

**БУХОРО МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ Phd. 03/27.02.2021.
ФМ.101.02. РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШИ ҚОШИДАГИ БИР
МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УРГАНЧ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

РАҲМОНОВ БАҲОДИР СОБИРОВИЧ

**СЕЙСМИК-ПОРТЛАШ ТЎЛҚИНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ЕР ОСТИ
ИНШООТЛАРИГА ТАЪСИРИНИ ТАБИИЙ ДАЛА ШАРОИТИДА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ**

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Бухоро – 2022

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора
(DSc) технических наук**

**Content of the dissertation abstract of Doctor of Science
(DSc) on Technical Sciences**

Рахмонов Баходир Собирович

Сейсмик-портлаш тўлқинлари ва уларнинг ер ости иншоотларига таъсирини асл
натуравий дала шароитида тадқиқ қилиш.....3

Рахмонов Баходир Собирович

Натурно-полевые экспериментальные исследования сейсмозрывных волн и их
воздействия на подземные сооружения.....29

Rakhmonov Bakhodir Sobirovich

Field-based experimental studies of seismic and explosive waves and their impact on
underground tructures.....55

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ63
List of published works

БУХОРО МУХАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ Phd. 03/27.02.2021.
FM.101.02. РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШИ ҚОШИДАГИ БИР
МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ
УРГАНЧ ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

РАҲМОНОВ БАҲОДИР СОБИРОВИЧ

СЕЙСМИК-ПОРТЛАШ ТЎЛҚИНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ ЕР ОСТИ
ИНШООТЛАРИГА ТАЪСИРИНИ ТАБИИЙ ДАЛА ШАРОИТИДА
ЭКСПЕРИМЕНТАЛ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Бухоро – 2022

Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузурдаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.DSc/FM189 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Урганч давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (реюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (bmti_info@edu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Сафаров Исмоил Иброҳимович
физика-математика фанлари доктори,
профессор

Расмий оponentлар:

Исмаилов Кубаймурат
техника фанлари доктори, профессор

Мирзаев Ибраҳим
физика-математика фанлари доктори,
профессор

Мавлонов Тўлқин Мавлонович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи таъсилот:

**Наманган муҳандислик-қурилиш
институтини**

Бухоро муҳандислик-технология институтининг ҳузурдаги илмий даражалар берувчи Phd. 03/27.02.2021. FM.101.02. рақамли илмий кенгаши қошидаги бир марталик илмий кенгашнинг «27» август 2022 йил соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 200100, Бухоро шаҳар, Қ. Муртазов кўчаси, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.)

Диссертация билан Бухоро муҳандислик-технология институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (379 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 200100, Бухоро шаҳар, Қ. Муртазов кўчаси, 15.Тел.: (99871) 237-19-45, e-mail: admin_bmti_info@edu.uz

Диссертация автореферати 2022 йил «б» август куни тарқатилди.
(2022 йил 30 июн № 1 рақамли реестр баённомаси).



М.Х.Тешаев

Илмий даражалар берувчи бир марталик
Илмий кенгаш раиси, физика-математика
фанлари доктори (DSc)

З.И. Болтаев

Илмий даражалар берувчи бир марталик
Илмий кенгаш илмий котиби, физика-
математика фанлари доктори, (DSc)

М.З. Шарипов

Илмий даражалар берувчи бир марталик
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
физика-математика фанлари доктори, (DSc)

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда, сейсмик жиҳатдан фаол бўлган ҳудудларда сейсмик мустаҳкам бўлган бино ва иншоотларни ҳисоблаш, лойиҳалаш ва қуриш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ханузгача тўлиқ ўрганилмаган ер ости иншоотларининг сейсмик-зўриққанлик ҳолатини экспериментал тадқиқ қилиш методикасини яратиш ва уни такомиллаштириш талаб этилади. Бу борада, жумладан, Россия, Япония, Италия, АҚШ, ва бошқа кўплаб ривожланган мамлакатларда ер ости иншоотларининг сейсмик-зўриққанлик ҳолатини лаборатория шароитида тадқиқ қилиш методикасини ишлаб чиқиш ва бундай экспериментал тадқиқотлар ўтказишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ер ости иншоотларининг портлашлар сейсмик таъсирдан вужудга келадиган сейсмик-зўриққанлик ҳолатини асл натуравий дала шароитида ўтказишни такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирдан "грунт-иншоот" конструктив тизими ҳолатини экспериментал тадқиқ этиш, сейсмик портлаш тўлқинларининг грунтда тарқалиш қонуниятини ўрганиш, иншоотнинг грунт билан бўладиган ўзаро таъсирини эспериментал тадқиқ қилиш ва айниқса, иншоот билан грунт ўзаро таъсир жараёнини энергетик баҳолаш, иншоот сейсмик-зўриққанлик ҳолатини белгиловчи параметрларни аниқлаш борасида экспериментал тадқиқотларни ўтказиш методикасини ишлаб чиқиш зарур. Шу билан бирга, юқорида келтирилган динамик системалар кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини асл натуравий шароитда экспериментал тадқиқ қилиш, юпқа деворли цилиндрик ер ости иншоотлари ҳавфли сейсмик-зўриққан ҳолатига энергетик ёндашиш борасида мақсадли илмий тадқиқотларни олиб бориш долзарб вазифалардан ҳисобланмоқда.

Республикамизда турли конфигурацияли ер ости иншоотларининг сейсмик мустаҳкамлигини ошириш ҳамда уларнинг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш бўйича кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... йўл-транспорт, муҳандисликкоммуникация ва ижтимоий инфратузилмаларни ривожлантириш ҳамда модернизация қилиш бўйича мақсадли дастурларни амалга ошириш...»¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан, ер ости иншоотлари конструктив тизими силзилабардош конструкцияларни яратиш борасида аниқлиги юқори ер ости портлашлари сейсмик таъсирдан фойдаланилган ҳолда асл натуравий тажрибалар ўтказиш методикасини ишлаб чиқиш, сейсмик портлаш тўлқинларининг грунтда тарқалиш қонуниятини ўрганиш, грунтларда сейсмик портлаш тўлқинлари таъсирдан вужудга келадиган тебранма

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

харакатини инфодаловчи кинематик ва динамик параметрларни тажрибада аниқлаш, грунтларнинг сейсмик портлаш тўлқинлари таъсиридан ҳолатини аниқлаш имконини берувчи эмпирик формулаларни топиш, иншоот кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини белгиловчи параметрларни тажрибада аниқлаш, ушбу жараёни энергетик таҳлил қилиш, юпқа деворли цилиндрик ер ости иншоотларининг грунт билан мураккаб ўзаро таъсир жараёнини асл натуравий тадқиқ этиш методологиясини ишлаб чиқиш ва ривожлантириш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2020 йил 30 июлдаги ПҚ-4794-сонли «Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ва Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2020 йил 26 августдаги 515-сонли «Ўзбекистон Республикаси Фавқулодда вазиятларнинг олдини олиш ва бундай вазиятларда ҳаракат қилиш давлат тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида»ги Қарори, шунингдек, мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика, иншоотлар сейсмодинамикаси ва информатика» ҳамда XIV. «Сейсмология, бинолар ва иншоотлар сейсмик хавфсизлиги ва қурилиш» устувор йўналишларига мос келади.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи².

Сейсмик-портлаш тўлқинлари ва уларнинг ер ости цилиндрик формадаги иншоотларга таъсирини дала шароитида тадқиқ қилиш усулларини ишлаб чиқиш бўйича жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, жумладан California Institute of Technology (АҚШ), University of Trento (Италия), Pompeu Fabra University (Испания), Kyoto University (Япония), Россия ФА ЕФ институти, ВНИИСТ, ВНИИВОДГЕО, Челябинск Политехника институти, Ўз.Респ. ФА механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти, ва бошқалар томонидан кенг қамровли илмий тадқиқотлар амалга оширилмоқда.

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи, <http://www.mathnet.ru>; <http://msp.org/jomms/about/cover/cover.html>; <http://link.springer.com>; <http://www.science-direct.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; Изв. РАН, МТТ, - 2016, №5, - С.22-35; Изв. РАН, МТТ, -2017, №2, - С.32-45; Подземные ядерные взрывы (пер.с англ) Под редакцией В.И. Кейлиса-Борока и Ю.В.Ризниченко. М.: Изд.иностранной литературы. -1962. -С.129-131; Сейсмическое действие взрыва М.: Госгеолтехиздат, -1963. -С.64-65; Количественные данные о движениях грунта при сильных землетрясениях//Бюллетень Совета по сейсмологии -№ 14.- М.: Изд. АН СССР, -1963. -С.14-17. ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Сейсмик-портлаш тўлқинлари ва уларнинг ер ости цилиндрик иншоотларнинг конструкциявий ечимларини такомиллаштириш, грунт ва ташқи сейсмик-портлаш тўлқинлари мустаҳкамлигини текшириш, динамик куч ва кучланишларнинг тарқалиш қонуниятларини аниқлаш ва ҳисоблаш усулларига доир илмий тадқиқотлар дунё миқёсида жумладан жаҳонда "иншоот-грунт" тизимининг ўзаро муносабати ва уларнинг параметрларини олиб борилган тадқиқотлар натижасида бир қатор, жумладан қуйидаги натижалар олинган: ер ости портлашлари ҳамда табиий тектоник zilzilalarda сейсмик энергия зичлиги ва манба ҳажми бир-бирига ниҳоятда яқин бўлишлиги ва улар бир хил қонуният билан аниқланиши, энергетик монандлик принципи ишлаб чиқилган (Россия ФА ЕФ институти, California Institute of Technology, АКШ, Kyoto University, Япония); асл натуравий тажрибаларда сейсмик таъсирларни портлашлар орқали моделлаштириш мумкинлиги илмий жиҳатдан ўз исботини топган (ВНИИСТ, ВНИИВОДГЕО, Челябинск Политехника институти, Россия, University of Trento, Италия); ер устки бино ва иншоотлари ҳамда гидротехник иншоотлари асл натуравий синаш методикаси ишлаб чиқилган, умумлаштирилган ва йирик ГЭС қурилиши жараёнида қўлланилган (University of Trento, Италия, ВНИИВОДГЕО, Россия); асосида ер ости қувурларининг атроф-муҳит грунти билан турли кийматда ҳаракатланиш ғояси ётган мураккаб ер ости иншоотлари (қувурлар) zilzilабардошлиги сейсмодинамик назарияси, кейинчалик, ер ости иншоотлари zilzilабардошлиги сейсмодинамик назарияси ҳамда ер ости иншоотлари zilzilабардошлиги тўлқин назарияси яратилган (ЎзР. ФА механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти); турар-жой, саноат бинолари ва минорасимон ер устки ҳамда гидротехник иншоотларини тажрибавий синаш методикаси ишлаб чиқилган ва тадқиқотлар жараёнига муваффақият билан тадбиқ қилинган (ВНИИВОДГЕО, Россия, Pompeu Fabra University, Испания).

Дунёда бугунги кунда ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлигини таъминлаш, ҳисоблаш ишларининг аниқлигини ошириш билан боғлиқ муаммоларнинг ечимини топишга қаратилган бир қатор, жумладан қуйидаги устувор йўналишларда: тектоник синиқ худудида жойлашган ер ости иншоотлари ҳамда тўйинган грунтлар шароитида эксплуатация қилинадиган ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлигини таъминлаш; ер ости иншоотлари фазовий деформацияланишини тўлиқ ифодаловчи назарияларни деформацияланувчан қаттиқ жисм механикасининг умумий қонуларини қўллаш ҳисобида такомиллаштириш; муҳитнинг қовушқоклик хусусиятларини ҳамда эркин сиртдан қайтган тўлқинларни ҳисобга олган ҳолда нотурғун юкланиш таъсирида бўлган турли конфигурацияли ер қобиксимон иншоотларининг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини баҳолашга оид тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Муаммонинг ўрганилиш даражаси. Сўнгги бир неча йил мобайнида жаҳонда, ер ости иншоотларининг атроф-муҳит грунти билан ўзаро динамик таъсири жараёнини тадқиқ қилиш борасида бир қатор таниқли хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан К.С.Завриев, А.Г.Назаров,

Д.Д.Баркан, Ш.Г.Напедваридзе, С.В.Медведев, С.В.Поляков, И.Л.Корчинский, С.Б.Синицын, В.А. Ильичев, А.С. Гехман, А.Б.Айнбиндер, М.Ш.Исраилов, Н.Н.Фотиева, А.А. Александров, Бульчев Н.С., Фотиева Н.Н., Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Дорман И.Я., Оганесов Г.И., Балсон Ф.С., Ильюшин А.А., Горшков А.Г., Шемякин Е.И., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Старовойтов Э.И., Кольский Г., Miker T., Maytsler A., Davis R.M., Wayt J.A., Ahenbah J.D., Shafer B.V., San R.I. M.J. O'Rourke, L.R. Wang, N.M. Newmark, El. Hmadi, T. Takahashi, T.Tanaka, K. Yoshizaki, X.L. Liu ва бошқалар.

Ер ости иншоотлари конструктив тизими кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатларини ўрганиш ва баҳолаш ҳамда экспериментал механика усулларини ривожлантириш бўйича Ўзбекистоннинг таниқли олимларини илмий ишлари бағишланган. Булардан: Ўрозбоев М.Т., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Ширинкулов Т.Ш., Муборақов Я.Н., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Буриев Т., М.М.Мирсаидов, К.С.Султонов, Б.М.Мардонов, И.И.Сафаров, Абдусатторов А., А.А.Абдусаттаров, К.Исмайилов, И.Мирзаев, Т.Мавлонов, Ҳ.Сағдиев, Ш.Юлдашев, К.Д.Салямова, М.Қ.Ўсаров, Б.Э.Хусанов, Т.Г.Сағдиев, М.Х., Тешаев, З.Р.Тешабоевлар ва бошқалар

Олиб борилган илмий тадқиқотлар натижасида ер ости иншоотлари сейсмик мустаҳкамлигини таъминлаш, ҳисоблаш-лойиҳалаш, ер ости портлаш тўлқинлари сейсмик таъсиридан фойдаланган ҳолда ер ости иншоотларининг сейсмик мустаҳкамлигини тадқиқ қилишнинг экспериментал усулларини ривожлантириш амалиётга қўллашда салмоқли натижаларга эришилди.

Шу билан бирга, олимлар кўп тажрибавий маълумотлар тўплаганига қарамадан, илмий нашрларда ёритилаётган илмий ишлар ва илмий анжуман натижаларига кўра сўнгги йилларда жаҳонда ер ости портлашларининг сейсмик таъсиридан фойдаланган ҳолда табиий дала шароитда олиб бориладиган асл тажрибалар орқали оптималлаштириш муаммолари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертациянинг тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ургенч давлат университетининг илмий тадқиқот ишлари режасига мувофиқ № 13.1 “Ўзбекистон Республикаси шароитида ер ости ва устки конструкцияларини зилзилабардошлиги ва уларни режалаштириш ” (2009-2019) илмий лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади юпка деворли цилиндрлик ер ости иншоотини ер ости портлаш тўлқинларининг сейсмик таъсиридан фойдаланилган ҳолда, унинг сейсмик-зўриққан ҳолатини табиий экспериментал тадқиқ қилиш методологиясини ишлаб чиқиш ва ер ости портлаш тўлқинларининг сейсмик таъсиридан ушбу иншоотнинг сейсмик тебранишлари ва кучланиш деформация ҳолатига ҳамда уларнинг грунт муҳити билан бўладиган ўзаро таъсирини тадқиқ қилишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирида ер ости юпка деворли фазовий цилиндрик (ва ярим цилиндрик) иншоотларда ҳосил бўладиган сейсмик зўриққанлик (кучланганлик – деформация) ҳолатини табиий дала шаронтида экспериментал тадқиқ қилиш методикасини ишлаб чиқиш ҳамда табиий шаронтида ўтказиладиган тажрибаларнинг ишончлилигини асослаш;

грунтларда тарқалувчи турли хил қувватли сейсмик-портлаш тўлқинларининг кинематик ва динамик параметрларини экспериментал ҳамда назарий аниқлаш асосида қиёсий таҳлил қилиш методикаси ва алгоритминини ишлаб чиқиш;

сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирида юпка деворли ёпиқ (ва очик) цилиндрик иншоотларда содир бўладиган динамик жараёнларни белгиловчи параметрларни аниқлаш ва баҳолаш;

ер ости портлашлари натижасида вужудга келган стохастик динамик майдон параметрларини қиймат ва сифат нуқтаи назардан баҳолаш, сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирида грунт динамик ҳолатини белгиловчи параметрларни аниқлаш ва эмпирик формулалар ишлаб чиқиш;

грунтда сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалишидаги тебранма ҳаракатни ёзув-осциллограммаларининг реал вақтида қайд қилиш ва улар асосида муҳит ва қобикнинг кинематик ҳамда динамик параметрларини аниқлаш, қобикли грунтда вужудга келган сейсмик майдон ҳолатини энергетик таҳлил этиш ҳамда олинган натижалар (экспериментал ва назарий) ни таҳлил қилиш ва мавжудлари билан қиёсий таққослаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ер ости портлашлари сейсмик таъсирида бўлган очик ва ёпиқ профилдаги юпка деворли цилиндрик ер ости иншоотлар ҳамда сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалувчи грунт муҳитидир.

