополнения новыми материалами о выпучивании подземных трубопроводов в водонасыщенных грунтах. Результаты диссертационной работы являются новым вкладом в теорию устойчивости – влияние водонасыщенных грунтовых условий на устойчивость трубопроводов.

Практическая значимость работы заключается в возможности проведения исследований устойчивости подземных сооружений, применяя разработанную вычислительную программу расчета, внедрение которой в практику проектирования подземных сооружений приведет к экономии затрат времени и ускорению процесса проектно-конструкторских разработок. Предложены рекомендации по уменьшению выпучивания подземных сооружений в разжиженных грунтах на основе проведенных исследований и международного опыта.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов исследования динамической устойчивости трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах:

метод расчета и вычислительная программа по исследованию устойчивости подземного трубопровода, расположенного в водонасыщенных грунтах, при продольных нагрузениях внедрены в АЖ «O'zog'irsanoatloyiha instituti» в процесс проектирования и строительства подземных трубопроводов (Справка по внедрению Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству от 31 января 2018 г., № 794/11-03). Внедрение результатов динамической устойчивости трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах, обеспечило устойчивость и запас прочности трубопроводов в 1,25 раза, а также сократить время расчета в 2,3 раза;

метод численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода с массой (колодец) на конце внедрены в Головном проектно-исследовательском институте ООО «Кишлоккурилишлойиха» при проектировании и строительстве подземных трубопроводов на объектах «Индивидуального жилищного комплекса» (Справка по внедрению Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству от 31 января 2018 г., № 794/11-03). Использование результатов способствовало повышению качества работ и производительности труда на 20%;

метод расчета для определения перемещений в зависимости от времени внедрены в Головном проектно-исследовательском институте ООО «Кишлоккурилишлойиха» на объектах «Индивидуального жилищного комплекса» для обеспечения динамической устойчивости подземных трубопроводов (Справка по внедрению Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству от 31 января 2018 г., №794/11-03). Применение научных результатов позволило повысить эффективность расчетно-проектных работ в 1,5 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены, в том числе на 4 международных и 4 республиканских конференциях и симпозиумах.

Публикация результатов исследования. По материалам диссертации опубликованы 24 научные работы. Из них 1 монография и 14 статей, в том числе 4 в зарубежном и 10 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 109 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

Первая глава диссертации «**Особенности механических свойств водонасыщенных мелкодисперсных грунтов и характер их взаимодействия с расположенными в них твердыми телами**» посвящена вопросам взаимодействия трубопровода с окружающим его грунтом. Изложены общие зарубежные сведения о системах жизнеобеспечения и дан анализ материалов по последствиям землетрясений. По данным японских исследователей Т. Iwamoto и Т. Yamaji, во время землетрясения в Мияги в 1972 г., помимо повреждений и разрушений подземных трубопроводов, обнаружены случаи подъема из-под земли участков трубопровода, образовавшие пологие арки. Аналогичные повреждения отмечены при землетрясениях в районе Кум-Дага 1983 г., в Калифорнии 1952 г., Kushiro-oki 1993 г., Niigataken-chuets 2004 г. и др., кроме того при последних землетрясениях наблюдались подъемы канализационных колодцев.



Рис. 1. Подъем участка трубопровода из-под земли



Рис. 2. Поднятый колодец в г. Onbetsu при землетрясении Tokachi-oki 2003 г.

Анализ исследований поднятых подземных сооружений при землетрясении показал, что основная причина их подъема – разжижение окружающего грунта. К понятию водонасыщенный грунт относятся очень разные по свойствам грунты. В связи с этим, в зависимости от влажности глинистые грунты, Т.Р.Рашидовым и Ш.М. Сибукаевым, предложено разделить на 3 категории:

I. ($0 < \bar{W} < 15\%$) – грунты, обладающие несущей способностью, характер взаимодействия которых с подземными сооружениями подробно и основательно разработан в рамках динамической теории сейсмостойкости подземных сооружений.

II. ($15 < \bar{W} < 45\%$) – грунты этой категории следует рассматривать как сложные реологические среды, их несущая способность незначительна.

III. ($\bar{W} > 45\%$) – грунты этой категории следует рассматривать как вязкие жидкости.

Трубопровод, рассматриваемый в основной части диссертации, расположен в водонасыщенных грунтах на границе II и III категорий.

В традиционных грунтах главной причиной, обуславливающей характер взаимодействия грунта и подземного сооружения, является трение, а в водонасыщенных грунтах на первый план выходит наряду с трением и вязкость. В связи с этим появляется возможность дополнения и уточнения модели взаимодействия в системе «сооружение – грунт», что в сейсродинамике подземных сооружений является ключевой проблемой.

Т. Рашидовым и Ш.М. Сибукаевым предложены следующие математические модели взаимодействия для продольных и поперечных движений трубопровода в водонасыщенном грунте, образованные четырьмя базисными элементами: перемещение и скорость материальных частиц, а также их деформация и скорость деформации, являющиеся упругими и вязкими модулями, схематично это означает параллельное «включение» упругого элемента (H) и вязкого элемента (N), где H и N относятся к элементам Гука и Ньютона.

$$-\bar{q}_x = \bar{k}_x u + \bar{\lambda}_x \frac{\partial u}{\partial t} + \bar{\beta}_x \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{\mu}_x \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}; \quad -\bar{q}_z = \bar{k}_z w + \bar{\lambda}_z \frac{\partial w}{\partial t} - \bar{\beta}_z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \bar{\mu}_z \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t};$$

и как частный случай двухзвенные модели взаимодействия

$$-\bar{q}_x = \bar{k}_x u + \bar{\lambda}_x \frac{\partial u}{\partial t}; \quad -\bar{q}_z = \bar{k}_z w + \bar{\lambda}_z \frac{\partial w}{\partial t},$$

где u , w – соответственно продольное и поперечное перемещения трубы относительно грунта; $\bar{k}_x, \bar{k}_z, \bar{\beta}_x, \bar{\beta}_z$ – коэффициенты, характеризующие упругие свойства взаимодействия; $\bar{\lambda}_x, \bar{\lambda}_z, \bar{\mu}_x, \bar{\mu}_z$ – коэффициенты, характеризующие вязкие свойства взаимодействия.

Отметим, эти модели взаимодействия в системе «труба – грунт» используются при исследовании устойчивости подземных трубопроводов.

Во второй главе диссертации «Динамическая устойчивость подземных трубопроводов при быстром продольном нагружении» рассмотрена задача о динамической устойчивости трубопровода при сейсмических воздействиях, когда окружающий его мелкодисперсный грунт значительно переувлажнен. Задача решена как в линейной, так и геометрически нелинейной постановках. Считаем, что трубопровод, шарнирно закрепленный по концам, вдоль оси подвергается сжатию силой \bar{P} . Исходим из уравнения, описывающего поперечные перемещения трубы, дописанное членами, учитывающие геометрическую нелинейность трубы (согласно Г. Каудереру), модель взаимодействия трубы и грунта и действие продольной силы \bar{P} :

$$EJ \frac{\partial^4 (W_1 - W_0)}{\partial x^4} + (m_T + m_r) \frac{\partial^2 W_1}{\partial t^2} + \bar{\lambda}_z \frac{\partial W_1}{\partial t} + \bar{k}_z (W_1 - W_0) + P(t) \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} =$$

$$= \frac{EF_T}{l} \left[u(l, t) - u(0, t) + \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 dx \right] \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2}. \quad (1)$$

где $W_0(x)$ и $W_1(x,t)$ – начальный и полный прогибы трубы; $u(0,t)$ и $u(l,t)$ – продольное перемещение концов трубопровода; E – модуль упругости материала трубы; J – осевой момент инерции сечения трубы; F_T – площадь поперечного сечения трубы; l – длина трубы; m_T – погонная масса трубопровода; m_r – замещенная погонная масса грунта; $P(t)$ – внешняя сила.