Тадқиқот предмети грунтнинг, унда сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалган пайтдаги фазовий тебранма ҳаракатлари, очик ва ёпиқ профили ёпка деворли цилиндрик иншоотларнинг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан юзага келувчи фазовий тебранма ҳаракатлари ва уларнинг динамик ҳолатини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида экспериментал механика, деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси, ҳисоблаш математикаси, математик моделлаштириш, алгоритмлаш ва сейсмик тебраниш назариялари, сейсмометрия, тажрибаларни режалаштириш, иншоотларни синаш метрологияси усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирида ер ости юпка деворли фазовий цилиндрик иншоотларда ҳосил бўладиган сейсмик зўриққанлик ҳолатини натуравий шаронтида экспериментал тадқиқ қилиш методикаси ишлаб чиқилган;

сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан муҳит ҳаракати кинематик ва динамик параметрларини экспериментал аниқлаш услубиёти, алгоритми ва эмпирик формулалар ишлаб чиқилган;

натуравий шароитда, сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан юпка деворли цилиндрик иншоотларда содир бўладиган сейсмик-зўрикқанлик ҳолатини белгиловчи параметрлар аниқланган;

ер ости портлашлари натижасида вужудга келган сейсмик майдон зўрикқанлик даражаси баҳоланган ҳамда муҳит динамик ҳолатини белгиловчи параметрлар аниқланган, эмпирик формулалар ишлаб чиқилган;

муҳитда вужудга келган сейсмик майдонда жойлашган очик ва ёпик профилли цилиндрик иншоотларга майдон энергетик зўрикқанлигининг таъсирини белгиловчи “редукцияланиш” коэффиценти ҳамда иншоот тебранма ҳаракат динамик параметрлари илк бора натуравий шароитда аниқланган, эмпирик формулалар ишлаб чиқилган;

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

мураккаб рельефли ва бино ёки иншоот асоси бортлардан иборат ҳудудларда саноат портлатишлари амалга оширилганда сейсмик таъсир интенсивлигини баҳолаш, муҳит тебранма ҳаракат кинематик параметрларини аниқлаш ва биноларга бўладиган сейсмик таъсирни прогноз қилиш услубиёти ишлаб чиқилган;

ер ости юпка деворли фазовий цилиндрик (ва ярим цилиндрик) иншоотларда портлаш тўлқинлари таъсирида ҳосил бўладиган кучланганлик -деформация ҳолатини башорат қилиш ва баҳолашни ҳисоблаш учун модель ишлаб чиқилган;

сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридаги грунт билан тўлиқ алоқада бўлган юпка деворли фазовий қувур элементларининг динамик мустаҳкамлик ҳолатига баҳо бериш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилган;

грунтларда тарқалувчи сейсмик-портлаш тўлқинларининг ер усти бино ва иншоотларга таъсири хавфсизлигини таъминловчи кинематик ва динамик параметрлар экспериментал аниқланган, қиёсий баҳоланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги синовдан ўтган математик усулларга асосланганлиги, олинган назарий натижалар амалга оширилган экспериментал ва амалга тказилган тадқиқотлар натижалари билан солиштирилганлиги ҳамда бошқа олимлар омонидан олинган маълумотлар билан таққослаб текширилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти грунтнинг, унда сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалган пайтдаги фазовий тебранма ҳаракатлари, очик ва ёпик профилли юпка деворли цилиндрик иншоотларнинг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан юзага келувчи фазовий тебранма ҳаракатлари ва уларнинг динамик ҳолатини аниқлашни экспериментал методологиясини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий ахамияти халқ хўжалигининг энг муҳим муаммоларидан бўлган юпқа деворли фазовий ер ости цилиндрик иншоотларнинг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсири жараёнларида иншоотнинг динамик деформацияланиши ва хавфли кучланиш пайдо бўлиши башорат қилиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирдан муҳит ҳаракати кинематик ва динамик параметрларини экспериментал аниқлаш услубиёти, алгоритми ва ишлаб чиқилган эмпирик формулалар натижалари асосида:

мураккаб рельефли худудларда бино ва иншоотларга сейсмик таъсири баҳолашда муҳим бўлган ер ости портлашлари сейсмик таъсири интенсивлиги ҳамда грунт тебраниш даври (частота)ни аниқлаш мақсадида ишлаб чиқилган эмпирик формулаларда ифодаланган Жумуртов тош каръери грунт шароити, портлатиш усули ва пармалаш-портлатиш параметрларининг сейсмик интенсивликка таъсирини ифодаловчи k , ва n , коэффициентларнинг мос равишда 470 ва 1,5 га тенг бўлиши, динамиклик коэффициентини аниқлаш услубиёти жорий қилинган (“Ўзшаҳарсозлик ЛИТИ” ДУК Қорақалпоғистон филиалининг 2020 йил 24 декабрдаги хати). Натижада биноларга таъсир интенсивлигидаги хатолик минимал бўлишига эришилган, сейсмик мустаҳкамлигидаги танқислик бартараф этилган, шикастланиши-бузилишига барҳам бериш имкони яратилган;

Қоратов каръери учун мураккаб рельеф шароитида сейсмик таъсир интенсивлиги орттирмаси ҳамда тўлқин динамик белгилари (тебраниш амплитудаси сўнишининг масофага боғлиқлик қонунияти ва ҳ.к.)ни аниқлаш эмпирик формуласи ёрдамида сейсмик таъсир орттирмасидан ташқари, портловчи моддалар секинлатиш оптимал вақти 25мсек эканлиги топилган («DAYPLAST NUKUS» ОАЖ 29.04.2020 й. №38 хати). Натижада тош бўлак (парчалар)ининг учиш масофасини истисно қилган ҳолда мураккаб муҳандислик ҳисоблаш амалларисиз, оний ҳамда секинлаштирилган ер ости портлашларидан ҳавфсиз минимал масофаларни прогноз қилиш имконини берган.

Тошкент кимё-технология институтида Давлат илмий техника дастурлари доирасида 2017-2020 йилларда бажарилган ОТ-Ф4-01 рақамли “Ковушқоқ суюқлик оқувчи кўпқатламли композит қувурлар эгри чизикли бўлақларнинг ҳарорат ва динамик юкланишлар таъсирида чизикли бўлмаган динамик кучланиш-деформация ҳолатини ўрганиш усулларини ишлаб чиқиш ва назариясини ривожлантириш” мавзусидаги фундаментал лойиҳасида композит қувурлар эгри чизикли бўлақларининг динамик юкланишлар таъсирида чизикли бўлмаган динамик кучланиш-деформация ҳолатини аниқлашда фойдаланилган (Ташкент кимё-технология институтининг 16.04.2022й., №1/04-990 хати). Натижада ночизикли бўлган динамик кучланиш-деформация ҳолатини ҳисоблаш ва энергетик таҳлил қилишда қувур кинетик ҳамда потенциал энергияларининг майдони сўниш жараёнини белгиловчи коэффициентлар ёрдамида хавфли зоналарни ва тебранма

ҳаракат амплитудаси билан частотаси орасидаги боғланишни аниқлаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг натижалари 16 та халқаро ва 14 та республика илмий-техник анжуманларида маъруза қилинган ва муҳоқимадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.

Диссертация мавзуси бўйича жами 40 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фан доктори (DSc) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 19 та мақолалар, жумладан 14 та республика ва 5 та чет эл илмий журналларида нашр этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация иши жами 200 саҳифадан иборат бўлиб, таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 68 та расм, 19 та жадвал ва 3та иловани ўз ичига олган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг “Ер ости портлашларининг сейсмик эффектини ўрганишга қаратилган тадқиқотлар обзори» деб номланган биринчи бобида ядро ва химиявий портлашларнинг сейсмик эффектини ўрганишга қаратилган тадқиқотлар обзори(таҳлили)келтирилган. Адабиёт шарҳлари асосида тадқиқот объектларига талаблар, диссертациянинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган.

“Масаланинг қўйилиши, ер ости иншоотлари ҳамда грунт сейсмик-зўриққанлик ҳолатини тажрибавий ўрганиш методологияси асослари” деб номланган иккинчи боби юпқа деворли фазовий очик ва ёпиқ профилли ер ости цилиндрик иншоотларнинг сейсмик-зўриққанлик ҳолатини сейсмик-портлаш усулида тадқиқ қилиш методологияси келтирилган.

Тажрибада фазовий очик профил ва ёпиқ профилли цилиндрик ер ости иншооти сифатида мос равишда ўлчамлари қуйидагича: $L=6,0$; $D_H=0,2$ м; $\delta=0,008$ м. ва $L=6,0$; $R_H=0,5$ м, $\delta=0,016$ м. пўлат намуналардан фойдаланилди.

Тензоэлементлар ва тензодатчикларнинг очик ва ёпиқ профилли намуналарга жойлаштириш схемаси 1 ва 2 –расмларда келтирилган.

Тажрибалар пайтида “иншоот-грунт” тизими ўзаро таъсири жараёнини ишонарли ўрганиш мақсадида иншоот ва атроф-муҳит грунти абсолют

кўчишлари ҳамда иншоотга таъсир килувчи нагрузка фазода ўзаро перпендикуляр бўлган ўқларда бир вақтнинг ўзида қайд қилинди.

Сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан иншоотда содир бўладиган бўйлама, кўндаланг ва вертикал йўналишдаги кўчишлар ёзувлари иншоотнинг 1 ва 2 нуқталарида, бўйлама кўчиш, ҳаракат тезлиги ва тезланишларники эса 3-нуқтада жойлаштирилган сейсмик приборлар ёрдамида бажарилди (1-расм).

Ёпиқ профилли юпка деворли цилиндрик иншоот ер сатҳидан $H=5,0\text{м}$. чуқурликка жойлаштирилди ва иншоот устки грунт қатлам-қатлам шаклида кўлда зичлаштирилди. Иншоотга бўладиган грунт босими (δ_x) бўйлама йўналишда 4-нуқтага жойлаштирилган мембрана шаклидаги босим датчиги ёрдамида амалга оширилди (3,4-расмлар).

Иншоотларда ҳамда унинг атрофи грунтинида O_x , O_y , ва O_z йўналишлардаги қуйидаги кинематик параметрлар: кўчишлар u_i, v_i, w_i , тезлик $\dot{u}_i, \dot{v}_i, \dot{w}_i$ ва тезланишлар $\ddot{u}_i, \ddot{v}_i, \ddot{w}_i$ қайд қилинди (1-расм).

Ер ости портлашларидан вужудга келадиган сейсмик майдон грунтинида тебранма ҳаракат кинематик параметрлари ораларидаги масофа 100м.га тенг қилиб белгиланган 2 та пунктда қилинди.

Портлаш тўлқинлари фронтдан иншоотларга ҳамда атроф муҳит грунтинига тушаётган нагрузкалар босим датчиклари орқали қайд қилинди. Очиқ профилли цилиндрик иншоот бўйлама деформацияларини қайд қилиш учун 5 тензоэлемент, халқасимон учун 4 тензоэлемент жойлаштирилди, уларнинг жойлашиш схемаси 3-расмда келтирилган. Ёпиқ профилли цилиндрик иншоотда 6БД жойлаштирилди. Улардан 2-ён томон, 3-вертикал ҳамда 1-кўндаланг сиртида маҳкамланди. Очиқ профилли цилиндрик иншоотда 4БД жойлаштирилди. Улардан 2-ён томон, 2-вертикал сиртида маҳкамланди (3-расм).

Барча асл натуравий дала тажрибаларида портловчи модда (заряд) сифатида граммонит 79/21 ишлатилди ва у барча ҳолларда детонацияловчи шнур оний таъсир килувчи детонатор ёрдамида ўт олдирилди.

Тажрибалар давомида жами 20та портлатишлар амалга оширилди. Портловчи моддалар оғирлиги 420 кГ дан 6540 кГ.гача диапазонда бўлиб, портлаш нуқталаридан иншоотларгача бўлган эпицентрал масофа 150м. дан 350м.ни ташкил қилди. Булардан ташқари 142кГ.гача оғирликда камера пайдо қилиш учун майда портлашлар амалга оширилди.

Демак, ушбу методология асосида тадқиқот олиб борганда бир вақтнинг ўзида иншоот фазовий тебранма ҳаракат параметрларини қайд қилиш ҳамда тензометрик кузатувни амалга ошириш имконияти мавжуд бўлиши асослаб берилди.

Диссертациянинг "Груннида сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалганда, унинг тебранишларини тажрибавий-назарий тадқиқ қилиш" деб номланган учинчи бобида сейсмик-портлаш тўлқинларининг эластик (ёпишқоқ - эластик) ярим фазода тарқалишини тажрибада ва назарий жиҳатдан тадқиқ қилиш ҳамда ўзаро таққослаш натижалари келтирилган. Ҳар бир тажрибада

силкиниш интенсивлиги грунт кўчиши максимал қиймати, муҳит ҳаракат тезлиги максимал қиймати ҳамда грунтда вужудга келадиган сейсмик майдон энергияси ўртача зичлиги қийматлари орқали баҳоланди.

Булардан ташқари, сейсмик-портлаш тўлқинларининг ярим фазода тарқалиши ва муҳит зўриққан-деформацияланган ҳолати назарий жиҳатдан тадқиқ қилинган ҳамда тажриба натижалари билан таққосланган.

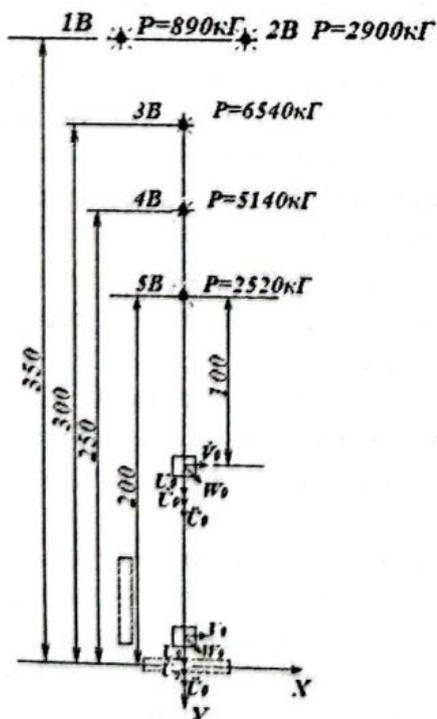
Қаттиқ жисмнинг қайтмас деформациясини ёки механик ва иссиқлик жараёнларини, яъни эластик модел (қайтар деформация, механик энергия тўлиқ сақланади) шароитидаги, эластик-пластик (деформацияларнинг қайтиш даражаси чекланган) модел шароитидаги деформациялар (Дебай модели), Максвелл модели, К.Е.Губкин моделлари (масала қаттиқ жисмда энергия диссипациясини ҳисобга олиб ечилади) келтирилган ҳамда таҳлил қилинган.

Е.И.Шемякин усулига кўра, портлашларнинг муҳитга таъсирини баҳолашда делитацион тўлқиннинг (портловчи модда энергияси 4000 кДж/кг атрофида) мустақкам тоғ жинсларида синиши зўриқиш тўлқинини вужудга келтиради, унинг амплитудаси қуйидагича аниқланади:

$$\sigma_{p\max} = k\rho V_{\max} C_p \quad (1)$$

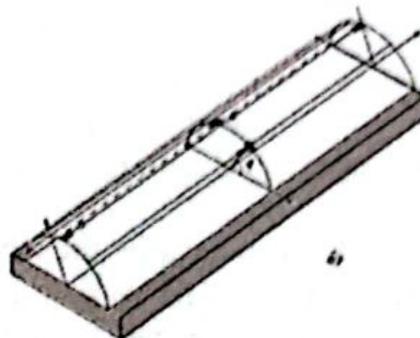
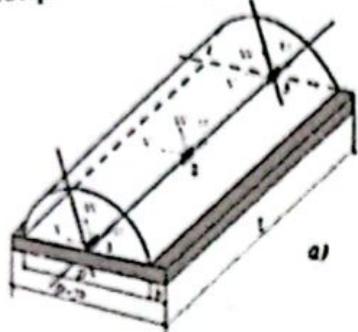
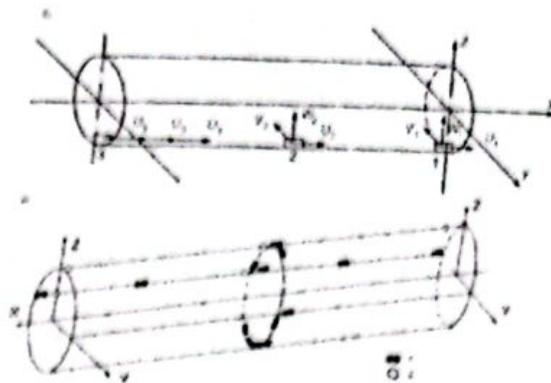
Бу ерда ρ -грунт зичлиги, кг/м³; C_p -бўйлама тўлқинларнинг муҳитда тарқалиш тезлиги $V = \frac{1000}{r^n}$ -грунт зарраларининг кўчиш тезлиги, м/с; $0 \leq k \leq 1, n = 1,8-2,0$.

Ностационар сферик симметрик манба таъсиридан вужудга келадиган сейсмик-портлаш тўлқинларининг ярим чексиз эластик муҳитда тарқалиш масаласи келтирилган.



1-расм. Тажрибаларда синаётган иншоотларнинг сннов майдонида портлаш нуқталарига нисбатан жойлашиш схемаси.

2-расм. Ёшиқ профили цилиндрлик иншоотда тензоэлемент датчикларининг ва босим датчикларининг ўрнатилиш схемаси: 1-бўйлама ва халқасимон деформацияларни ўлчашга мўлжалланган тензоэлементлар; 2-босим датчиклари(а) и сейсмоприёмниклар(б)



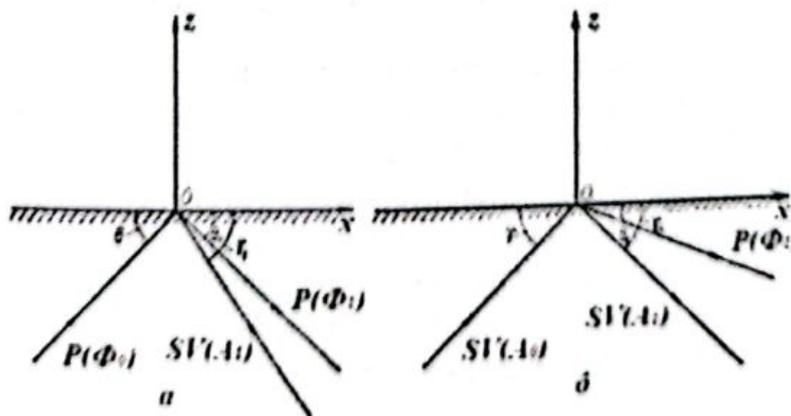
3-расм. Очиқ профили цилиндрик иншоотда сейсмоприёмник(а), ҳамда тензоэлемент босим датчикларининг (б) ўрнатилиш схемаси.

Ушбу масала ер ости портлашларини назарий ечиш мақсадида кўрилган. Бунда, мухит эркин сирти нукталарининг тўлқин таъсиридан харакат осциллограммаларини назарий тузишга эътибор қаратилган бўлиб, тўлқин манбаи камуфлет портлаш маълумотлари асосида олинган функция орқали тасвирланади. Бошланғич лаҳзада текис тўлқин бир жинсли изотроп мухитда U тезлик билан тарқалсин(4-расм).

Бунда кучланиш билан деформация орасидаги боғланиш куйидаги кўринишда бўлади:

$$\sigma_{ik} = \tilde{\lambda} \theta \delta_{ik} + 2\tilde{\mu} \epsilon_{ik} . \quad (2)$$

Бунда σ_k -кучланиш тензори, ϵ_k -деформация тензори, θ -ҳажмий деформация, $\tilde{\lambda}$ и $\tilde{\mu}$ -эластиклик модули оператори:



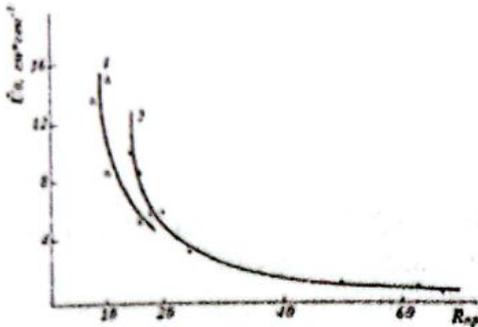
4-расм. Ҳисоб схемаси.

Ўртачалар усулидан фойдаланиб, натижаларни қуйидаги эмпирик формула кўринишида ёзиш мумкин(контрол нукта):

$$g = 441,2R_{np}^{-1,49138} \quad \text{ёки} \quad g = 441,2\left(\frac{\sqrt{C}}{R}\right)^{1,49} \quad (6)$$

Юқорида айтилган усулдан фойдаланиб, контрол нуктасида олинган 8-расмдаги эгри чизиқни аппроксимация қиламиз ва грунт учун тебранма характ тезлигининг эпицентрал масофа билан портловчи модда вазнига боғлиқлиги ифодасини қуйидаги кўринишда оламиз(асосий кузатув):

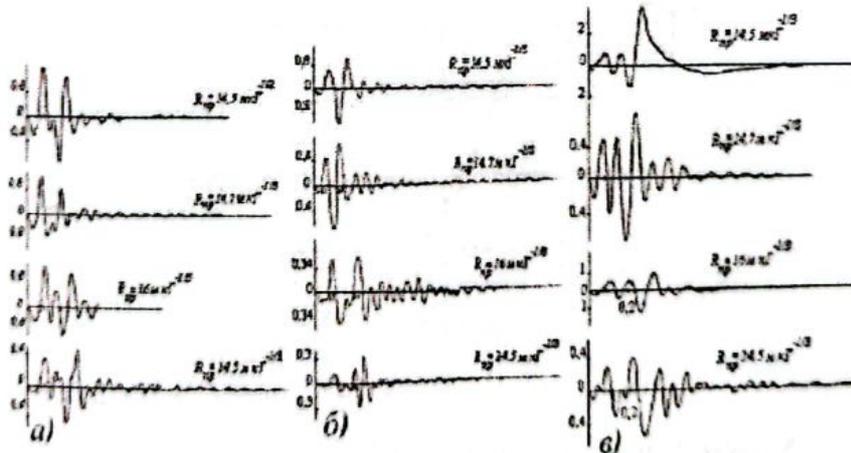
$$g = 325,24R_{np}^{-1,45553} \quad \text{ёки} \quad g = 325,24\left(\frac{\sqrt{C}}{R}\right)^{1,46} \quad (7)$$



6-расм. Грунт зарралари бўйлама йўналишда кўчиш тезлигининг келтирилган масофага боғлиқлиги графиги: 1-контрол (манбага яқин) нукта; 2-асосий кузатув пункти.

7-расмда грунт зарраларининг бўйлама(а), кўндаланг(б) ва вертикал(в) йўналишлардаги реал вақтдаги тебранишлари келтирилган. Ушбу ёзув-осциллограммалар орқали таҳлил қилинган.

Тажриба асосида олинган осциллограмма-ёзувлардан фойдаланиб, фазовий кўчиш вектори компонентлари ҳар бири учун тебранма харакат сўниш декрементлари қийматлари аниқланди. Уларнинг сон қийматлари: бўйлама



7-расм. Грунт зарраларининг бўйлама(а), кўндаланг(б) ва вертикал(в) йўналишлардаги тебранма харакатлари.

йўналишда $\lambda_{np}=0,36$; кўндаланг йўналишда $\lambda_{nop}=0,46$; ҳамда вертикал йўналишда $\lambda_{верт}=0,53$ бўлишлиги тажрибаларда тасдиқланди.

Тажрибалар натижаларини аппроксимация қилиш орқали бўйлама ва кўндаланг йўналишларда кўчиш миқдорининг портлаш параметрларига боғлиқлиги қонуниятни аниқланди, яъни:

$$A = 3,65e^{-0,058R_{ep}} \quad (8)$$

$$A_{min} = 2,63e^{-0,058R_{ep}} \quad (9)$$

Тажрибадан олинган натижаларни аппроксимация қилиш ушбу параметрнинг масофа ҳамда портловчи модда оғирлиги билан боғлиқлиги қонуниятини аниқлаш ва илк бор бўйлама, вертикаль ҳамда кўндаланг йўналишларда кўчиш миқдорининг портлаш параметрлари билан боғлиқликдаги қўйдаги формулаларини олиш имконини берди:

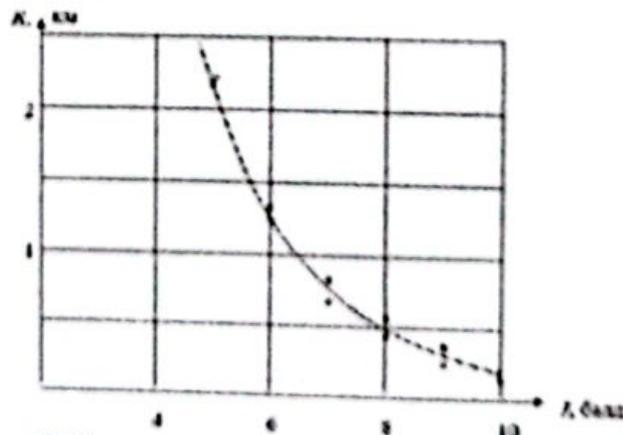
$$A_{ep} = 101,08 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{1,57} \quad (10)$$

$$A_{\pi} = 216,4 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{1,84} \quad (11)$$

$$A_{min} = 5,43 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{0,72} \quad (12)$$

Булардан ташқари, мазкур диссертацияда грунт фазовий характердаги харакати ёзув-осциллограммалари муҳандисона таҳлили, кўчишнинг тебранма харакат частотасига боғлиқлиги қонуниятлари ҳамда грунт сейсмик-портлаш тебранма харакати актив фазаси частотасининг келтирилган масофага боғлиқлиги қонуниятлари ҳам таҳлил қилинган.

Киргизистон Бурликня дарёси худудида қуввати 2070Т.лик йирик масштабли секинлаштирилган портлаш мураккаб рельефли тоғ шароитида амалга оширилди. 8-расмда ушбу йирик масштабли секинлаштирилган портлаш натижалари асосида сейсмик таъсир интенсивлигининг масофага боғлиқлиги графиги келтирилган.



8-расм. Сейсмик таъсир интенсивлигининг масофага боғлиқлиги графиги.

Диссертация ишида ушбу портлашни амалга ошириш методикаси, унинг қўрқимда кўриниши (юқори ва пастки мина штольнлари), портлаш таъсиридан тебранма харакат параметрларини сейсмометрик қайд қилиш натижалари, ёзув-осциллограммалар нусхалари ва ш.к. маълумотлар тўлиқ келтирилган.

Шулар қаторида, диссертацияда сейсмометрлик қайд қилиш натижалари асосида сейсмик хавфсиз масофаларни аниқлаш учун таклиф этилган эмпирик формулалар ва уларнинг аниқлик даражалари, сейсмик майдон ўлчамларининг грунт сейсмик тебранма ҳаракат интенсивлигига боғлиқлиги график кшринишда келтирилган.

Тоғли мураккаб рельефли ландшафт шароитида олиб бориладиган саноат портлашларининг сейсмик таъсир интенсивлигига рельеф, геологик ва гидрогеологик ҳамда бортларнинг таъсирини ўрганиш ҳамда уларнинг бино ва иншоотларга сейсмик таъсирини баҳолаш ҳамда бундай шароитда сейсмик-портлаш тўлқинларининг грунтда тарқалиш қонуниятларини инструментал ўрганиш борасида Жумуртов ва Каратов тош карьерларида кузатувлар олиб борилди. Ушбу тажрибалардан олинган натижалар асосида бино ва иншоотлар динамик ҳолатини прогноз қилишда муҳим бўлган параметрлардан бири бўлган, грунт сейсмик тебранма ҳаракат даврини прогноз қилишга мўлжалланган қуйидаги эмпирик формулалар келтирилган:

$$T=0,031 \sqrt{gR} \quad \text{ёки} \quad T=C^{0,3} \quad (\text{Жумуртов тош карьери учун})$$

$$T_0=0,058LgR; \quad \text{ёки} \quad T_0=C^{0,19}. \quad (\text{Қоратов тош карьери учун})$$

Жумуртов тош карьери шароити учун сейсмик хавфсиз масса рухсат этилган массасини аниқлаш учун қуйидаги формула:

$$Q_{MAX}^{MH} = (0,046 * R)^3 \quad (13)$$

Худди шу шароитда секинлаштирилган портлашлар учун:

$$Q'_{K.3.B} = (0,04 * R)^3 \quad (14)$$

Каратов тош карьери шароитида оний портлашлар учун сейсмик хавфсиз масса рухсат этилган массасини аниқлаш учун қуйидаги формула:

$$Q_{MAX}^{MH} = (0,042 * R)^3 \quad (15)$$

Худди шу шароитда секинлаштирилган портлашлар учун:

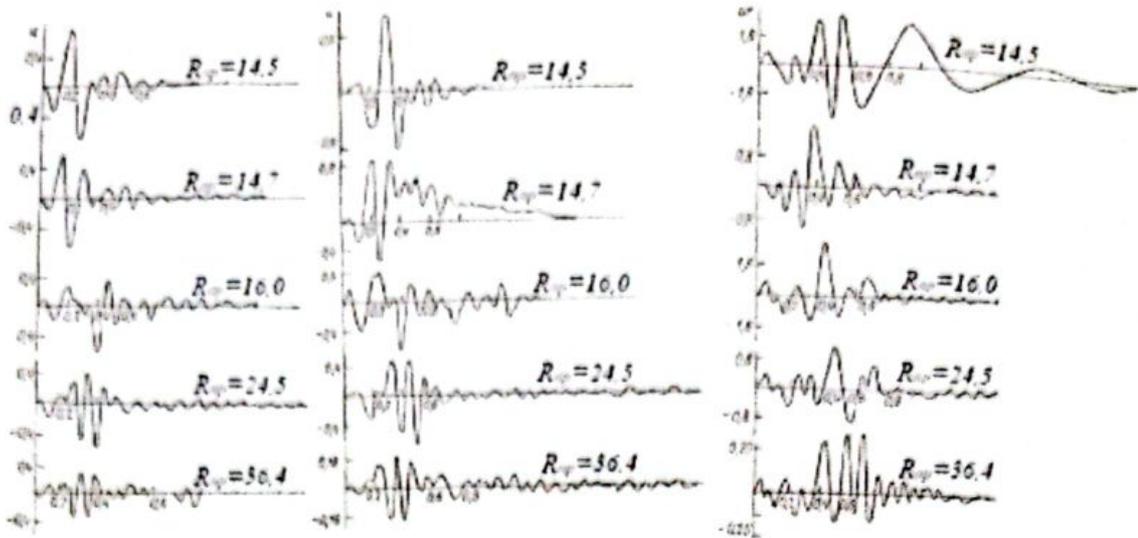
$$Q'_{K.3.B} = (0,035 * R)^3 \quad (16)$$

Бу асл дала шароитида олиб борилган инструментал кузатув методикаси, секинлаштирилган портлашлар, геологик ва гидрогеологик шароит тўғрисидаги маълумотлар, тажрибада олинган ёзув-осциллограммалар нусхалари ва бошқа шу каби маълумотлар диссертацияда келтирилган.

Шундай қилиб, бу бобда грунт ҳаракатини ифодаловчи муносабатлар олинди.

Диссертациянинг “Ер ости иншоотларининг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридаги тебранишларини тажрибавий ўрганиш” деб номланган 4-бобида очиқ ва ёпиқ профилли цилиндрик ер ости иншоотларининг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирдан динамик ҳолатини ўрганиш натижалари келтирилган.

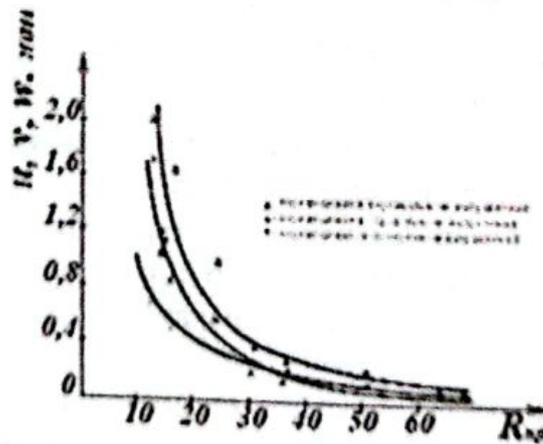
Қуйида ер ости иншоотларининг сейсмик тебранишлари ёзувларидан айрим намуналар ҳамда уларнинг уч ўқ бўйлаб фазовий абсолют кўчишлари келтирилган. 9-расмда иншоотнинг ўзаро перпендикуляр йўналишлардаги тебранма ҳаракат ёзув-осциллограммалари келтирилган.



9-расм. Иншоотнинг ўзаро перпендикуляр бўйлама(а), кўндаланг(б) ҳамда вертикал(в) йўналишлардаги тебранма ҳаракатлари.