Граничные условия: $W_1 = 0, \partial^2 W_1 / \partial x^2 = 0$ при $x=0; l$. Предположим для определенности $u(l,t)=u(0,t)=0$, т.е. концы трубы не смещаются.

Внешняя сила $P(t)$ задается в виде треугольной нагрузки:

$$P(t) = \begin{cases} \bar{c} t F_T, & t < T_0 \\ \bar{c} T_0 F_T \frac{T_1 - t}{T_1 - T_0}, & t > T_0 \end{cases} \quad (2)$$

Переход к безразмерным параметрам и учет значительной вязкости водонасыщенного грунта, позволяют прийти к уравнению с малым параметром при старшей производной по времени, один из методов решения которого – метод, предложенный А.Н. Тихоновым, позволяющий получить решение в виде расчетных формул, пригодных для непосредственного их применения. Построены графики зависимости максимальных поперечных перемещений трубопровода от времени.

- ♦ для первого участка: $0 \leq t_1 \leq 1, P(t_1) = \bar{c} T_0 F_T t_1$.

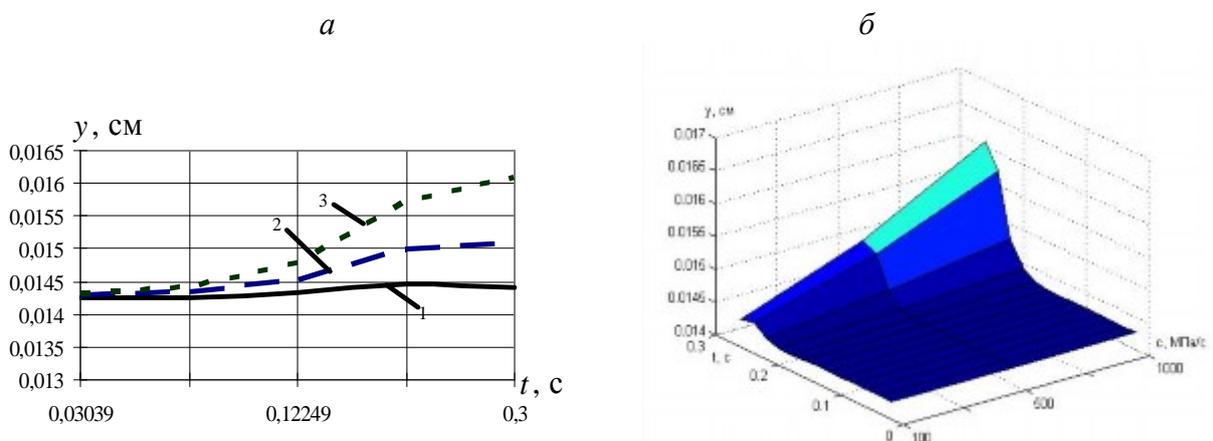


Рис. 3. Изменение максимального поперечного перемещения трубопроводов в двумерном (а) и трехмерном пространстве (б): 1 – $\bar{c} = 10^2$ МПа/с; 2 – $\bar{c} = 5 \cdot 10^2$ МПа/с; 3 – $\bar{c} = 10^3$ МПа/с

На этом этапе [$0 \leq t_1 \leq 1$] на графиках движение носит колебательный характер, максимальное перемещение y имеет порядок y_0 (бесконечно малая величина), поэтому колебания незаметны. В конце этого этапа, начиная с определенного значения времени t , обнаруживается тенденция к росту значений y . Результаты этого этапа служат начальными условиями для второго этапа. Этот результат согласуется с аналогичным результатом для стержня без грунта, приведенным в книге Вольмира А.С. «Устойчивость деформируемых систем».

♦ для второго участка: $1 \leq t_1 \leq 2$, $P(t_1) = \bar{c}T_0F_T(2 - t_1)$.

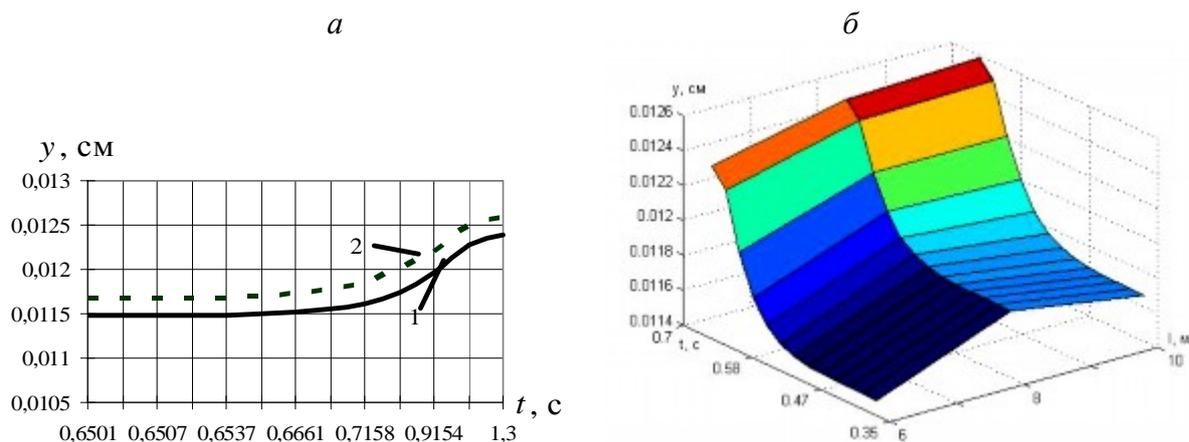


Рис. 4. Изменение максимального поперечного перемещения трубопровода в двумерном (а), трехмерном пространстве (б): 1 – $l=6$ м; 2 – $l=10$ м; $P_{кр}=7782$ кН; $t_{кр}=0.54$ с; $R=0.2$ м; $k_1=20$ МПа/м; $\delta=0.02$ м; $\mu=10^3$ Па·с; $T_0=0.65$ с; $\sigma=13.4$ МПа

На этом этапе [$1 \leq t_1 \leq 2$] отсчет ведется от нуля, полученные результаты позволяют установить в каждом конкретном случае значения критического времени и величину критической силы, при которых трубопровод оказывается в состоянии динамической неустойчивости. Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы: 1) как ожидалось, на устойчивость трубопровода влияет его жесткость; 2) также на поведение трубопровода оказывает влияние его длина. Чем больше l , тем трубопровод менее устойчивый; 3) чем больше параметр силы, тем вероятность выпучивания возрастает при одинаковых параметрах трубы; 4) характерное время T_0 нагружения влияет на устойчивость трубопровода: чем больше T_0 , тем больше перемещение; 5) чем больше динамическая вязкость грунта, тем наиболее вероятно выпучивание; 6) чем больше коэффициент постели, тем устойчивее трубопровод; 7) чем больше \bar{c} , тем больше $P_{кр}$.