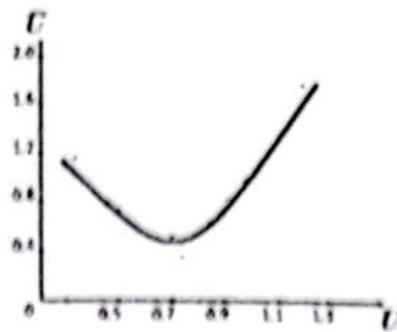
Иншоотнинг фазовий тебранма ҳаракатлари ёзувлари асосида ҳар бир йўналиш бўйлама, кўндаланг ҳамда вертикал йўналишлардаги тебранма ҳаракатлари учун сўниш декрементлари қийматлари аниқланди. Унинг қийматлари бўйлама йўналишда $\lambda_{\text{гор}}=0,54$; кўндаланг йўналишда $\lambda_{\text{гор}}=0,68$; ва ниҳоят, вертикал йўналишда $\lambda_{\text{верт}}=0,79$ га тенг бўлиб, бунда қуйидаги тенгсизлик ўринли: $\lambda_{\text{гор}} < \lambda_{\text{гор}} < \lambda_{\text{верт}}$ яъни, тажрибалар вертикал йўналишдаги тебранишларда тебраниш сўниш декременти ўртача қиймати қолганларидан катта экан.

10-расмда иншоотнинг учта ўзаро перпендикуляр йўналишдаги (U, V, W) кўчишларининг келтирилган масофага боғлиқлик графиги кўрсатилган.



10-расм. Иншоотнинг ўзаро перпендикуляр йўналишдаги кўчишларининг (U, V, W) келтирилган масофага боғлиқлик графиги.

Тажриба натижалари асосида иншоот билан грунт нисбий кўчишлари қийматининг грунт абсолют кўчишига боғлиқлиги графиги 11-расмда келтирилган. Бу графикдан, иншоот билан грунт нисбий кўчишлари қиймати бўйлама йўналишда муҳитнинг абсолют қиймати 0,7мм.гача бўлганда камаювчи характерда, ундан кейин эса ўсувчи конуният билан ўзгаради.



11-расм. Иншоот бўйлама йўналишда нисбий кўчишнинг мухит грунги абсолют кўчишига боғлиқлик графиги.

12-расмда юқоридаги параметрнинг вертикал йўналишдаги графиги келтирилган. Бу ерда ҳам 11-расмдагига ўхшаш қонуният такрорланади, яъни вертикал йўналишдаги нисбий кўчиш қиймати грунгдаги абсолют кўчиш қиймати 0,8мм.гача бўлганда камаювчи, $w > 0,8\text{мм}$. қийматдан бошлаб, ўсувчи характерда бўлади.

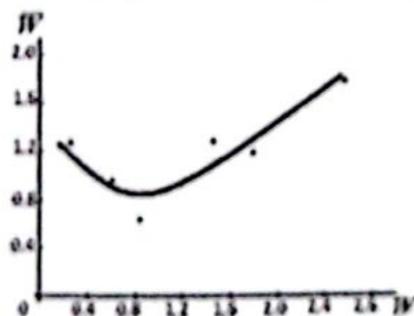
13-расмда иншоот ўзаро перпендикуляр уч ўк бўйлаб нисбий кўчишларининг грунт тебраниш интенсивлигига боғлиқлиги графиги келтирилган.

Ушбу параметрлар қийматларини аппроксимация қилиш орқали иншоот нисбий кўчишларининг сейсмик таъсир интенсивлигига боғлиқлиги ифодалари қуйидаги эмпирик кўринишда олинди:

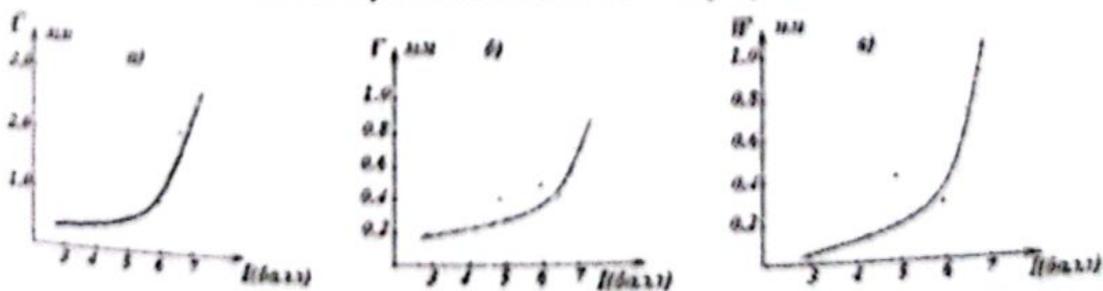
-бўйлама йўналишда
$$\bar{U} = 0.3I^2 - 2.6I + 6.02 \quad (17)$$

-кўндаланг йўналиш учун
$$\bar{V} = 0.05I^2 - 0.43I + 1 \quad (18)$$

-ва, ниҳоят вертикал йўналиш учун
$$\bar{W} = 0.07I^2 - 0.5I + 0.9 \quad (19)$$



12-расм. Иншоот вертикал йўналишда нисбий кўчишнинг мухит грунги абсолют кўчишига боғлиқлик графиги.



13-расм. Иншоот нисбий кўчишлар компонентларининг сейсмик таъсир интенсивлигига боғлиқлиги графиги (а-бўйлама, б-кўндаланг ва в-вертикал йўналишлар).

Иншоотнинг уч ўк бўйлаб абсолют кўчишларининг келтирилган масофаларга боғлиқлиги қонуниятини аппроксимация қилишга ҳаракат қилинди ва илк бор ер ости цилиндрик иншооти кўчиши билан портловчи заряд массаси ҳамда эпицентрал масофа орасидаги боғлиқлик қонуниятини фойдаловчи эмпирик формула таклиф қилинди:

иншоот бўйлама йўналишдаги абсолют кўчиши учун:

$$U = 9,29(\sqrt{C}/R)^{-0,988}; \quad \text{ёки} \quad U = 2,16e^{-0,0669R_{ep}}; \quad (20)$$

вертикал йўналишдаги абсолют кўчиш учун

$$W = 141(\sqrt{C}/R)^{-1,67}; \quad \text{ёки} \quad W = 4,11e^{-0,067R_{ep}}; \quad (21)$$

кўндаланг йўналишдаги абсолют кўчиш учун

$$V = 700(\sqrt{C}/R)^{-2,44}; \quad \text{ёки} \quad V = 7,8e^{-0,13R_{ep}}; \quad (22)$$

Тажрибадан олинган натижаларни таҳлил қилиш иншоотнинг бўйлама йўналишдаги абсолют кўчишнинг заряд массаси ҳамда эпицентрал масофага боғлиқ ҳолда аппроксимация қилинди ва қуйидагича эмпирик формула таклиф этилди: $A = C^\alpha e^{\beta R}$; (23)

Бу ерда α ва β ўлчамсиз коэффициентлар қийматлари мос равишда қуйидагига тенг: 0,392; -0,012.

Юқорида келтирилганлардан ташқари, ушбу бобда юпқа деворли ёпиқ профилли цилиндрик иншоотнинг сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан ўзаро таъсир коэффициентларини тажрибада натуравий аниқлаш методикаси келтирилган.

Бўйлама йўналишда ўзаро таъсир коэффициенти илк бор икки хил усулда: Даламбер принциpidан келиб чиқиб, мувозанат тенгламаларидан фойдаланган ҳолда ҳамда ёпқа деворли мазкур цилиндрик иншоотнинг сейсмик таъсир жараёнида энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланган ҳолда аниқланди ва иккинчи усулнинг афзаллиги таҳлил қилинди ҳамда бу жараён технологиясида мураккаб математик аппаратдан фойдаланиш зарурияти йўқлиги ва ш.к. келтирилди.

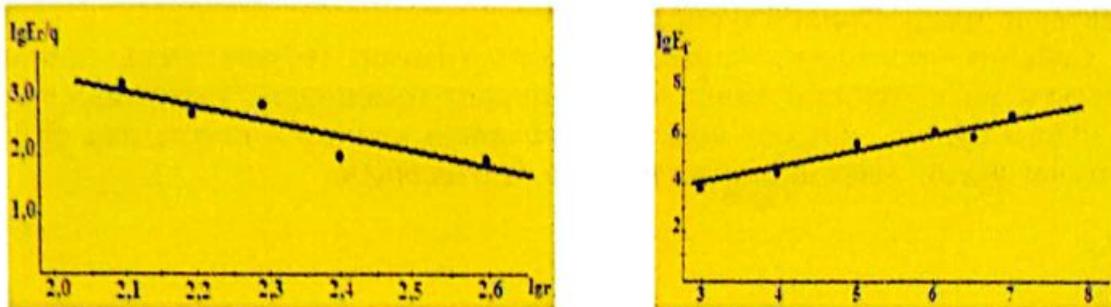
Юқоридагилардан ташқари, ушбу бобда тажрибада синалаётган намуна ёпқа деворли фазовий ёпиқ профилли цилиндрик иншоот деган нуқтаи назардан, унинг динамик ҳисоби келтирилган ҳамда олинган натижалар тажрибада олинганлари билан таққосланган. Яна бу ерда, ўлчамлари тажрибадаги намуна ўлчамларига тенг бўлган ёпиқ профилли цилиндрик тоннелга таъсир бўйлама ўқига перпендикуляр йўналган ҳолат учун назарий ечиш методикаси келтирилган. Назарий жиҳатдан аниқланган ва тажрибаларда қайд қилинган кўчиш қийматларини таққослаганда юқори аниқликка эришилгани, ушбу методикани ер ости ёпқа деворли ёпиқ профилли цилиндрик иншоотлар инженерлик ҳисобларида қўллаш мумкинлигини кўрсатди.

“Сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсиридан грунт ва ер ости иншоотларида вужудга келадиган ҳолатни энергетик баҳолаш” деб номланган 5-бобда грунтда сейсмик-портлаш тўлқинлари тарқалганда муҳитда ва ер ости иншоотларида вужудга келадиган ҳолатни энергетик баҳолаш ғояси, тўлқин энергияси атроф-муҳитдан иншоотга узатилиш механизми муҳандисона таҳлили намоён қилинган.

5-бобнинг биринчи параграфи мухитда тўлқин тарқалганда грунт тебранма ҳаракат энергетик характеристикаларини аниқлаш ва муҳандисона таҳлил қилиш, ҳамда сейсмик таъсир жараёнида иншоот билан грунт биргаликдаги тебранишларда юзага келадиган ўзаро таъсир жараёнини энергетик баҳолашга бағишланган.

Қуйидаги ифодадан фойдаланиб:
$$E_0 = 2\pi^2 E_r (r/r_0)^n \quad (24)$$

тажрибалардаги энергия логарифмининг эпицентрал масофа логарифмига (а) ва сейсмик таъсир интенсивлигига (б) боғлиқлиги графиклари қуйидаги 14-расмдаги кўринишда олинган ва ушбу расмларда асосий пунктдаги грунт тебранма ҳаракат энергиясининг ўзгариш графиги чизиқли характерда экани кўришиб турибди.

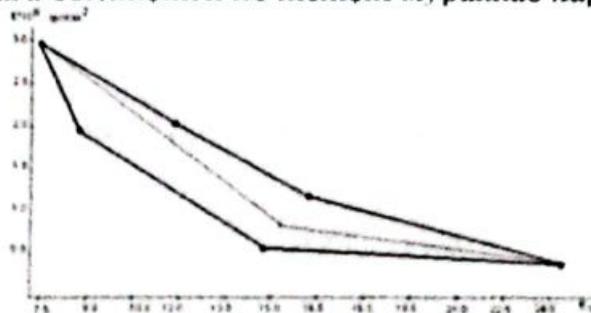


14-расм. Грунт тебранма ҳаракат келтирилган энергияси логарифмининг эпицентрал масофа логарифмига (а) ва сейсмик таъсир интенсивлигига (б) боғлиқлик графиги.

Тажрибалар натижалари асосида олинган ушбу графикни қуйидаги кўринишда аппроксимация қилиш мумкин:

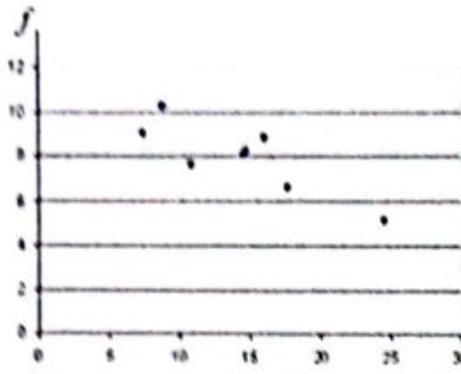
$$\lg E_r = 3,8 + 0,40 I \quad (25)$$

15-расмда грунт тебранма ҳаракат энергияси оқими зичлигининг келтирилган масофага боғлиқлиги графиги кўрсатилган. Бу ердан кўришиб турибдики, грунт тебранма ҳаракат энергияси оқими зичлигининг келтирилган масофага боғлиқлиги нозичлиқли мураккаб характерда кечаркан.



15-расм. Грунт тебранма ҳаракат энергияси оқими зичлигининг келтирилган масофага боғлиқлиги.

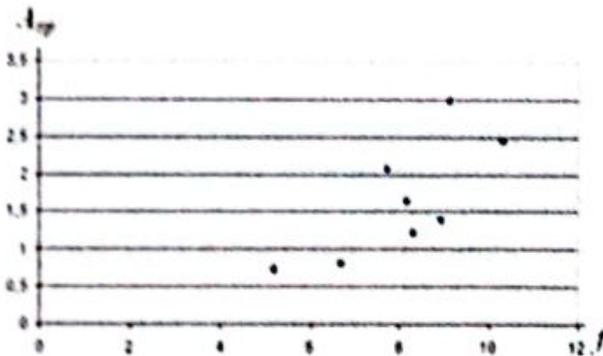
Ер ости портлашларидан вужудга келадиган сейсмик майдон асосий параметрларидан бири бўлган тебраниш частотасининг келтирилган масофага боғлиқлиги қонунияти бўлиб, у 16-расмда кўрсатилган. Бундан келтирилган масофа ортиши билан частота қийматининг камайишини кўриш қийин эмас.



16-расм. Грунт тебраниш частотасининг келтирилган масофага боғлиқлиги графиги.

17-расмда эса сейсмик тебранишлар кўчиш амплитудасининг частотага боғлиқлиги графиги келтирилган бўлиб, бундан ушбу боғлиқлик нозичлиги характерда экани кўриниб турибди.

Сейсмик таъсирдан “иншоот-грунт” тизими тебранишида портлаш импульси энергиясининг қанча қисми иншоот томонидан “ўзлаштирилиши” ўта муҳим бўлиб, иншоот конструкцияларини қанчалик шикастлаш-бузиш даражаси ана шу энергия миқдори билан белгиланади.



17-расм. Грунт тебранма харакат кўчиш амплитудасининг частотага боғлиқлиги графиги.

Сейсмик майдонда грунт оқайтган энергия миқдори ва атроф-муҳит грунги билан ўзаро таъсирда бўлган иншоотнинг муҳит билан биргаликдаги тебранишларида оладиган энергияси миқдорини баҳолаш учун қуйидаги нисбатдан фойдаланамиз:

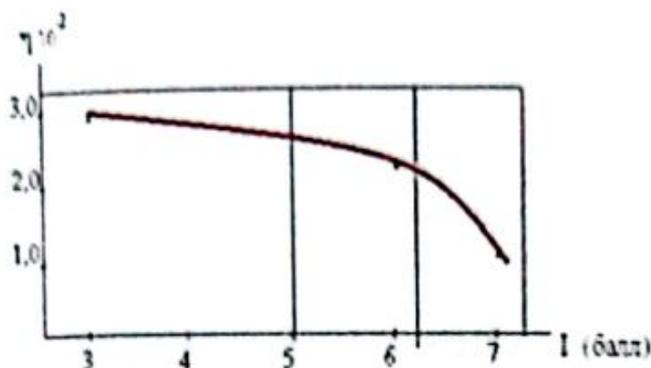
$$\eta = E_{\text{инш.гр.}} / E_{\text{о.сп.}} \quad (26)$$

бу ерда $E_{\text{инш.гр.}}$ - иншоотнинг грунт билан ўзаро таъсирида оладиган (“ўзлаштирадиган”) кинетик энергияси миқдори; $E_{\text{о.сп.}}$ - сейсмик майдонда иншоот юзасидан оқадиган энергия миқдори, у қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\eta = \frac{\pi \rho (R^2 - r^2) \dot{u}^2 L}{(0.35 \gamma_c \rho \sum v_i^2 T_i) S} \quad (27)$$

Бу ўлчамсиз коэффициент (η) ни “грунт-иншоот” динамик системаси учун сейсмик таъсир жараёнидаги “редукцияланиш” (энергия қисқариш) ёки энергияни ютиш коэффициенти деб номлаш мумкин. Бу коэффициент физик нуқтан назаридан сейсмик таъсир жараёнида сейсмик майдонда грунтдан иншоотга энергиянинг қанча қисми ўтиши (узатилиши)ни англатади.

(27) формула асосида аниқланган ҳамда ҳисобланган ушбу коэффициентнинг сейсмик таъсир интенсивлигига боғлиқлиги 18-расмда келтирилган.