Задача решалась как в линейной, так и геометрически нелинейной постановках. Сравнительный анализ результатов решения позволяет сделать вывод о том, что учет геометрической нелинейности в данной постановке не вносит каких-либо существенных поправок (геометрическая нелинейность влияет на 4-й, 5-й знак после запятой).

В третьей главе диссертации «Динамическая устойчивость подземных трубопроводов при продольных пульсирующих нагрузениях» рассмотрим трубопровод, расположенный в сильно переувлажненном грунте, один конец которого считается неподвижным, а второй конец соединенным с массивным телом (сложный узел и т.п.). Предполагается, что в результате сейсмического воздействия массивное тело передает на трубопровод осевое перемещение, где частота возмущения примерно вдвое больше собственной частоты поперечных колебаний трубопровода. Задача решается на базе системы уравнений Кирхгоффа, применяемой в технической теории «больших прогибов» стержней:

$$\left. \begin{aligned} m_T \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - EF_T \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 \right] &= \bar{q}_x \\ m_T \frac{\partial^2 W_1}{\partial t^2} + EJ \frac{\partial^4 W_1}{\partial x^4} - EF_T \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial W_1}{\partial x} \left[\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1}{\partial x} \right)^2 \right] \right\} &= \bar{q}_z \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Граничные условия: $U=0$ при $x=0$, $U=U_0+U_1 \cos \gamma t$ при $x=l$;
 $W_1=0$, $\partial^2 W_1 / \partial x^2 = 0$ при $x=0$; l .

где t , x – размерные время и координата точки оси трубопровода; F_T – площадь поперечного сечения; EJ – изгибная жесткость трубопровода; m_T – погонная масса трубы; \bar{q}_x , \bar{q}_z – размерные продольная и поперечная компоненты погонных внешних сил, действующих на трубу.

Принимая во внимание, что трубопровод имеет начальное искривление, переход к безразмерным величинам и сравнительный анализ безразмерных параметров задачи позволили выделить два предельных варианта:

I. Массивный трубопровод, расположенный в водонасыщенных глинистых грунтах, обладающих сравнительно невысокой вязкостью. В этом случае задача была сведена к исследованию параметрического резонанса. В результате построены амплитудно-частотные диаграммы для различных наборов числовых значений параметров, характеризующих трубопровод и его взаимодействие с окружающей средой.

В аналогичных задачах не рассмотрено влияние начального искривления оси трубопровода, геометрических параметров трубы и влияние окружающей среды на изменение амплитудно-частотной характеристики.

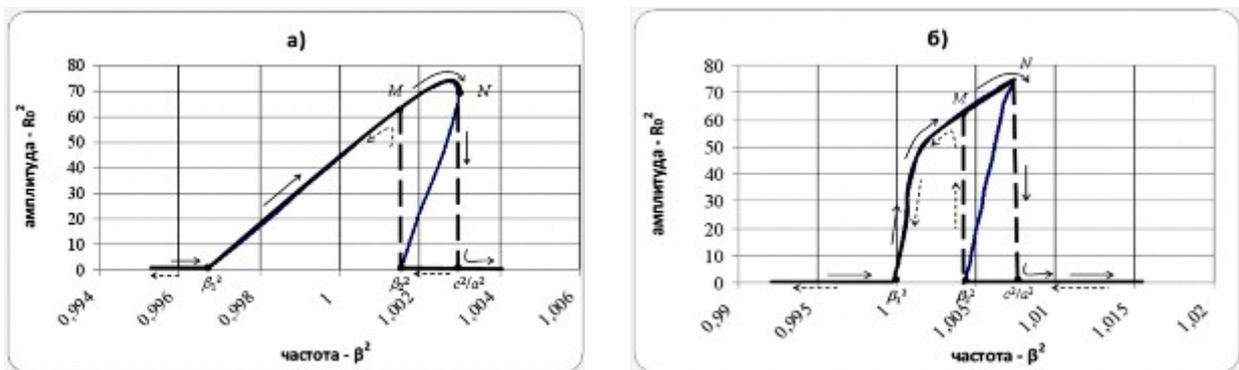


Рис. 5. Амплитудно-частотная диаграмма параметрических колебаний:
а – без учета начального прогиба; б – с учетом начального прогиба

На рисунке 5, а (без учета начального прогиба) показано медленное изменение частоты параметрического возбуждения, подходя с левой стороны жирные участки линий обозначают устойчивое состояние. При увеличении β состояние покоя устойчиво, а при $\beta = \beta_1$ появляются параметрические колебания, амплитуда которых сначала возрастает. При приближении к т. N амплитуда снова уменьшается. Когда β достигает значения c/a , колебания прекращаются. Если β уменьшается, т.е. подходя с правой стороны, состояние остается устойчивым. Как только попадаем в точку β_2 , возникают колебания с конечной амплитудой M , которая уменьшается при приближении к $\beta = \beta_1$, достигая которую, они станут равны нулю.

Для рисунка 5, б (с учетом правой части, т.е. начального прогиба) проводим аналогичный анализ.

II. Легкий трубопровод, расположенный в водонасыщенных грунтах со значительной вязкостью. В этом случае получилось уравнение с малым параметром при старшей производной по времени, которое решим по методу, предложенному А.Н. Тихоновым, т.е. по аналогично проделаем ту же процедуру и анализ графиков, что и в гл. 2, разница в том, что здесь рассматривается один временной этап. Задача решена используя 4х- и 2хзвенную модели взаимодействия системы «трубопровод – грунт», сравнение результатов показало, что параметры $\bar{\beta}_z$, $\bar{\mu}_z$ не влияют на значения максимальных поперечных перемещений трубопровода.

Анализ случаев, рассмотренных в гл. II и III, показывает, что легкий трубопровод менее подвержен такому явлению, как выпучивание и для них критическое время больше, т.е. легкие трубопроводы более надежны, что и следовало ожидать.

В четвертой главе диссертации «Исследование подъема подземных трубопроводов и колодцев численным методом» в §1 исследуется задача подъема подземного трубопровода, расположенного в водонасыщенных грунтах, при осевом нагружении, учитывая совместные продольные и поперечные перемещения. Разделим трубопровод длиной l на конечные элементы, их размеры полагаем одинаковыми и равными a . Полагаем, что в сечении $x=0$ действует внешняя осевая сила сжатия \bar{P} . Любой подземный трубопровод имеет начальный прогиб, который выбран в виде синусоиды.

Составим выражения полной работы деформации для i -ого элемента, учитывая геометрическую нелинейность

$$A_U^i = \frac{1}{2} EF \int_0^a \left[\frac{\partial U^i}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 \right]^2 dx + \frac{1}{2} EJ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 (W_1^i - W_0^i)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{P^2 a}{2EF} \quad (4)$$

и кинетической энергии трубы

$$E_k^i = \frac{1}{2} \mu \int_0^a \left[\left(\frac{\partial U^i}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial t} \right)^2 \right] dx, \quad \text{где } \mu = m_T + m_G, \quad (5)$$

где $W_0^i = W_0^i(x)$, $W_1^i = W_1^i(x, t)$ – начальный и полный прогибы i -того элемента; U^i – продольное перемещение i -ого элемента.