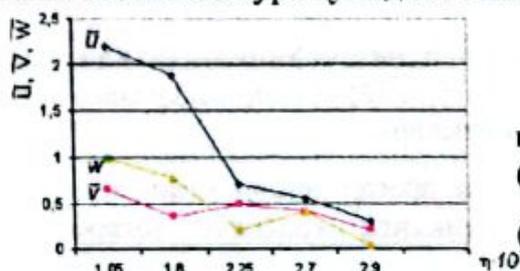


18-расм. “редукцияланиш” (энергия қисқариш) коэффициентини η нинг грунт мухити сейсмик-портлаш таъсири интенсивлигига боғлиқлиги графиги.

Ушбу расмдан кўриш мумкинки, “редукцияланиш” коэффициентини η сейсмик таъсир интенсивлиги ортиши билан аввалига, 3-5,5балл ораликда, майин конуният билан, 5,5 баллдан ошганда кескин камаювчи характерда камаяди. Сейсмик таъсир интенсивлиги ортиб бориши билан иншоотга грунтдан узатилаётган кинетик энергия миқдори ошиб боради, бироқ η нисбат камаяди.

19-расмда иншоотнинг атроф-мухит грунтга нисбий ($\bar{U}, \bar{V}, \bar{W}$) кўчишининг η коэффициентга боғлиқлик графиги келтирилган.

Бу ердан нисбий кўчиш учта ўзаро перпендикуляр йўналишда ҳам содир бўлади, уларнинг қийматлари бири-биридан кескин фарқ қилади ҳамда улар физик табиатига кўра қуйидаги тенгсизлик бажарилади: $\bar{U} > \bar{V} > \bar{W}$.



19-расм. Иншоотнинг атроф-мухитга нисбий кўчишининг “редукцияланиш” (энергия қисқариш) коэффициентини η ($\eta = \frac{E_{соор}}{E_{гр}}$) га боғлиқлиги.

Диссертациянинг навбатдаги босқичи сейсмик портлаш тўлқинларининг мухитда тарқалишида ютилиш жараёнини табиқ қилишдан, яъни асл натуравий дала шароитида энергиянинг мухитда ютилиш коэффициентини аниқлашдан иборат бўлиб, диссертацияда бу коэффициентга назарий коэффициент эмас балки тажрибавий параметр деб қаралади.

Энергиянинг мухитда ютилиш жараёнини белгиловчи ютилиш коэффициенти қуйидаги мулоҳазадан келиб чикиб баҳоланди:

$$A_i = A_0 \left(\frac{\Delta_i}{\Delta_0} \right)^{-n} e^{-\alpha(\Delta_i - \Delta_0)} \quad \text{бу ердан} \quad \alpha = \ln \left[\left(\frac{A_i}{A_0} \right) \left(\frac{\Delta_i}{\Delta_0} \right)^n \right] \cdot \frac{1}{[-(\Delta_i - \Delta_0)]} \quad (28)$$

бунда A_i, A_0 – асосий ва контрол пунктларида кўчиш амплитудалари қийматлари; Δ_i, Δ_0 -портлаш нуқталаридан контрол ва асосий пунктларигача бўлган эпицентрал масофалар ($\Delta_0 < \Delta_i$); α -мухитда энергия ютилиш коэффициенти.

Кўп грунтларда n кўрсаткич грунт мустаҳкамлик кўрсаткичларидан келиб чикиб, 1,5-2,5 оралигида белгиланади. $n=2$ деб оладиган бўлсак, у

холда ютилиш коэффициентини ўртача миқдори $\alpha_{cp}=0,0028 \text{ м}^{-1}$. ($n=1,5$ бўлганда $\alpha_{cp}=0,0041 \text{ м}^{-1}$).

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (29)$$

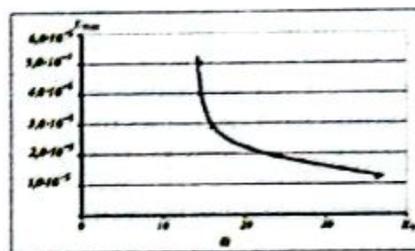
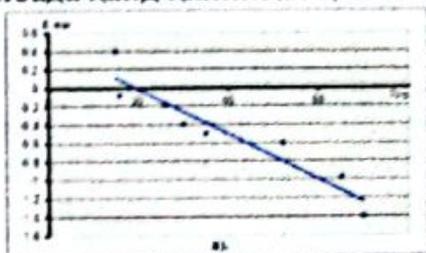
агар $x = \Delta_1 - \Delta_0$ - тўлкин фронтининг A ва A_0 кўчиш амплитудалари қайд қилинган нуқталар орасидаги масофа, α - ютилиш коэффициентини.

Охирги ифода ёрдамида тажриба натижалари асосида, ушбу параметр ўртача қийматлари баҳоланди $\alpha_{cp} = 0,0046 \text{ м}^{-1}$.

Мухит грунтининг сейсмик-зўриққан ҳолатида эластик зонада грунт деформацияси қуйидаги ифода орқали ҳисобланиши мумкин:

$$\varepsilon_{max} = 2\pi A_{max} / C_p T \quad (30)$$

бу ерда, ε_{max} - мухит деформацияси максимал қиймати; A_{max} - натуравий дала шароитида қайд қилинган кўчиш максимал қиймати; C_p - бўйлама тўлкиннинг мухитда тарқалиш тезлиги; T - мухит учун сейсмик тебранишлар даври тажрибада қайд қилинган қиймати.



20-расм. Мухит грунтининг эластик деформациясининг логарифмининг (а) ва грунт эластик деформациясининг максимал қийматининг (б) келтирилган масофага боғлиқлиги графикалари.

Мухит деформациясининг (32) ифодага асосан аниқланган максимал қийматининг келтирилган масофага боғлиқлиги графиги логарифмик функция кўринишида 20,а-расмда келтирилган. Бу холда келтирилган масофа қиймати 7,4-36,4 (асосий кузатув нуқталари). 20,б-расмда ушбу параметрнинг келтирилган масофага боғлиқлиги кўрсатилган бўлиб, бу ердан деформациянинг келтирилган масофанинг кичик қийматларида ($R_{cp}=7,4$; $R_{cp}=8,75$) кескин камаювчи, келтирилган масофанинг катта қийматларида эса майин камаювчи характерда бўлишини кўриш мумкин.

Маълумки, тадқиқотлар сўниш декрементининг мухит деформацияси қиймати 10^{-6} - 10^{-7} дан ортса, улар ўзаро боғлиқлигини тасдиқлади. Ер ости портлашлари жараёнида вужудга келадиган сейсмик майдоннинг манбага яқин зонаси деформациясининг катта қийматдан эга бўлиши билан характерланади ва бу зонада ютилиш декременти қиймати ($\beta \neq const$) ўзгарувчан бўлади ҳамда бу зонада тебранма ҳаракат даври табиатан шартли равишда, қиймати эса ўзгарувчан характерда бўлади [1, 40с.].

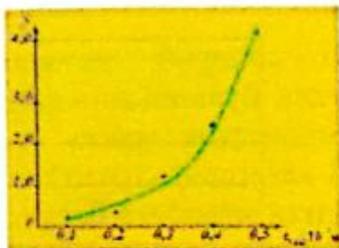
Манбадан узоқлашган сари деформация қиймати кичиклашиб боради, узоқ зонада ушбу жараёнга синган ҳамда қайтган тўлкинлар таъсири айтарли характерда бўлади ва бу ҳолат хусусий билан йиғинди энергияни ажратиш қийин бўлади.

Маълумки, ютилиш декременти β билан ютилиш коэффиценти α орасида қуйидаги боғлиқлик мавжуд:

$$\beta = \alpha C_p T \quad (31)$$

Асл дала шаронтида олиб борилган натуравий тажрибалар натижаларини қайта ишлаш асосида грунт зарралари тебранма ҳаракат даврини аниқлаш эмпирик формуласи қуйидаги кўринишда олинди:

$$T = 0,0142 kR^{0,33} C^{0,06}; (\text{сек}) \quad (32)$$



21-расм. Тажриба участкаси грунти β ютилиш декрементининг ε_{\max} грунт деформациясига боғлиқлиги.

Охирги тенгламани ҳисобга олиб, (32)ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\beta = 14,2 * 10^{-3} k \alpha C_p R^{0,33} C^{0,06}; \quad (33)$$

бу ерда, C_p -мазкур грунтда бўйлама тўлқин тарқалиш тезлиги (м/сек); T -муҳит зарралари сейсмик тебранма ҳаракатланиш даври(сек), k -тузатиш коэффиценти($m^{-0,33} \text{сек}^{0,94}$), R -эпицентрль масофа(м.), C -портловчи заряд оғирлиги(кГ).

(33) формуладан фойдаланиб, мазкур грунт шароити учун β ютилиш декрементининг аниқланган қиймати ва унинг муҳит деформациясига боғлиқлиги графиги 21-расмда келтирилган.

Шундай қилиб, тўлқин fronti сўниши асосий кўрсаткичларидан бўлган ютилиш коэффиценти α ва ютилиш декременти β лар асл натуравий дала шароитида аниқланди ва таҳлил қилинди. Ушбу параметрларни билишлик умумий тўлқинлар жараёнини таҳлил қилишда, тўлқин frontiдаги энергетик майдоннинг ютилиш ҳамда сочилиш ҳарактерлари фарқини аниқлашда муҳим аҳамият касб этади.

ХУЛОСА

“Сейсмик-портлаш тўлқинлари ва уларнинг ер ости иншоотларига таъсирини табиий экспериментал дала шароитида тадқиқ қилиш” мавзусидаги фан доктори диссертацияси (DSc) бўйича олиб борилган илмий изланишлар асосида қуйидаги хулосалар қилинган:

1. Табиий экспериментал дала шароитида ўтказилган тадқиқотлардан тўпланган информацион база асосида юпқа деворли ер ости иншоотлари сейсмик-зўрикқан ҳолатини қайд қилиш имконини берувчи методология ишлаб чиқилди. Мазкур методикадан фойдаланиш портлашлар энергиясидан фойдаланиб сейсмик майдон параметрларни аниқлаш, грунт ва иншоот тебранма ҳаракат кинематик ва динамик параметрларига бевосита қайд қилиш, юпқа деворли иншоотга бериладиган динамик босим ҳамда “грунт-қувур” тизими нисбий тебранма ҳаракатини аниқлаш имконини беради.

2. Ўзаро перпендикуляр йўналишлардаги ёзув-осциллограммаларни таҳлил қилиш асосида ҳар бир йўналишдаги параметрлар максимал

қийматлари тебранишларнинг турли вақтларида содир бўлиши аниқланди. Иншоот билан грунт мухити биргаликда тебраниши жараёнида иншоот кўчишининг максимумга эришиш вақти билан грунтники вақт бўйича турлича вақтда содир бўлиши топилди.

3. Сейсмик-портлаш тўлқинларини ярим грунт текисликда тарқалиши ва уларнинг ер ости цилиндрик қобикқа таъсири назарий ўрганиш методикаси, алгоритми ва дастури ишлаб чиқилди. Сейсмик-портлаш тўлқинларини портлаш чуқурлигига боғлиқлиги ва дифракцион ва қайтган тўлқинларга ҳамда иншоотга таъсир этиши, тўлқин параметрларига боғлиқ қонуният аниқланди.

4. Табиий экспериментал натижаларини назарий изланишлар натижалари билан таққослаганда фарқ 30% -50% гача бўлиши аниқланди.

5. Тажрибадан олинган маълумотларни математик қайта ишлаш натижасида тажриба участкаси шароити учун(II-категория грунт) мухит тебранма ҳаракат тезлиги амплитудасининг келтирилган масофага боғлиқлиги қонуният аниқланди. Бу грунт нуқталарининг кўчиш амплитудасининг тўлқин частотасига боғлиқлиги қонуниятини аниқлаш имконини беради. Шу асосда грунт шароити учун “кўчиш-частота” боғлиқлигини ифодаловчи қонуният топилди.

6. Илк бор сейсмик-портлаш тўлқинларидан вужудга келувчи сейсмик майдондаги иншоот динамик ҳолатига энергетик баҳо берилди. Грунт билан иншоотнинг сейсмик майдондаги биргаликдаги тебранма ҳаракати энергетик нуқтаи назаридан таҳлил қилинди ҳамда бу жараёни баҳолаш учун ўлчамсиз “редукцияланиш” коэффициенти ва уни аниқлаш методикаси ишлаб чиқилди.

7. “Грунт-иншоот” динамик системаси энергетик нуқтаи назаридан ўрганилиш натижасида тебраниш энергияси мухитдан иншоотга узатилганда унинг интенсивлиги экспоненциал ҳолатда камайиши биринчи марта натуравий экспериментал аниқланди.

8. Мазкур методология бўйича олиб борилган тажриба ва назарий натижалар иншоот сейсмик-зўриққанлик ҳолати икки хил тўлқин, яъни тўғри чизик бўйлаб тарқалаётган тўлқинлар ҳамда яримфаза чегарасидан қайтган йиғинди таъсиридан иборат бўлиши экспериментал аниқланди. Бунда биринчи номи келтирилган тўлқинлар мухит(конструкция)да бузилиш-олди ҳолатини юзага келтирса, яримфаза чегарасидан қайтган тўлқинлар мухит(конструкция)ни бузилиш ҳолатига олиб келиши мумкинлиги топилди.

9. Тажриба участкаси геологик шароити учун ютилиш коэффициенти ҳамда ютилиш декрементларининг $\beta = 14,2 * 10^{-3} k \alpha C_p R^{0,33} C^{0,06}$ эмпирик ифодаси топилди. Унинг ўртача диапазони 0,15-4,1 оралигида бўлиши топилди.

10. Сейсмик-портлаш тўлқинлари грунтда тарқалганда рельефнинг сейсмик интенсивликка таъсирини ўрганилди, баланд-паст ва иккита баландлик фарқи бўлган терраса ҳамда борт ёқаси ландшафтида олиб борилган кузатув натижалари интенсивлик орттирмаси 1баллга тенг бўлиши топилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА Phd. 03/27.02.2021.
FM.101.02.28.02.2018.T/FM.61.01 ПРИ БУХАРСКОМ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

УРГЕНЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РАХМОНОВ БАХОДИР СОБИРОВИЧ

**НАТУРНО-ПОЛЕВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ
СООРУЖЕНИЯ**

01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (DSc)**

Бухара-2022

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2022.1.DSc/FM189

Диссертация выполнена в Ургенчском государственном университете.

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

Научный консультант: Сафаров Исmoil Иброхимович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Исмаилов Кубаймурат
доктор технических наук, профессор

Мавлянов Тулкин Мавлянович
доктор технических наук, профессор

Мирзасев Ибрахим
доктор физико-математических наук, профессор

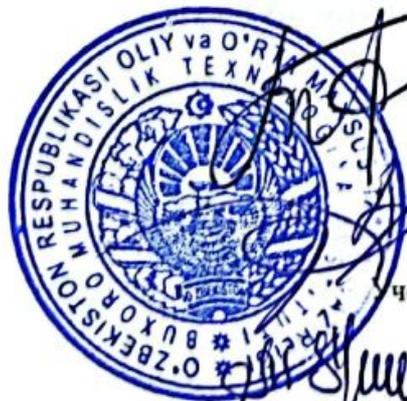
Ведущая организация: Наманганский инженерно-строительный институт

Защита диссертации состоится «27» август 2022 года в 10⁰⁰ часов на заседании разового научного совета на основе разового научного совета **Phd. 03/27.02.2021. FM.101.02.** при Бухарском инженерно-технологическом институте по адресу: 200100, г.Бухара, ул. Қ. Муртазоева, 15, зал заседаний №4.

Тел/факс.: (+99865)223-78-84; факс: (+99865)223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (регистрационный номер_379). Адрес: 200100, г.Бухара, ул. Қ. Муртазоева, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84; факс: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

Автореферат диссертации разослан «6» август 2022 года
(реестр Протокола рассылки №1 от «5» август 2022 года)



М.М. Тишаев
Председатель разового Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н. (DSc)

З.И. Болтаев
член секретарь разового Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н. (DSc)

М.З. Шарипов
Председатель Научного семинара при
разовом Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.ф.-м.н., (DSc).

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мире расчет, проектирование и строительство сейсмостойких зданий и сооружений в сейсмически активных регионах один из самых актуальных вопросов. В этом отношении требуется создание и экспериментальное исследование методики экспериментального исследования сейсмонапряженного состояния подземных сооружений, которое до сих пор недостаточно исследовано. В связи с этим в России, Японии, Италии, США и многих других странах уделяется особое внимание разработке методики исследования сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в лабораторных условиях и проведению таких экспериментальных исследований.

Особое значение в мире имеют научные исследования, проводимые в оригинальных натуральных полевых условиях в сейсмически активных районах с повышенной плотностью населения и сейсмической напряженностью подземных сооружений, возникающей в результате сейсмических воздействий взрывов. В связи с этим необходимо разработать методику проведения исследований направленных на экспериментальные исследования состояния конструктивной системы "грунт-сооружение" от воздействия сейсмозрывных волн, изучение закономерностей распространения сейсмозрывных волн в грунте, экспериментальное исследование взаимодействия объекта с грунтом и в частности, оценка параметров энергетической оценки процесса взаимодействия объекта с грунтом с целью определения параметров, определяющих сейсмозрывное состояние сооружения.