Потенциал силы сжатия вычисляется по формуле

$$V_p^i = \frac{-P^2 a}{EF} - \frac{P}{2} \int_0^a \left[\left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 - \left(\frac{\partial W_0^i}{\partial x} \right)^2 \right] dx. \quad (6)$$

Работы от сил взаимодействия элемента трубопровода с грунтом представим в следующем виде:

$$A_{D1}^i = \frac{1}{2} \int_0^a \left[\bar{k}_x (U^i)^2 + \bar{k}_z (W_1^i - W_0^i)^2 \right] dx; \quad A_{D2}^i = \frac{1}{2} \int_0^a \left[\bar{\lambda}_x \frac{\partial}{\partial t} (U^i)^2 + \bar{\lambda}_z \frac{\partial}{\partial t} (W_1^i)^2 \right] dx. \quad (7)$$

Рассмотрим следующие граничные условия:

$$W_1 = 0, \quad \frac{\partial^2 W_1}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при } x=0; l; \quad U=r_1 \quad \text{при } x=0; \quad U=0 \quad \text{при } x=l.$$

Применяется гипотеза Кирхгофа в пределах элемента трубы, тогда уравнение (4) будет иметь вид

$$A_u^i = \frac{1}{2a} EF \left[U^i[a,t] - U^i[0,t] + \frac{1}{2} \int_0^a \left(\frac{\partial W_1^i}{\partial x} \right)^2 dx \right]^2 + \frac{1}{2} EJ \int_0^a \left(\frac{\partial^2 (W_1^i - W_0^i)}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{P^2 a}{2EF}.$$

Общая потенциальная энергия будет равна $\Pi = A_u + V_p$. Определим функцию Лагранжа $L = E_k - \Pi$, $q_i = q_i(t)$ примем за обобщенные координаты. Составим уравнение Лагранжа II – рода

$$\left\{ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = - \frac{\partial A_{D1}}{\partial q_i} - \frac{\partial A_{D2}}{\partial \dot{q}_i}; \quad \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{r}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial r_1} = - \frac{\partial A_{D1}}{\partial r_1} - \frac{\partial A_{D2}}{\partial \dot{r}_1} \right.$$

Формы трубопровода в поперечном направлении представим через полиномы Эрмита кубической степени. Разделим длину трубопровода на n конечных элементов, тогда количество неизвестных перемещений узлов $(n+1)$. Прогибы $W_1=q_i, W_1=q_j$, углы поворота в узлах элементов $W_1' = q_{i+1}, W_1' = q_{j+1}$. Итак, для k -ого элемента полный прогиб трубопровода представим в следующем виде: $W_1^k = \mathcal{E}_1 q_i + \mathcal{E}_2 q_{i+1} + \mathcal{E}_3 q_j + \mathcal{E}_4 q_{j+1}$, где q_i, q_j – прогибы, q_{i+1}, q_{j+1} – углы поворотов в узлах; $\mathcal{E}_1 = 1 - 1.5\xi^2 + 0.5\xi^3$, $\mathcal{E}_2 = a(\xi - 1.5\xi^2 + 0.5\xi^3)$, $\mathcal{E}_3 = 1.5\xi - 0.5\xi^3$, $\mathcal{E}_4 = a(-0.5\xi + 0.5\xi^3)$, $\xi = x/a$.

Для произвольного k -ого элемента продольное перемещение представим в виде: $U^k = r_i(a-x)/a + r_{i+1}(x/a) = r_i(1-\xi) + r_{i+1}\xi$, где r_i, r_{i+1} – продольные перемещения узлов.

Графики зависимостей максимальных поперечных перемещений подземного трубопровода q_3/a от времени $t_1=t/T_0$ при действии на подземный трубопровод осевой силы $P(t) = \bar{c}F_T t$, $P = mP_s$ ($P_s = 4\pi^2 EJ/l^2$ – эйлерова критическая сила) получены для трубопровода, разделенного на два элемента ($n=2$) с тремя узлами ($n+1=3$). Отметим, аналитические исследования динамической устойчивости подземного трубопровода в данной постановке выполнены в гл. 2.

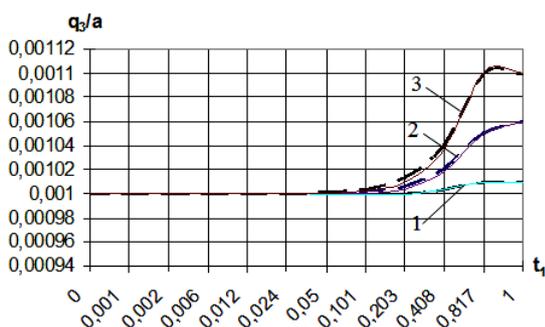


Рис. 6. Изменение максимального поперечного перемещения трубопровода в зависимости от времени:
 — аналит.; --- числен.;
 $I-c=10^2$ МПа/с;
 $2-c=5 \cdot 10^2$ МПа/с; $3-c=10^3$ МПа/с

Сравнение результатов показывают, что результаты достаточно близки, погрешность незначительна. Решение задачи получено численным методом, чтобы апробировать метод и решить задачу для общего случая, когда совместно учитываются продольные и поперечные перемещения.

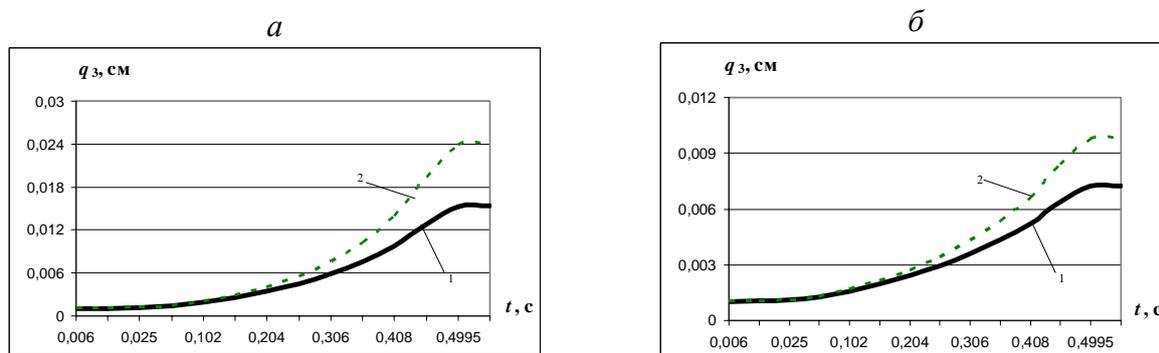


Рис. 7. Зависимости поперечных движений подземной трубы от времени: 1 – без учета продольного перемещения; 2 – $r_1 = -0.001$; $l = 7$ м (а) и $l = 8$ м (б)

На графике рис. 7, а учет продольного перемещения r_1 увеличивает значение поперечного перемещения примерно в 1.56 раза, а на рис. 7, б учет продольного перемещения r_1 увеличивает значение поперечного перемещения в 1.35 раз. Получено, что продольное перемещение r_1 зависит от геометрических параметров трубопровода и коэффициентов взаимодействия с грунтом. При действии осевой силы, имеющей значение меньше эйлеровой нагрузки, влияние продольного перемещения r_1 на подъем трубопровода в первой форме незначительно, т.е. численные значения поперечных перемещений одного порядка. Поэтому допущение, что концы трубопровода в продольном направлении принимаются не смещающимися, сделанное в гл. 2 является приемлемым, это дает в свою очередь сравнительную оценку полученным результатам.