В то же время одной из важных задач является проведение экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния вышеуказанных динамических систем в исходных натуральных условиях, проведение целенаправленных научных исследований по энергетическому подходу к опасному сейсмически-деформированному состоянию тонкостенных цилиндрических подземных сооружений.

В настоящее время в республике осуществляются широкомасштабные меры по повышению сейсмостойкости подземных сооружений различной конфигурации и обеспечению их сейсмической безопасности. В частности, в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, определены задачи «...по реализации целевых программ по развитию и модернизации дорожно-транспортной, инженерно-коммуникационной и социальной инфраструктуры...»¹. При реализации указанных целей одной из важных задач является разработка методики проведения оригинальных натуральных опытов с использованием сейсмических воздействий высокоточных подземных взрывов, в том числе при создании сейсмостойких конструкций конструктивной системы подземных

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № УП-4947 "О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан".

сооружений, изучение закономерностей распространения сейсмических взрывных волн в грунте, определение на опыте кинематических и динамических параметров, характеризующих колебательное движение, возникающее в грунтах от воздействия сейсмических взрывных волн; нахождение эмпирических формул, позволяющих определить состояние грунтов от воздействия сейсмических взрывных волн, определение в ходе эксперимента параметров, определяющих напряженно-деформационное состояние сооружения, энергетический анализ этого процесса, разработка и развитие методики оригинальных натурных исследований процесса сложного взаимодействия тонкостенных цилиндрических подземных сооружений с грунтом.

Данная диссертация в определенной степени служит реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 “О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан” от 7 февраля 2017 года, Постановлении ПП-4794 “О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан” от 30 июля 2020 года, Постановлении Каюинета Минитсров Республики Узбекистан № 515 “О дальнейшем совершенствовании государственной системы предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации Республики Узбекистан” от 26 августа 2020 года, а также других нормативно-правовых документов относительно данной сферы деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Диссертационное исследование осуществлено в рамках приоритетного направления развития науки и технологий Республики IV. “Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика” и XIV. «Сейсмология, Сейсмическая безопасность зданий и сооружений и строительство»

Комментарии к зарубежным научным исследованиям по теме диссертации². В ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях проводятся комплексные научные исследования по разработке методов полевого исследования сейсмо-взрывных волн и их воздействия на подземные сооружения цилиндрической формы, в частности в таких учреждениях как California Institute of Technology (АКШ), University of Trento (Италия), Pompeu Fabra University (Испания), Kyoto University (Япония), Российский институт ЕВ при АН, ВНИИСТ, ВНИИВОДГЕО, Челябинский Политехнический институт, Институт механики и сейсмостойкости сооружений при АН Республики Узбекистан и др.

² В обзоре международных научных исследований по теме диссертации использовались <http://www.mathnet.ru>; <http://msp.org/jomms/about/cover/cover.html>; <http://link.springer.com>; <http://www.science-direct.com>; <http://www.dissercat.com/catalog/fiziko-matematicheskie-nauki>; Изв. РАН, МТТ, - 2016, №5, - С.22-35; Изв. РАН, МТТ, -2017, №2, - С.32-45; Подземные ядерные взрывы (пер.с англ) Под редакцией В.И. Кейлис-Борока и Ю.В.Ризниченко. М.: Изд.иностранной литературы. -1962. -С.129-131; Сейсмическое действие взрыва М.: Гостеолтехиздат, -1963. -С.64-65; Количественные данные о движениях грунта при сильных землетрясениях//Бюллетень Совета по сейсмологии -№ 14.- М.: Изд. АН СССР, -1963. -С.14-17. и другие источники.

Во всем мире в результате научных исследований по сейсмозрывным волнам и их конструктивным решениям подземных цилиндрических сооружений, проверке прочности грунтов и внешних сейсмозрывных волн, методам определения и расчета закономерностей распространения динамических сил и напряжений, в том числе в результате проведенных в мире исследований взаимосвязи систем "сооружение-грунт" и их параметров получен ряд следующих результатов: крайняя близость друг к другу плотности сейсмической энергии и объема источника при подземных взрывах и природных тектонических землетрясениях, и их определение одной и той же закономерностью, разработан принцип энергетической идентичности (Институт ЕФ АН России, California Institute of Technology, АКШ, Kyoto University, Япония); научно доказано, что в оригинальных натуральных экспериментах сейсмические эффекты могут быть смоделированы с помощью взрывов (ВНИИСТ, ВНИИВОДГЕО, Челябинский политехнический институт, Россия, University of Trento, Италия); разработана, обобщена и применена в процессе строительства крупных ГЭС оригинальная натурная методика опробования наземных зданий и сооружений и гидротехнических сооружений (University of Trento, Италия, ВНИИВОДГЕО, Россия); создана сейсмодинамической теории землетрясений сложных подземных сооружений (трубопроводов), в основе которой лежала идея движения подземных трубопроводов с различными значениями по окружающему грунту, в дальнейшем были созданы сейсмодинамическая теория сейсмостойкости подземных сооружений и волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений (Институт механики и сейсмостойкости сооружений при АН Республики Узбекистан); разработана и успешно внедрена в исследовательский процесс методика опытных испытаний жилых, промышленных зданий и башенных наземных и гидротехнических сооружений (ВНИИВОДГЕО, Россия, Pompeu Fabra University, Испания).

В мире на сегодняшний день существует целый ряд задач, направленных на решение задач, связанных с обеспечением сейсмостойкости подземных сооружений, повышением точности расчетных работ, в том числе проводятся исследования по следующим приоритетным направлениям: обеспечение сейсмостойкости подземных сооружений, находящихся на территории тектонического разлома, и подземных сооружений, эксплуатируемых в условиях насыщенных грунтов; совершенствование теорий, в полной мере отражающих пространственную деформацию подземных сооружений, за счет применения общих законов механики деформируемого твердого тела; оценка прочности и деформированности надземных конструкций различных конфигураций, подверженных воздействию неустойчивых нагрузок, с учетом вязкостных свойств среды и возвратных волн со свободной поверхности.

Степень изученности проблемы. За последние несколько лет ряд известных зарубежных ученых внесли значительный вклад в исследование процесса динамического взаимодействия подземных сооружений с окружающим грунтом, в частности можно отметить таких ученых как

К.С.Завриев, А.Г.Назаров, Д.Д.Баркан, Ш.Г.Напедваридзе, С.В.Медведев, С.В.Поляков, И.Л.Корчинский, С.Б.Синицын, В.А. Ильичев, А.С. Гехман, А.Б.Айнбиндер, М.Ш.Исраилов, Н.Н.Фотиева, А.А. Александров, Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Дорман И.Я., Оганесов Г.И., Балсон Ф.С., Ильюшин А.А., Горшков А.Г., Шемякин Е.И., Трояновский И.Е., Кийко И.А., Старовойтов Э.И., Кольский Г., Miker T., Maysler A., Davis R.M., Wayt J.A., Ahenbah J.D., Shafer B.V., San R.I. M.J. O'Rourke, L.R. Wang, N.M. Newmark, El. Hmadi, T. Takahashi, T.Tanaka, K. Yoshizaki, X.L. Liu и другие.

Изучению и оценке напряженно-деформационных состояний конструктивных систем подземных сооружений и разработке методов экспериментальной механики посвящены научные работы таких известных ученых Узбекистана как Урозбоев М.Т., Кабулов В.К., Рашидов Т.Р., Ширинкулов Т.Ш., Мубораков Я.Н., Хожметов Г.Х., Ишанходжаев А.А., Бурнев Т., М.М.Мирсаидов, К.С.Султонов, Б.М.Мардонов, И.И.Сафаров, Абдусатторов А., А.А.Абдусаттаров, К.Исмаилов, И.Мирзаев, Т.Мавлонов, Х.Сагдиев, Ш.Юлдашев, К.Д.Салямова, М.К.Усаров, Б.Э.Хусанов, Т.Г.Сагдиев, М.Х., Тешаев, З.Р.Тешабоев и другие.

В результате проведенных научных исследований достигнуты значительные результаты в обеспечении сейсмостойкости подземных сооружений, расчетно-конструкторской работе, разработке экспериментальных методов исследования сейсмостойкости подземных сооружений с использованием сейсмических воздействий подземных взрывных волн.

Вместе с тем, несмотря на то, что учеными накоплен большой объем экспериментальных данных и по результатам освещаемых в научных изданиях научных работ и научных конференций в последние годы в мире наблюдается определенная стагнация в отношении оригинальных экспериментов, проводимых в естественных полевых условиях с использованием сейсмического воздействия подземных взрывов проблемы в данном направлении изучены недостаточно

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ. Исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV: «Математика, механика, сейсמודинамика сооружений и информатика».

Задачи исследования:

разработка методики экспериментальных исследований состояния сейсмических напряжений (напряженно-деформационных) в естественных полевых условиях, возникающих в подземных тонкостенных пространственных цилиндрических (и полуцилиндрических) сооружениях под действием сейсмических взрывных волн, обоснование надежности опытов проводимых в естественных условиях;

разработка методики, алгоритма и программы сравнительного анализа на основе экспериментального и теоретического определения

кинематических и динамических параметров сейсмозрывных волн различной мощности, распространяющихся в грунтах;

определение и оценка параметров, определяющих динамические процессы, протекающие в тонкостенных закрытых (и открытых) цилиндрических сооружениях под действием сейсмо-взрывных волн;

разработка эмпирических формул и оценка параметров стохастического динамического поля, возникающего в результате подземных взрывов, в ценностном и качественном отношении, определение параметров, определяющих динамическое состояние грунта под воздействием сейсмо-взрывных волн;

фиксация в реальном времени колебательных движений при распространении сейсмозрывных волн в грунте и определение на их основе кинематических и динамических параметров среды и оболочки, энергетический анализ состояния сейсмического поля, возникающего в грунте с оболочкой, а также анализ полученных результатов (экспериментальных и теоретических) и сравнительное сравнение с имеющимися.

Объектом исследования являются подземное цилиндрическое тонкостенное сооружение, и др. объекты, находящийся под сейсмозрывным воздействием, а также грунт, где распространяются сейсмозрывные волны.

Предметом исследования являются:

колебания грунта в пространстве, когда по ней проходят сейсмозрывные волны;

колебания, т.е. напряженно-деформированное состояние подземных тонкостенных цилиндрических сооружений в пространстве и др. объекты, взаимодействующий с грунтом;

сейсмическое действие промышленных короткозамедленных взрывов, участки в котором составляют сложные рельефы.

Методы исследования. В процессе исследования были использованы методы экспериментальной механики, механики деформируемого твердого тела, вычислительной математики, математического моделирования, теории алгоритмизации и сейсмических колебаний, сейсмометрии, планирования экспериментов, метрологии испытаний сооружений.

Научная новизна исследования состоит из следующих:

создана методика экспериментального исследования сеймонапряженного состояния подземных тонкостенных цилиндрических сооружений открытого и закрытого профилей, при действиях сейсмозрывных волн и апробированы её идеи при проведении натурных экспериментов;

создана методика экспериментального определения кинематических и динамических параметров движения среды, при прохождении по ней сейсмозрывных волн, алгоритм и эмпирические формулы, для их вычисления;

в натуральных условиях определены параметры, определяющие сейсмо напряженного состояния подземных тонкостенных цилиндрических сооружений, возникающих при сейсмозрывных воздействиях;

определена напряженность сейсмического поля среды, возникающих в грунтовой среде, при распространении сейсмозрывных волн, а также параметры динамического состояния грунта, предлагаются эмпирические формулы;

впервые, в натуральных условиях определены коэффициент "редуцирования" колебательной энергии, а также, динамические параметры движения тонкостенных цилиндрических сооружений открытого и закрытого профилей, расположенных в сейсмическом поле, предложены эмпирические формулы.

Практические результаты исследования состоят из следующих:

разработана методика оценки интенсивности сейсмического воздействия, определения кинематических параметров колебательного движения среды и прогнозирования сейсмического воздействия на здания при проведении промышленных взрывов в районах со сложным рельефом и фундаментами зданий или сооружений, состоящих из бортов;

разработана модель для расчета прогноза и оценки напряженно-деформационных состояний, возникающих при воздействии взрывных волн в подземных тонкостенных пространственных цилиндрических (и полуцилиндрических) конструкциях;

разработаны методика и алгоритм оценки состояния динамической прочности тонкостенных пространственных элементов трубопровода, находящихся в полном контакте с грунтом под воздействием сейсмозрывных волн;

экспериментально определены и сравнительно оценены кинематические и динамические параметры, обеспечивающие безопасность воздействия сейсмозрывных волн, распространяющихся в грунтах на наземные здания и сооружения.

Внедренность результатов исследования. Результаты сейсмометрическо-инструментальных наблюдений в натурно-полевых условиях за сейсмическим воздействием подземных промышленных взрывов, проведенных в каменных карьерах Каратова "Джамансай-2" и Джумуртова "Кеклик-тов", внедрены на следующих предприятиях, входящих в систему Государственного комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству:

внедрена методика определения коэффициента динамичности в целях определения интенсивности сейсмического воздействия подземных взрывов и периода (частоты) колебаний грунта, важных для оценки сейсмического воздействия на здания и сооружения в районах со сложным рельефом, в разработанных эмпирических формулах Джумуртовского каменного карьера установлены коэффициенты k_v и n_v , выражающие влияние грунтовых условий, метода взрывания и параметров бурения-взрыва на сейсмическую

интенсивность, равную соответственно 470 и 1,5 (Письмо Каракалпакстанского филиала ГУП "ЛИТИ Узгорстрой" от 24 декабря 2020 года). В результате была достигнута минимальная погрешность интенсивности воздействия на здания, устранен дефицит сейсмостойкости, создана возможность устранения повреждений и разрушения;

было обнаружено что, характерные для карьера Каратов увеличение интенсивности сейсмического воздействия в сложных рельефных условиях и волновые динамические признаки (закон зависимости уменьшения амплитуды колебаний от расстояния и др.) кроме увеличения сейсмического воздействия с помощью эмпирической формулы для определения), что оптимальное время замедления взрывчатых веществ составляет 25 м сек (Письмо №38 ООО «DAYPLAST NUKUS» от 29 апреля 2020 года). Главное, помимо предотвращения разрушения машин и механизмов, зданий и сооружений в результате внедрения научных результатов в обоих каменных карьерах, эффективность носила социально-экономический характер и позволила сохранить бесценный ресурс-жизнь людей;

было продемонстрировано, что криволинейные участки композитных труб при воздействии динамических нагрузок могут использоваться для определения нелинейных динамических напряжений-деформаций в фундаментальном проекте № ОТ-Ф4-01 "Разработка методов и развитие теории изучения нелинейного динамического напряженно-деформационного состояния криволинейных участков вязких жидкостных многослойных композитных труб под воздействием температуры и динамических нагрузок", выполненном в Ташкентском химико-технологическом институте в рамках государственных научно-технических программ в выполненного 2017-2020 годах (Письмо №1/04-990 Ташкентского химико-технологического института от 16 апреля 2022 года). В результате при расчетах и энергетическом анализе нелинейных динамических напряженно-деформационных состояний поля кинетической и потенциальной энергий труб с использованием коэффициентов, определяющих процесс затухания, удалось определить опасные зоны и связь между амплитудой и частотой колебательного движения

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждены и апробированы на 16 зарубежных и 14 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 40 научных работ, в частности 19 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 5 в зарубежных и 14 в республиканских журналах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, а также объект, предмет и методы исследования, определена связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, где выполнена данная диссертация, изложена научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов и апробации работы, а также о структуре диссертации.

В первой главе – “Обзор работ, посвящённых к экспериментальному изучению сейсмического эффекта подземных взрывов” приведен обзор работ, посвященных экспериментальных исследований по изучению сейсмического действия подземных взрывов, а также обзор работ, посвященных исследованию сейсмического действия подземных ядерных взрывов.

Во второй главе – “Постановка задачи, основы методологии экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния грунта и подземного сооружения” приведена методология проведения исследований НДС подземных тонкостенных пространственных сооружений, цилиндрических оболочек открытого и закрытого профилей.

Для исследования подземных сооружений типа цилиндрических оболочек открытого и закрытого профилей были использованы стальные тонкостенные средней толщины образцы, а именно, цилиндрические образцы замкнутого профиля следующих размеров: образец из стали $L=6.0$; $D_H=0.72$ м, $\delta=0.008$ м;

цилиндрический образец открытого профиля из стали: $L=6.0$; $R_H=0,5$ м, $\delta=0.016$ м.

Схемы размещения приборов приведены на рис.1.

Для максимального описания физической природы взаимодействия при опытах на ряду с сейсмометрическими наблюдениями одновременно осуществлялись и тензометрические наблюдения.

Схема расположения тензоэлементов и датчиков давлений на образцах, приведены на рис.1,2.

Для эффективного определения процесса взаимодействия измерялись перемещения сооружения, грунта и нагрузка, падающая на подземную трубу одновременно в трех взаимно перпендикулярных направлениях(рис.2.1) Цилиндрическое тонкостенное сооружение было уложено на глубине $H=5,0$ м с послойным уплотнением грунта. В опытах давление грунта (δ_x) на сооружение в продольном направлении измерялось с помощью датчиков давления мембранного типа в точке 4 на торцевом сечении сооружения (рис.3,4).

Поперечные давления (δ_y, δ_z) в горизонтальной и вертикальной плоскостях фиксировались соответственно датчиками в точках 6,8,10 и 5,7,9 (рис.2.). На исследуемых объектах и прилегающих к ним участках грунтовой

среды были измерены перемещения u_i, v_i, w_i , скоростей $\dot{u}_i, \dot{v}_i, \dot{w}_i$ и ускорений $\ddot{u}_i, \ddot{v}_i, \ddot{w}_i$, по направлениям ox, oy, oz (рис. 1).

Колебания грунта при взрывах регистрировались на двух пунктах: №1 (контрольная точка) и №2 (основной пункт наблюдения) расстояние между которыми равно 100м.

Для измерения падающей нагрузки на сооружениях и прилегающих к ним участках грунта были установлены датчики давления, схема расположения которых приведена на рис. 2. Для измерения продольных деформаций подземного цилиндрического сооружения открытого профиля были наклеены 5 тензоэлементов, а для кольцевых-4 тензоэлемента, схема расположения тензоэлементов приведена на рис.3. На подземное цилиндрическое сооружение замкнутого профиля установлены 6 ДД. Из них 2 для измерения боковых, 3 –вертикальных и 1 –для измерения торцевого давления, а на сооружение открытого профиля установлены 4 ДД, из них 2 для измерения боковых и 2 вертикальных давлений (рис.3).

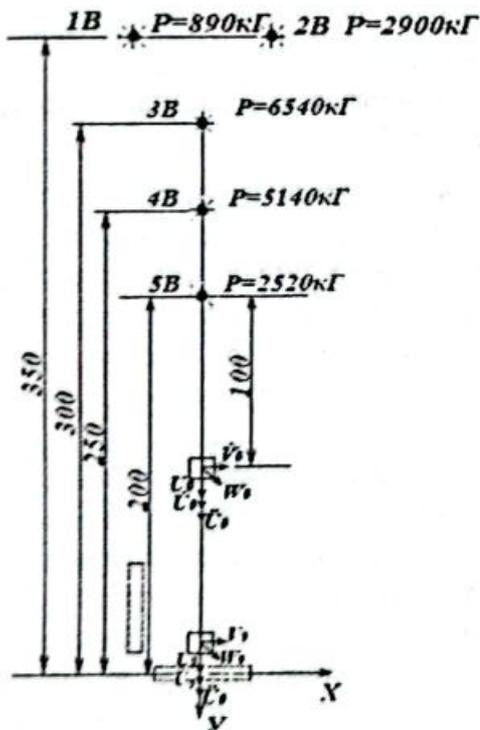
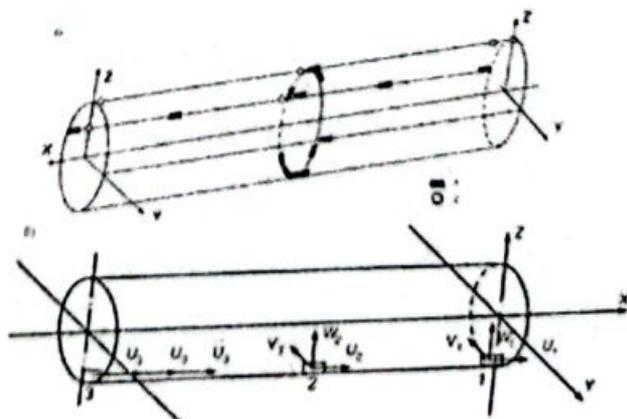


Рис.1. Схема расположения испытываемых сооружений на экспериментальной площадке относительно точек взрывов.

Рис.2. Схема расположения тензоэлементов и датчиков давлений на цилиндрическом образце: 1-тензоэлементы для измерения кольцевых и продольных деформаций; 2- датчики давлений (а) и сейсмоприёмники(б).



При взрывах в качестве ВВ применяли заряды граммонит 79/21, которые во всех случаях инициировались детонирующим шнуром и электродетонатором мгновенного действия.

В общей сложности было проведено 20 взрывов мощностью от 420 кг до 6540 кг. Взрывы производились на расстоянии от 150 м. до 350 м. от исследуемых объектов. Кроме тех, производились пристрелочные взрывы весом до 142 кг для создания камер в грунтах.

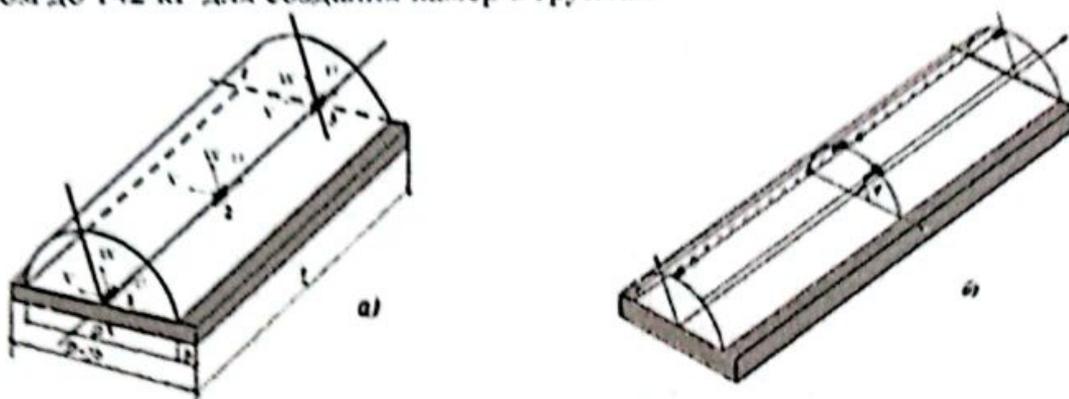


Рис.3. Схема расположения сейсмоприёмников (а), а также тензоэлементов и датчиков давлений на цилиндрическом стальном образце открытого профиля (б).

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают перспективность данной методики при исследовании сейсмонапряженного состояния подземных сооружений типа тонкостенных цилиндрических оболочек. Решена важная техническая задача: получение одновременно всех кинематических параметров колебания сооружения в пространстве с синхронной записей поведения грунта, а также тензометрических наблюдений.

В третьей главе диссертации – “Теоретико-экспериментальные исследования колебания грунтовой среды при прохождении по нею сейсмозрывных волн” исследуется распространение сейсмозрывных волн на упругом(или вязкоупругом) полупространстве теоретическими и экспериментальными методами, где полученные результаты сравниваются.

С помощью этих подходов определены максимальные значения смещения и скорости смещения грунтов и сопоставлены с экспериментальными. А также для каждого кинематического параметра колебания на основе результатов опытов приведены полученные эмпирические зависимости.

Сейсмическая интенсивность были определены на основе максимальных значений смещения, скорости колебания среды, а также по средним значениям плотности энергии в грунтовой среде.

Также, исследуется распространения сейсмозрывных волн в полупространстве и исследование его напряженно-деформированного состояния в теоретическом аспекте и сравнивается с экспериментальными.

Теоретическое исследование распределения сейсмозрывных волн в полупространстве и состояния напряженно-деформированной среды также сравнивалось с результатами экспериментов.

Деформация твердого тела в условиях необратимой деформации или механических и тепловых процессов, то есть в условиях упругой модели (деформации полностью обратимы, механическая энергия полностью сохраняется), упруго-пластической (обратимые деформации ограничены по величине), модель Дебая (предполагая объемную деформацию неискаженной решетки твердого тела и сохранение полной энергии), модель Максвелла (искажения решетки современем самопроизвольно исчезают), модель К.Е.Губкина (решается проблема учета диссипации энергии в твердом теле) представлены и проанализированы.

По методу Е.И.Шемякина, при оценке действия взрывов среде считается, что преломление детонационных волн в прочном горном породе (энергия ВВ 4000 кДж/кг) вызывает образование волн напряжений с амплитудой:

$$\sigma_{p_{\text{пых}}} = k \rho V_{\text{пых}}^n C_p \quad (1)$$

где ρ - плотность породы, кг/м³; C_p - скорость распространения продольных волн в среде, м/с; $V = \frac{1000}{r^n}$ - скорость смещения частиц грунта, м/с; $0 \leq k \leq 1, n = 1, 8-2, 0$.

Представлен вопрос о распространении сейсмозрывных волн от воздействия нестационарного сферически-симметричного источника на тело в полубесконечной упругой среде. Этот вопрос был рассмотрен с целью теоретического разрешения подземных взрывов. При этом уделяется основное внимание на теоретическое составление осциллограмм движения от волнового воздействия точек свободной поверхности среды, источник волны описывается функцией, полученной на основе данных камуфлетных взрывов. Считается, что в однородной изотропной среде в начальный момент времени распространяется плоская волна с постоянной скоростью v (рис.4).

Связь между напряжений и деформаций имеет следующий вид:

$$\sigma_{ik} = \tilde{\lambda} \theta \delta_{ik} + 2\tilde{\mu} \varepsilon_{ik} \quad (2)$$

здесь σ_{ik} - тензор напряжения, ε_{ik} - тензор деформация, θ - объемная деформация, $\tilde{\lambda}$ и $\tilde{\mu}$ - операторные модули упругости:

$$\tilde{\lambda} \varphi(t) = \lambda_{01} \left[\varphi(t) - \int_0^t R_\lambda(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right]; \quad \tilde{\mu} \varphi(t) = \mu_{01} \left[\varphi(t) - \int_0^t R_\mu(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right] \quad (3)$$

$\varphi(t)$ - произвольная функция времени; $R_\lambda(t-\tau)$ и $R_\mu(t-\tau)$ - ядра релаксации и λ_{01}, μ_{01} - мгновенных модулей упругости. Уравнение движения полупространство при воздействии сейсмозрывных волн имеет следующий вид:

$$\tilde{\mu} \nabla^2 \vec{u} + (\tilde{\lambda} + \tilde{\mu}) \text{grad div } \vec{u} = \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \quad (4)$$

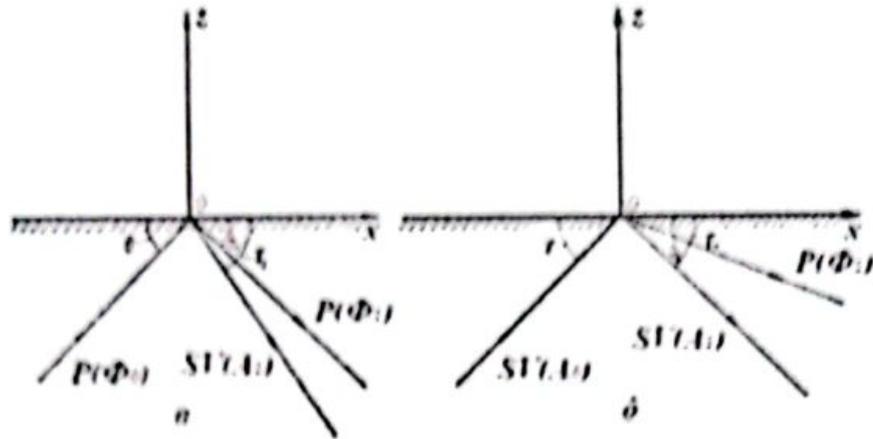


Рис. 4. Расчетная схема.

Решение последнего уравнения пишется в виде продольных и поперечных волн, т.е.

$$\vec{u} = \text{grad } \varphi + \text{rot } \vec{\psi} \quad (5)$$

Если вектора перемещения изображать в виде потенциальной и соленоидной формы, то перемещение частиц среды удовлетворяет уравнений волн.

Численные результаты были получены с помощью программного обеспечения MARLE-18. Кривые рассчитаны для значений коэффициента Пуассона $\nu = 0,25$ и $0,34$. Из графиков видно, что смещение, нормальное к поверхности, сначала возрастает, а затем монотонно убывает с глубиной; смещение, параллельное поверхности, меняет знак на глубине примерно $0,2 \lambda_R$.

Плотность потенциальной энергии увеличивается до глубины $0,2 \lambda_R$ и достигают своего максимума приблизительно при $0,2 \lambda_R$ (при этом амплитуда деформации максимальна). Это означает о максимуме суммарной (кинетической и потенциальной) энергии волн (рис. 5).

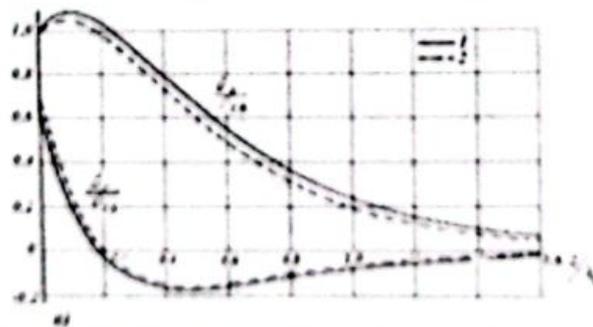


Рис.5. Зависимости амплитуд смещений U_1, U_2 . (а) и амплитуд напряжений T_{xx}, T_{xy}, T_{xz} (б) в рэлеевской волне от относительной глубины z/λ_R

$$1 - \nu = 0,25; 2 - \nu = 0,34$$

На рис.6 приведены зависимости скорости смещения частиц грунта от приведенного расстояния. Здесь кривая-1 показывает изменение

вышеназванного параметра для контрольной точки, а кривая 2—для основного пункта наблюдения.

Применяя метод средних, находим эмпирическую формулу в следующем виде (кривая-1): $\vartheta = 441,2R_{np}^{-1,49138}$ или $\vartheta = 441,2\left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^{1,49}$ (6)

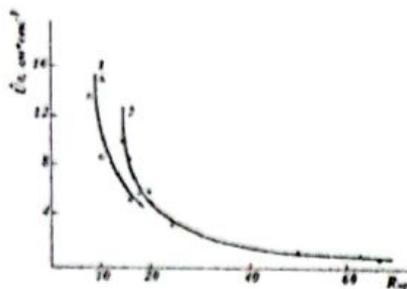


Рис.6. Зависимость скорости смещения грунта в продольном направлении от приведенного расстояния: 1-для контрольной точки; 2-на основном пункте наблюдения.

Используя вышеназванного метода аппроксимируем кривую приведенной на рис.6, которая получена на контрольной точке в грунте, выражение зависимости скорости смещения грунта от веса заряда ВВ и эпицентрального расстояния имеет следующий вид (кривая 2):

$$\vartheta = 325,24R_{np}^{-1,45553} \quad \text{или} \quad \vartheta = 325,24\left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R}\right)^{1,46} \quad (7)$$

На рис.7. приведены записи колебания грунта в продольном(а), поперечном(б) и вертикальном (в) направлениях на реальном времени.

На основании записей колебаний грунта каждой составляющей, были определены логарифмические декременты затухания, которые лежат в следующем диапазоне: для продольной составляющей колебания $\lambda_{np}=0,36$; для поперечной составляющей $\lambda_{поп}=0,46$; а для вертикальной $\lambda_{верт}=0,53$.

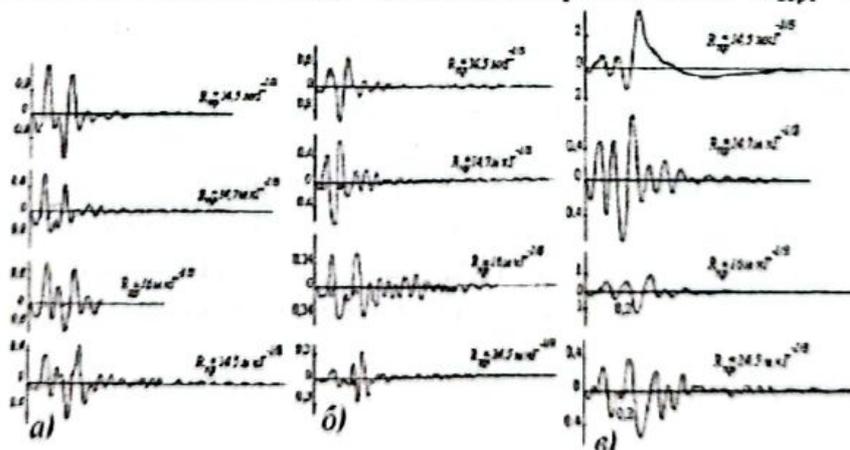


Рис.7. Записи колебания грунта в продольном(а), поперечном(б) и вертикальном (в) направлениях.