В главе 4 §2 исследуем НДС подземного трубопровода, в точке $x=l$ которого присоединена масса, в качестве которой выступает колодец. Сейсмическое перемещение грунта действует в перпендикулярном направлении в т. $x=l$, которое задаем в виде $\bar{W}_{gr} = \lambda_{gr} \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi/T_0$.

$$EJ \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + m_T \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + \bar{\lambda}_z \frac{\partial(W - \bar{W}_{gr})}{\partial t} + \bar{k}_z (W - \bar{W}_{gr}) = 0. \quad (8)$$

где $W(x,t)$ и \bar{W}_{gr} – поперечное перемещение трубопровода и грунта; $\bar{\lambda}_z$, \bar{k}_z – коэффициенты взаимодействия трубы с водонасыщенным грунтом.

Граничные условия:

$$\begin{cases} W = 0, & \frac{\partial W}{\partial x} = 0 & \text{при } x = 0, \\ EJ \frac{\partial^3 W}{\partial x^3} = m_{kol} \frac{\partial^2 \bar{W}_{kol}}{\partial t^2} + \beta_{kol} \frac{\partial(\bar{W}_{kol} - \bar{W}_{gr})}{\partial t} + k_{kol} (\bar{W}_{kol} - \bar{W}_{gr}) & \text{при } x = l, \\ EJ \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} - k_2 \frac{\partial W}{\partial x} = 0 & \text{при } x = l. \end{cases}$$

Начальные условия: $W = 0$; $\partial W / \partial t = 0$

Краевая задача решается методом конечных разностей.

Нормальное напряжение, момент и перерезывающая сила определяются по формулам:

$$\sigma = -Ez \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}; \tau_{xz} = G \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) = 0; M = -EJ_y \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}; Q = \frac{\partial^3 W}{\partial x^3}.$$

a

б

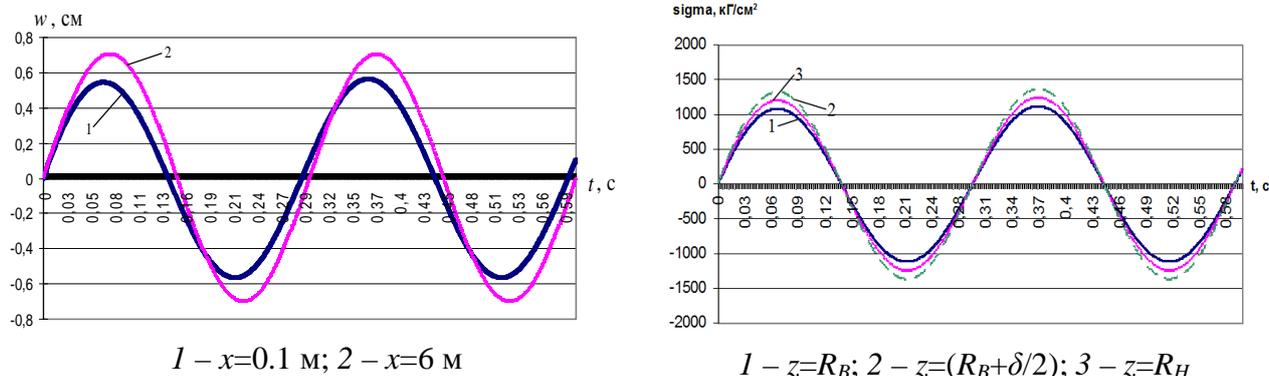


Рис. 8. Изменение поперечных перемещений трубы (а) и нормальных напряжений (б) по времени

На величину поперечных перемещений подземного трубопровода влияют коэффициенты взаимодействия и геометрические размеры сооружения. Граничные условия влияют на изменение нормальных напряжений. Значение нормального напряжения изменяется по поперечному сечению трубопровода. Максимальное нормальное напряжение возникает в точках внешнего радиуса ($z = \pm R_H$).

В главе 4 §3 предложены рекомендации по уменьшению подъема подземных сооружений, расположенных в водонасыщенных грунтах. Выпучивание заглубленных трубопроводов вызывается высокими температурами и давлениями транспортируемого потока или исключительно внешними причинами (эрозия почвы, размыв, разжижение грунта и пр.). В таких грунтах, если осевая сжимающая сила сгенерированная сейсмическими воздействиями становится большой, трубопровод теряет устойчивость и по мере развития процесса, наблюдается его коромыслообразное выпучивание над поверхностью земли. Результатом обычно являются значительный перегиб и овальность трубопровода, высокий риск повреждения стенки трубы а, следовательно, утечки транспортируемого продукта. Процесс выпучивания трубопровода в значительной степени зависит от начальных дефектов. Грунтовая засыпка создает дополнительную нагрузку на свободно висящий пролет трубопровода, что усиливает его начальную прогиб. Если пустота под осью трубы может быть заполнена подходящую засыпку вдоль всего трубопровода, коромыслообразного выпучивания не произойдет. В качестве засыпки могут быть использованы гравий, песок, ил, пластичная глина или изготовленные в заводских условиях специальные маты.

Экспериментальные лабораторные исследования подземных сооружений, расположенных в водонасыщенных грунтах, проводятся за рубежом с целью предложения контрмер против выпучивания подземных

сооружений: 1. Необходимо максимально уплотнять грунт обратной засыпки; 2. Заполнять траншеи гравием, а не песком; 3. Смешивать песок с цементом. Небольшая заливка бетоном может повысить сопротивляемость трубопровода. Однако эти методы не могут быть применены к существующим колодцам и трубам; 4. Монтаж свай, так как сваи предотвращают движение разжиженного грунта; 5. Использование подземных блоков (колонн) из сухого бетона может значительно уменьшить разжижение грунта. Эти результаты требуется привести в соответствии с условиями Узбекистана.

Сделан анализ нормативных документов Японии, США, России и других стран по сейсмостойкому строительству подземных трубопроводов, в которых предусматриваются мероприятия, обеспечивающие их надежную и безопасную эксплуатацию:

- неравномерный грунт вдоль трассы может вызвать большую деформацию трубопровода по сравнению с равномерным грунтом. При сейсмостроительстве необходимо учитывать подземное перемещение трубопровода. Должно использоваться взаимодействие в системе «трубопровод – грунт» в продольном и поперечном направлениях для моделирования выпучивания и выражаться функциями, которые определяются экспериментально;

- в районах перехода через тектонические нарушения следует укладывать трубопровод таким образом, чтобы он мог работать на растяжение и умеренный изгиб. А заложение трубопровода, которое заставило бы его работать на сжатие, следует избегать, насколько это возможно, поскольку способность трубопровода выдерживать деформацию сжатия без разрыва существенно меньше, чем способность выдерживать деформацию растяжения. Любые деформации сжатия следует ограничивать до такой величины, которые привели бы к смятию или локальной потере устойчивости при изгибе трубопровода;

- уплотнение грунта вокруг трубопроводов способствует уменьшению выпучивания, так как грунт играет функцию удерживающей силы в направлении перпендикулярном оси трубопровода, который имеет большое влияние на его начальную деформацию;

- при проектировании трубопроводов в сейсмоактивных регионах рекомендуется избегать косогорные участки, а также участки с неустойчивыми и просадочными грунтами;

- для защиты трубопроводов при прокладке их через селевой поток могут предусматриваться водозащитные устройства, дренирование подземных вод, сооружение подпорных стен;

- участки трубопроводов, прокладываемые в обводненных районах, должны быть рассчитаны на устойчивость положения. Устойчивость положения обеспечивается одним из следующих способов или их комбинаций, предусматривающие специальные конструкции и устройства: балластировка грунтом, железобетонными плитами или ящиками, загруженными грунтом, железобетонными седловидными грузами, сборными железобетонными скорлупами, сплошным обетонированием или винтовыми анкерными устройствами.

Сейсмоустойчивость трубопроводов должна обеспечиваться:

- выбором благоприятных в сейсмическом отношении участков трасс и площадок строительства (надо особо обратить внимание на сейсморайонирование строительства подземных трубопроводов);
- применением рациональных конструктивных решений и антисейсмических мероприятий, основанных на расчетах;
- дополнительными запасами устойчивости и прочности, принимаемыми при расчетах прочности и устойчивости трубопроводов.

Как правило, трубопроводы следует прокладывать в грунтах, которые проверены на сохранение устойчивости под сценарным сейсмическим воздействием. Когда вышеуказанное условие не может быть удовлетворено, следует оценить характер и степень неблагоприятных явлений и принять соответствующие проектные контрмеры. Возможность использования таких грунтов в качестве оснований сооружений без указанных выше мероприятий должна обосновываться специальными исследованиями. При необходимости строительство на таких площадках допускается по специальным техническим условиям, согласованным с Госкомархитектуром РУз.

В водонасыщенных грунтах следует использовать полимерные трубопроводы, так как они более гибкие, поэтому смогут противостоять действию динамических нагрузок (типа землетрясений). Это позволит обеспечить бесперебойную работу подземной системы жизнеобеспечения. Результаты диссертационных исследований, соответствующие вышеизложенным выводам, предложены для актуализации нормативного документа.

Таким образом, расчет подземных сооружений при сейсмических воздействиях следует производить на прочность, устойчивость сооружений и по несущей способности грунтовых оснований. Оценка систем трубопроводов против будущих землетрясений важна для строительства сейсмостойких инфраструктур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования по диссертационной работе доктора философии (PhD) на тему «Динамическая устойчивость трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах» представлены следующие выводы:

1. Сформулирована постановка задач динамической устойчивости подземных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах, с использованием кинематической модели взаимодействия в системе «трубопровод – грунт» и предложены методы их решения. Определены максимальные поперечные перемещения и амплитудно-частотные характеристики, отражающие поведение массивных и легких трубопроводов.

2. Задача при быстром продольном нагружении решалась как в линейной, так и геометрически нелинейной постановках. Проведен сравнительный анализ результатов решения задач и отмечается, что геометрическая нелинейность проявляется незначительно. Определены критическое время и величина критической силы, при которых трубопровод оказывается в состоянии неустойчивости. Также задача в данной постановке решена

численным методом. Сравнительный анализ позволил получить удовлетворительные совпадения результатов решения задачи, используя аналитический и численный методы, поэтому полученные результаты являются обнадеживающими.

3. В задаче при циклическом нагружении установлено, что для массивных трубопроводов, расположенных в водонасыщенных глинистых грунтах, обладающих сравнительно невысокой вязкостью, выпучивание может проявляться в форме параметрического резонанса. А для легких трубопроводов, расположенных в глинистых грунтах со сравнительно высокой вязкостью, исследование возможности их выпучивания сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения по методу, А.Н.Тихонова. Также для данной задачи проведены сравнения результатов, используя двухзвенную и четырехзвенную модели взаимодействия с окружающим грунтом. На примере исследования выпучивания трубопровода, имеющего малую погонную массу, при его продольном пульсирующем нагружении, показано, что допустимо пользоваться двухзвенной моделью взаимодействия.

4. Для конкретных числовых параметров, построены графики, анализ которых позволил выявить влияние реологических параметров грунта, геометрических характеристик трубы на его устойчивость. Полученные результаты и выводы по ним находятся в удовлетворительном соответствии с результатами наблюдений за поведением трубопроводов в реальных условиях. А также согласуются с выводами экспериментальных исследований, проведенных зарубежными исследователями. Установлено, что легкие трубопроводы менее подвержены риску выпучивания в сравнении с более массивными, находящимися в тех же грунтовых условиях.

5. Предложены рекомендации по уменьшению выпучивания подземных трубопроводов в разжиженных грунтах, прокладываемые в сейсмических районах.

Полученные результаты исследования устойчивости подземного трубопровода, расположенного в водонасыщенном грунте, и вычислительная программа внедрены в процесс проектирования и строительства АЈ «O'zog'irsanoatloyiha instituti» и Головном проектно-изыскательском институте ООО «Кишлоккурилишлойиха» (Справка по внедрению Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству от 31 января 2018 г., № 794/11-03). Внедрение научных результатов позволили повысить качество работ и производительность труда, сократить время расчета, обеспечить устойчивость и запас прочности трубопроводов в 1,25 раза.

Разработанный метод расчета и вычислительная программа по исследованию динамической устойчивости подземных трубопроводов, уложенных в водонасыщенных грунтах, при продольных нагружениях внедрены в процесс проектирования и строительства (завод по производству флоад-стекла в Бекабадском районе, завод по производству кабин «MAN», завод СП ООО «UzAUTO-INZI», завод АО «Узметкомбинат» и др.). Применение научных результатов в процессе проектирования позволили повысить качество и эффективность работ, сократить время расчета в 2,3 раза, обеспечить устойчивость и запас прочности сооружений в 1,25 раза

(справка о внедрении от 10 ноября 2017 г. АЖ «O'zog'irsanoatloyiha instituti» №7/1767).

Метод численного расчета напряженно-деформированного состояния подземного трубопровода с массой на конце и расчетная формула для определения перемещений в зависимости от времени внедрены в Головном проектно-изыскательском институте «Кишлоккурилишлойиха» при проектировании и строительстве подземных трубопроводов на объектах «Индивидуального жилищного комплекса», что способствовали повышению качества работ и производительности труда на 20%, а также эффективности расчетно-проектных работ в 1,5 раза (акт внедрения от 7 декабря 2017 г. ООО «Кишлоккурилишлойиха»).

6. Многие соображения наших результатов, программа расчетов и приемственные экспериментальные исследования, а также рекомендации из нормативных документов различных стран мира с корректировкой для местных условий Узбекистана, могут служить материалом для дополнения и совершенствования нормативного документа КМК 2.01.03-96. Основной идеей исследований является уменьшение ущерба подземных сооружений с целью удовлетворения сейсмическому критерию производительности "нет утечки транспортируемого продукта". В КМК 2.01.03-96 необходимо добавить раздел по оценке устойчивости подземных трубопроводов, это позволит повысить качество и сейсмобезопасность их проектирования и строительства.

Проводимые исследования являются дальнейшим и естественным развитием сейсמודинамической теории подземных сооружений и отражают актуальный вопрос, поднятый на международном уровне. Результаты диссертационной работы являются новым вкладом в теорию устойчивости – влияние водонасыщенных грунтовых условий на устойчивость трубопроводов.

7. Выполненная работа является первым приближением и открывает перспективу для новых ранее не предусмотренных направлений исследований, связанных с изучением подземных трубопроводов при произвольно направленном сейсмическом воздействии по отношению к трубопроводу. Отметим, что для этих задач создана основа, подходы для продолжения работ.

Практическая важность проводимых исследований в этом направлении непосредственно вытекает из самой постановки задач, поэтому предстоит получить наиболее упрощенные методы оценки устойчивости трубопроводов, чтоб рекомендовать их для проектировщиков и строителей. А также интересно рассмотреть устойчивость трубопроводных систем, когда они проходят в зонах разлома и обвалов.

Соискатель выражает глубокую благодарность академику АН РУз, д.т.н. Т. Рашидову за постоянное внимание, ценные советы и всестороннюю поддержку, искреннюю признательность к.ф.-м.н., доц. Ш.М. Сибукаеву за постановку задач, неоценимый вклад и консультации по теории устойчивости, а также д.ф.-м.н., проф. Б. Мардонову за ценные консультации, советы и своевременную помощь, благодаря которым рукопись диссертационной работы значительно улучшилась.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.27.06.2017.T/FM.03.04 AT TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**INSTITUTE OF MECHANICS AND SEISMIC STABILITY
OF STRUCTURES**

AN EKATERINA VLADIMIROVNA

**DYNAMIC STABILITY OF PIPELINES LOCATED
IN WATER SATURATED SOIL**

01.02.04 – Mechanics of deformable rigid body

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2018

The subject of doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan B2017.1.PhD/FM17.

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

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on web-page of Scientific Council at the address www.tdu.uz and information – educational portal «ZiyoNet» at the address www.ziyo.net.

Scientific adviser: **Rashidov Tursunbay**
doctor of technical sciences, professor, academician

Official opponents: **Sultanov Karim Sultanovich**
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Safarov Ismoil
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent institute of engineers and railway transport**

The defense of the dissertation will take place on «3» March 2018 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of Scientific Council Awarding Scientific Degrees DSc.27.06.2017.T/FM.03.04 at Tashkent State Technical University and National University of Uzbekistan (Address: 100095, Tashkent, University street, 2. Phone: (99871) 246-46-00, fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

The dissertation is registered in Information-resource center (IRC) of Tashkent State Technical University (registration number 39). Address: 100095, Tashkent, University street, 2. Phone: (99871) 246-46-00, fax: (99871) 227-10-32.

Abstract of the dissertation sent out on «19» February 2018 year.
(mailing report № 42 on «19» February 2018 year).

K.A. Karimov
Chairman of the Scientific Council for awarding
scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

N.D. Turaxodjaev
Scientific secretary of Scientific Council for awarding
scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Dotsent

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

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is to determine dynamic stability of underground pipelines located in water saturated soil under the action of forces in the form of rapid or cyclic longitudinal loadings and the conditions of the pipeline occurs in an unstable state which will be the cause of its destruction.

The tasks of research: to write “regular” and “boundary” components of the solution to the first approximation and obtain the calculation formula for determining the displacement of pipeline depending on time; to determine the relationships when the buckling of the pipeline occurs and obtain the calculation formula of amplitude and frequency dependencies; to develop a method for investigating the stability of the underground pipeline located in the water saturated soil in the general case when longitudinal and transverse displacements are taken into account together; to determine the influence of rheological parameters of soil, geometric and mechanical characteristics of the pipeline and also the effect of geometric nonlinearity on the stability of the pipeline; to determine the values of the critical time and the force when the pipeline located in the significant viscosity soil occurs in an unstable state; to develop a methodology for the numerical calculation of stress-strain state of the underground pipeline with the mass at the end using the kinematic interaction model in the system "pipeline-soil".

The object of the research work is underground lifeline systems (pipelines and manholes) located in the water saturated soils.

Scientific novelty of the research work consists in the following: a method for calculating the stability of underground pipelines located in the water saturated soils using the kinematic interaction model in the system “pipe – soil” is developed; a calculation method for determining the displacements depending on time and also formulas of amplitude and frequency dependencies are developed which suitable for their direct application; a method for solving the problem of the stability of a geometrically nonlinear underground pipeline located in the water saturated soil is developed for the general case when longitudinal and transverse displacements are taken into account together; a method for the numerical calculation of stress-strain state of the underground pipeline with the mass at the end (manhole) using the kinematic interaction model in the system "pipeline-soil is developed.

The outline of the thesis. The formulation of problems of dynamic stability of underground pipelines located in water saturated soils is formulated using the kinematic interaction model in the system "pipeline-soil" and methods for their solution are proposed. The maximum of transverse displacements and amplitude and frequency characteristics reflecting the behavior of massive and light pipelines are determined.

The linear and geometrically nonlinearly problems under rapid longitudinal loading are solved. A comparative analysis of the results of the solution of problems is carried out and it is noted that the geometric nonlinearity influences insignificantly. The values of critical time and force when the pipeline occurs in

the instability state are determined. Also the problem in this formulation is solved by the numerical method. Comparative analysis allowed obtaining satisfactory coincidence of the results of solving the problem using analytical and numerical methods therefore the results obtained are encouraging.

Buckling of the massive pipelines located in the water-saturated clay with a relatively low viscosity under a cyclic loading can be manifested as a parametric resonance. The study of the possibility of buckling light pipelines located in clay with a relatively high viscosity reduces to solving an ordinary differential equation by the method of A.N. Tikhonov. Also the results of two and four-link mathematical interaction models with the surrounding soil are compared for this problem. On the example of the study of buckling of the pipeline with the small mass per unit length under cyclic longitudinal loading it is revealed, that it is permissible to use two-link interaction model.

Graphs are constructed for each numerical parameters and their analysis revealed the influence of rheological parameters of the soil, the geometric characteristics of the pipe on its stability. The obtained results and conclusions are shown satisfactory agreement with the results of observations of the behavior of pipelines in real conditions. And they also agree with the conclusions of experimental tests conducted by foreign researchers. Light pipelines are less exposed to the risk of buckling in comparison with the more massive ones located in the same soil conditions are established.

The recommendations are proposed to reduce the buckling of underground pipelines located in the liquefied soil in the seismic regions.

The results of the studying the stability of the underground pipeline located in water saturated soil and computational program are introduced into the design and construction process AJ «O'zogirsanoatloyiha instituti» and Head Design and Survey Institute OOO «Qishloqqurilishloyiha» (reference on implementation from January 31, 2018 State Committee of the Republic of Uzbekistan for Architecture and Construction, N 794/11-03). Application of scientific results to improve the quality and efficiency of work, to reduce the calculation time, to ensure stability and safety margin of pipelines by 1.25 times.

The developed methodology and computational program for studying the dynamic stability of underground pipelines located in water saturated soils under longitudinal loads are introduced into the design and construction process (the plant for the production of float glass in the Bekabad region, the plant for the production of cabins "MAN", the plant of JV LLC "UzAUTO-INZI", the plant of JSC "Uzmetkombinat" and etc.). Application of scientific results in the design process allowed to improve the quality and efficiency of work, to reduce the calculation time by 2.3 times, to ensure stability and safety margin of structures by 1.25 times (reference on implementation from November 10, 2017 JSC "O'zog'irsanoatloyiha instituti, N 7/1767).

Method of numerical calculation of the stress-strain state of an underground pipeline with a mass at the end and calculation formula for determining the movement as a function of time implemented in the Head Design and Survey Institute «Qishloqqurilishloyiha» when design and construction process of

underground pipelines at "Individual housing complex" it's contributed to improving the quality of work and labor productivity by 20% and to increase the efficiency of calculation and design work by 1.5 times (act of implementation from December 7, 2017 OOO «Qishloqqurilishloyiha»).

Many conclusions of our results, the calculation program and the successive experimental tests as well as recommendations from Standards of various countries of the world with adjustment for the local conditions of Uzbekistan are a material for supplementing and improving the normative document KMK 2.01.03-96. The reduction of damage of underground structures is the main idea of the research to satisfy the seismic performance criterion "there is no leakage of the transported product". It is necessary to add a section on assessing the stability of underground pipelines into KMK 2.01.03-96. It will improve the quality and seismic safety of design and construction of underground pipelines.

Our research is the further and natural development of the seismodynamic theory of underground structures and they reflect the actual question which is raised at the international level. The results of the dissertation work are a new contribution to the theory of stability - the influence of water-saturated ground conditions on the stability of pipelines.

The performed work is the first approximation and it opens the outlook for new previously not provided areas of research related to the study of underground pipelines under randomly directed seismic action in relation to the pipeline. Let us note that for these tasks a basis is created, approaches for the continuation of the work.

The practical importance of the research in this direction directly follows from the formulation of the problems therefore it is necessary to obtain the most simplified methods for assessing the stability of pipelines in order to recommend them for designers and builders. And it is also interesting to consider the stability of pipeline systems when they pass through faults and landslides.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Ан Е.В. Динамическая устойчивость трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах. – Ташкент: «Fan va texnologiya» нашриёти, 2013. – 112 с. ISBN 978-9943-10-913-1.

2. Ан Е.В. Динамическая устойчивость подземного трубопровода при быстром продольном нагружении // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2008. – № 4 – 5. – С. 73 – 77. (01.00.00; №4).

3. Ан Е.В. Исследование динамической устойчивости подземного трубопровода с учетом геометрической нелинейности // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2009. – №5–6. – С.84–87. (01.00.00; №4).

4. Рашидов Т.Р., Рашидов И.Т., Ан Е.В. Вопросы изученности сейсмостойкости систем жизнеобеспечения (подземные трубопроводы) // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2010. – № 3. – С. 12–14. (01.00.00; №4).

5. Ан Е.В. Исследование выпучивания подземного трубопровода при продольном динамическом нагружении // ДАН РУз. – Ташкент, 2012. – № 4. – С. 38 – 41. (01.00.00; №7).

6. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Сейсמודинамика сооружений, взаимодействующих с грунтом, в материалах Международной конференции по проектированию в геотехнической инженерии (Токио, Япония, 2009 г.) // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2013. – № 3 – 4. – С. 40 – 45. (01.00.00; №4).

7. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Сейсמודинамика подземных трубопроводных систем жизнеобеспечения в материалах Всемирной конференции по сейсмостойкому строительству (Лиссабон, 2012) // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2014. – №3–4. – С.154–159. (01.00.00; №4).

8. Ан Е.В. Исследование колебаний геометрически нелинейного трубопровода методом конечных элементов // ДАН РУз. – Ташкент, 2015. – № 5. – С. 33 – 36. (01.00.00; №7).

9. Ан Е.В. Анализ влияния двух- и четырехзвенной моделей взаимодействия в исследованиях динамической устойчивости подземных трубопроводов при циклическом нагружении // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2016. – № 1. – С. 60 – 64. (01.00.00; №4).

10. Ан Е.В. Подъем колодцев при сейсмическом нагружении подземных трубопроводов и меры по их недопущению // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2016. – № 3. – С. 11– 14. (01.00.00; №4).

11. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Исследование устойчивости подземного трубопровода с учетом геометрической нелинейности при продольном нагружении // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М, 2017. – № 2. – С. 7 – 11. (01.00.00; №33).

Rashidov T.R., An E.V. Geometrically nonlinear buckling stability analysis of axially loaded underground pipelines // Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York. Vol. 54. No 2. May 2017. P. 76 – 80.

12. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Сейсמודинамика подземных трубопроводов, взаимодействующих с водонасыщенным мелкодисперсным грунтом // Механика твердого тела. – М., 2015. – № 3. – С. 89 – 104.

Rashidov T.R., An E.V. Seismodynamics of underground pipelines interacting with water-saturated fine-grained soil // Mechanics of Solids. 2015. Vol.50. Issue 3. P. 305 – 317.

13. Сибукаев Ш.М., Ан Е.В. Выпучивание прямолинейного подземного трубопровода конечной длины, расположенного в водонасыщенном грунте, при действии циклической нагрузки // Вестник ТашИИТ. – Ташкент, 2011. – № 3. – С. 44 – 46.

14. Ан Е.В. Устойчивость подземных трубопроводов при продольных пульсирующих нагрузках // Безопасность энергетических сооружений. – М., 2015. – № 2(20). – С. 43 – 47.

15. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Бекмирзаев Д.А., Ан Е.В., Нишонов Н.А. Современные проблемы сейсמודинамики подземных трубопроводных систем жизнеобеспечения и направление дальнейших исследований // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры имени Н. Исанова. – Кыргызстан, 2016. – № 1(51). – С. 419 – 427.

16. Рашидов Т., Каримова В.А., Ан Е.В. Расчет устойчивости подземных трубопроводов при динамических нагрузках // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 04374. 31.03.2017 г.

17. Ан Е.В. Динамическая устойчивость подземного трубопровода при быстром продольном нагружении с учетом геометрической нелинейности // Материалы Международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики». – Ташкент, 2009. – С. 234 – 237.

18. Ан Е.В. Исследование поведения прямолинейного трубопровода, расположенного в водонасыщенном грунте // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Взгляд молодых ученых на актуальные проблемы науки». – Ташкент, 2010. – С. 31.

19. Ан Е.В. Параметрический резонанс прямолинейного трубопровода, расположенного в водонасыщенном грунте // Тезисы докладов VII Международного научного симпозиума, посвященный 80-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ профессора В.Г. Зубчанинова «Проблемы прочности, пластичности и устойчивости в механике деформируемого твердого тела». – Тверь, 2010. – С. 10 – 11.

20. Ан Е.В. Подъем подземных канализационных трубопроводов и колодцев при землетрясениях // Материалы Республиканской научно-практической конференции молодых ученых «Научный прогресс и инновационное развитие экономики». – Ташкент, 2012. – С. 37 – 38.

21. Каримова В.А., Ан Е.В. Математические модели и алгоритмы расчета устойчивости подземных систем жизнеобеспечения // Материалы XIII

Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии». – Воронеж. 2013. – Т.2.– С. 100 – 103.

22. Ан Е.В. Подъем трубопроводов и колодцев во время прошедших землетрясений и их контрмеры //Сборник тезисов докладов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых посвященной 70-летию Академии наук Республики Узбекистан. – Ташкент, 2013. – 119 с.

23. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Выпучивание подземных сооружений и предложения по технологии укрепления этих сооружений // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Қурилишда геотехника масалаларини замонавий усуллари ва технологияси». – Ташкент, 2014. – С. 178 – 183.

24. Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Устойчивость подземных трубопроводов с учетом геометрической нелинейности, взаимодействующих с водонасыщенными грунтами // Упругость и неупругость. Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 105-летию со дня рождения А.А. Ильюшина. – М.: изд-во Моск. ун-та, 2016. – С. 396 – 398.

Авторефератнинг ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги нусхалари
«Механика муаммолари» Ўзбекистон журнали тахририятида
тахрирдан ўтказилди

Бичими $60 \times 84^{1/16}$. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100. Буюртма № ____.

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