Экспериментально полученные результаты были подвергнуты к аппроксимации и получены формулы для определения этого параметра в зависимости от параметров взрыва в следующем виде:

$$A = 3,65e^{-0,054R_{np}} \quad (8)$$

$$A_{поп} = 2,63e^{-0,0585R_{np}} \quad (9)$$

Полученные результаты позволили аппроксимировать эмпирических путем установить, как изменяется этот параметр с расстоянием и весом заряда ВВ и впервые получены зависимости для определения продольного, вертикального и поперечного компонентов вектора смещения в пространстве:

$$A_{np} = 101,08 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{1,57} \quad (10)$$

$$Aa = 216,4 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{1,84} \quad (11)$$

$$A_{nm} = 5,43 \left(\frac{\sqrt{C}}{R} \right)^{0,72} \quad (12)$$

Кроме тех, в работе приведены инженерный анализ осциллограмм-записей смещения грунта в пространстве, зависимости изменения численного значения продольного смещения грунта от частоты колебания, а также зависимость частоты активной фазы сейсмозрывного колебания грунта от приведенного расстояния.

В Киргизии в районе Бурлыкя было проведено опытный крупномасштабный подземный взрыв с мощностью 2070Т.

Рельеф местности характеризовался со сложностью-склоны каньона крутые, высотой до нескольких сотен метров. Зависимость размеров зон сотрясений от интенсивности колебаний грунта приведена на рис.8.

В диссертации приведены методика проведения сейсмометрических наблюдений, вид ущелья в разрезе (верхний и нижний минные штольни), результаты сейсмометрической регистрации параметров колебания грунта, копии осциллограмм, полученных в измерительных пунктах во время экспериментов. По результатам инструментальных наблюдений получены эмпирические зависимости для вычисления сейсмически безопасного расстояния и оценены их погрешности. Кроме них, в диссертации представлены эмпирические формулы для определения сейсмобезопасных расстояний по результатам сейсмометрической регистрации и степени их точности, а также в виде графика приведена зависимость размеров сейсмического поля от интенсивности колебания грунта.

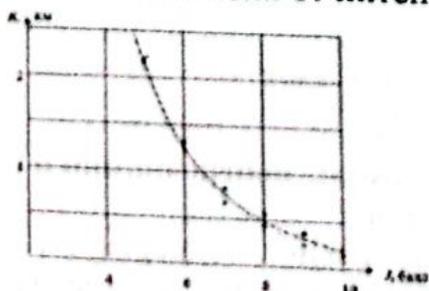


Рис.8. Зависимость размеров зон сотрясений от интенсивности колебаний грунта.

Для изучения сейсмического эффекта промышленных взрывов, а также для оценки холмистого рельефа местности при прохождении сейсмозрывных волн и их действия на сооружения различного назначения в горных районах были организованы инструментальные наблюдения

динамического поведения грунтов и зданий при промышленных взрывах в Джумуртауском и Каратауском карьерах близ реки Амударьи.

В результате обработки экспериментальных результатов, получены эмпирические зависимости, для данного типа грунта, дающие возможность прогнозировать видимых периодов колебания грунта в следующем виде: $T=0,031 \lg R$ или $T=C^{1,1}$ (для Джумуртауского каменного карьера)

$T_0=0,058 \lg R$; или $T_0=C^{0,19}$. (для Каратауского каменного карьера)

Для Джумуртауского карьеров для определения предельно допустимой массы заряда ВВ:

$$Q_{\text{лит}}^{\text{МТН}} = (0,046 * R)^3 \quad (13)$$

Для максимальной массы заряда в группе при короткозамедленном взрывании:

$$Q'_{\text{к.з.в}} = (0,04 * R)^3 \quad (14)$$

Для Каратауского карьера при мгновенном взрывании предельно допустимая масса заряда определяется по формуле:

$$Q_{\text{лит}}^{\text{МТН}} = (0,042 * R)^3 \quad (15)$$

А максимальная масса заряда в группе при короткозамедленном взрывании по формуле:

$$Q'_{\text{к.з.в}} = (0,035 * R)^3 \quad (16)$$

Методика проведения экспериментов по исследованию сейсмического действия промышленных короткозамедленных взрывов, сведения о геологического и гидрогеологического условий, научные результаты по изучению колебания грунта и зданий, изучения процесса распространения сейсмозрывных волн и др. сведения приведены в приложений диссертации.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования колебания подземных сооружений при сейсмозрывных воздействиях» приведены результаты изучения поведения подземного тонкостенного цилиндрического сооружения, взаимодействующего с грунтовой средой, при действии сейсмозрывных волн.

Записи сейсмических колебаний подземного сооружения в трёх взаимноперпендикулярных направлениях в виде осциллограмм приведены на рис.9.

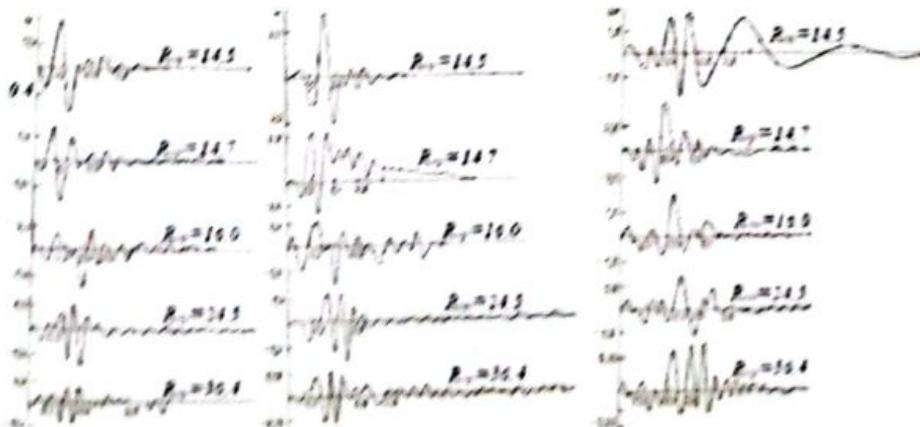


Рис.9. Записи колебания подземного сооружения в продольном(а), поперечном(б) и вертикальном(в) направлениях.

На основе записей колебания сооружения были определены величины декрементов затухания для каждой составляющей вектора смещения сооружения. Средние значения декрементов затухания для продольной составляющей равно $\lambda_{\text{прод}}=0,54$; для поперечной $\lambda_{\text{поп}}=0,68$; и наконец, для вертикальной составляющей равны $\lambda_{\text{верт}}=0,79$. т.е. уместно следующее неравенство: $\lambda_{\text{прод}} < \lambda_{\text{поп}} < \lambda_{\text{верт}}$ т.е. среднее значение декремента затухания вертикальной составляющей больше, чем остальных. На рис.10. приведен график перемещения сооружения в трех взаимоперпендикулярных направлениях (U_0, V_0, W_0) в зависимости от приведенного расстояния.

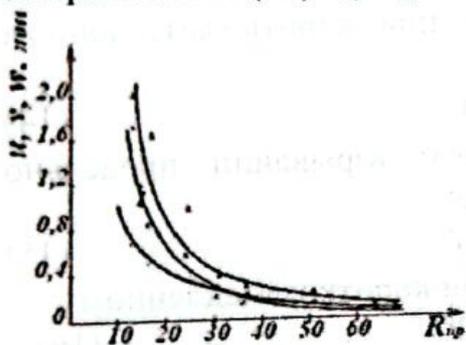


Рис.10. Перемещения сооружения в трех взаимоперпендикулярных направлениях (U, V, W) в зависимости от приведенного расстояния.

На основе экспериментально полученных результатов, были построены зависимость относительного смещения грунта и сооружения от абсолютного смещения грунта.

Отсюда нетрудно заметить, что численное значение относительного смещения грунта и сооружения в продольном направлении до некоторого значения абсолютного смещения ($U \approx 0,7 \text{ мм.}$) имеет убывающий характер, после чего значение этого параметра возрастает (рис.11).

На рис.12. приведена зависимость относительного смещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды вертикальном направлении относительно к оси сооружения. Как следует из этого графика численные значения относительного перемещения имеют убывающий характер, до $w = 0,8$. Уменьшение значения этого параметра, начиная с этого значения прекратятся и дальше начиная со значений $w > 0,8$ зависимость данного графика имеют возрастающий характер.

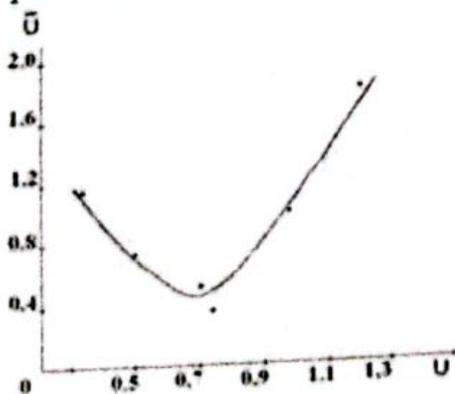


Рис.11. Зависимость относительного перемещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды в продольном направлении относительно к оси сооружения.

На рис.13 приведены кривые, показывающие зависимость относительного смещения сооружения и грунта в трех взаимноперпендикулярных направлениях от интенсивности сейсмических колебаний.

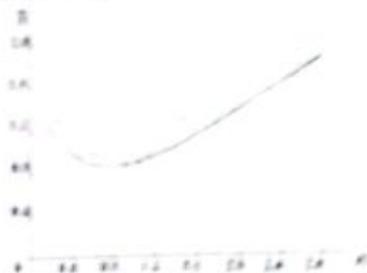


Рис.12. Зависимость относительного перемещения сооружения от абсолютного перемещения грунтовой среды в вертикальном направлении.

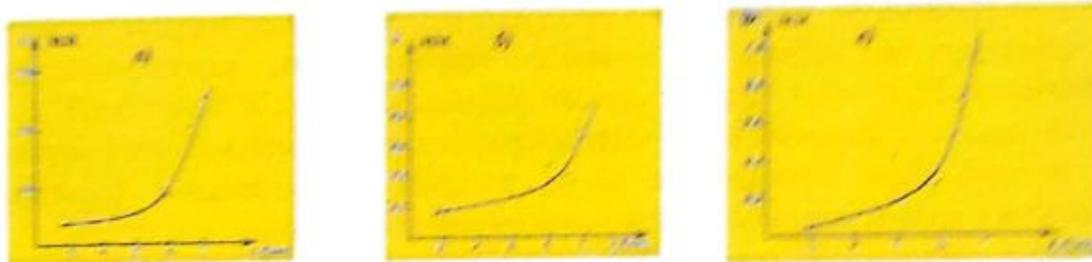


Рис.13. Зависимости относительного смещения сооружения и грунта от интенсивности сейсмического колебания (а- продольным направлением, б- поперечном направлении, в- вертикальном направлении).

Каждая кривая подверглась аппроксимации в отдельности и получены следующие выражения зависимости относительного смещения от интенсивности сейсмического колебания грунта:

- для смещения в продольном направлении

$$\bar{U} = 0.3I^2 - 2.6I + 6.12 \quad (17)$$

- для смещения в поперечном направлении

$$\bar{V} = 0.16I^2 - 0.43I + 1 \quad (18)$$

- и, наконец для смещения в поперечном направлении

$$\bar{W} = 0.17I^2 - 0.5I + 0.9 \quad (19)$$

Были аппроксимированы кривые зависимости абсолютного смещения сооружения в трех взаимноперпендикулярных направлениях от приведенного расстояния. Впервые были получены эмпирические формулы зависимости абсолютного смещения подземного сооружения от веса заряда ВВ и эпицентрального расстояния в трех взаимноперпендикулярных направлениях для каждого компонента смещения:

- для смещения в продольном направлении

$$U = 9.29(\sqrt{C}/R)^{-2.28}; \quad \text{или} \quad U = 2.16e^{-0.0002R}; \quad (20)$$

- для смещения в вертикальном направлении

$$W = 14.1(\sqrt{C}/R)^{-2.07}; \quad \text{или} \quad W = 4.1e^{-0.0002R}; \quad (21)$$

- для поперечного смещения

$$V = 7.0(\sqrt{C}/R)^{-2.08}; \quad \text{или} \quad V = 7.8e^{-0.0002R}; \quad (22)$$

Анализ экспериментальных результатов позволили получить зависимость смещения подземного сооружения веса заряда ВВ и эпицентрального расстояния до точек взрывов в виде:

$$A = C^{\alpha} e^{\beta R}; \quad (23)$$

Численные значения безразмерных коэффициентов α и β были равны соответственно 0,392; -0,012.

Кроме тех, в данной главе приведен экспериментальный метод определения коэффициентов взаимодействия подземного тонкостенного цилиндрического сооружения с грунтом при действии сейсмозрывных волн. Коэффициент взаимодействия в продольном направлении впервые был определен двумя способами: используя условия равновесия, исходя из принципа Даламбера, а также на основе закона сохранения энергии с учетом пространственной работы подземного тонкостенного цилиндрического сооружения. При этом второй способ характеризуется с простотой и не требует решения сложных технических проблем, т.е является более простым, чем первый. При применения этого способа не возникнут серьезные трудности и нужен большой объем вычислительных работ.

Здесь приводится динамический расчет подземного цилиндрического сооружений, которое по геометрическим размерам можно рассматривать как тонкостенную оболочку. Также, дана методика расчета подземной круглой замкнутой цилиндрической оболочки типа тоннеля при действии сейсмических нагрузок перпендикулярно направлению продольной оси тоннеля. Сопоставление вычисленных теоретических и зарегистрированных экспериментальных значений перемещений, согласно опытам, показывает, что предложенную методику расчета можно с достаточной точностью применять при практических инженерных расчетах подземных тонкостенных цилиндрических сооружений.

В пятой главе «Энергетическая оценка поведения грунта и подземного сооружения, при действиях сейсмозрывных волн» приведены результаты, посвященные определению и инженерному анализу энергетической характеристики колебаний грунта, при прохождении по нему сейсмозрывных волн, а также энергетической оценке процесса взаимодействия грунта и сооружения при их совместного колебания.

Используя следующего выражения:

$$E_0 = 2\pi^2 E_r (r/r_0)^n \quad (24)$$

при экспериментах получена зависимость логарифма энергии от логарифма расстояния на пунктах наблюдения в следующем виде(рис. 14).

Зависимость энергии колебаний грунта в основном пункте наблюдения от интенсивности колебания.рис.15.

Отсюда видна линейная зависимость энергии от интенсивности сейсмического воздействия. Экспериментально полученные результаты были аппроксимированы следующей зависимости:

$$\lg E_r = 3,8 + 0,40I$$

(25)

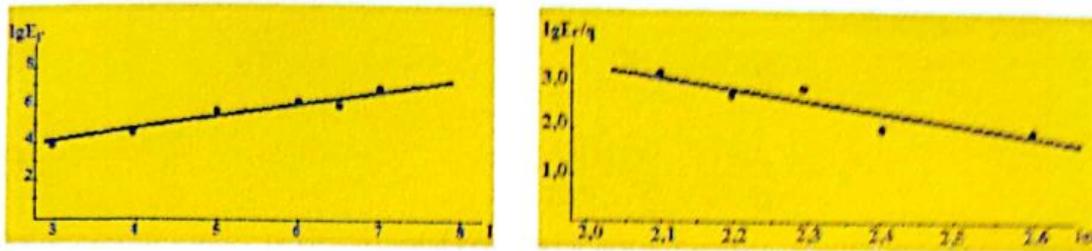


Рис.14. Зависимость логарифма приведенной энергии колебаний грунта от логарифма приведенного расстояния (а) и логарифма приведенной энергии колебаний грунта от логарифма интенсивности сейсмического воздействия(б).

Зависимость плотности потока энергии сейсмозрывных колебаний грунта от приведенного расстояния приведена на рис. 15.

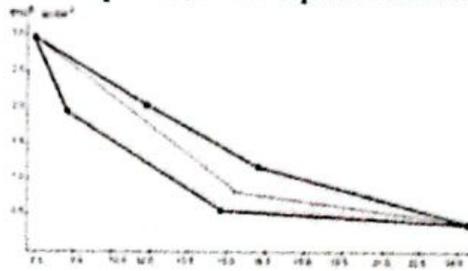


Рис.15. Зависимость плотности потока энергии сейсмозрывных колебаний грунта от приведенного расстояния.

Другим основным показателем для данной зоны является изменение закона зависимости видимого периода(частоты) колебаний от приведенного расстояния, которая в виде графика на рис.16. приведена зависимость частоты колебания от приведенного расстояния. Отсюда видно обратно пропорциональность в зависимости, с увеличением приведенного расстояния численное значение частоты уменьшается.

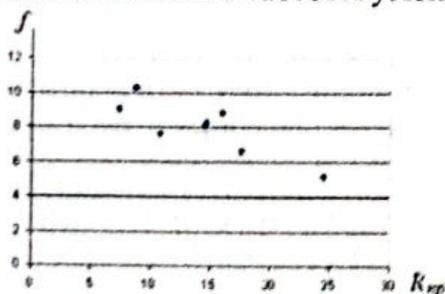


Рис.16. Изменение численного значения частоты колебания в зависимости от приведенного расстояния.



Рис.17. Зависимость максимального значения амплитуды колебания грунта от частоты.

На рис.17 приведен зависимость максимального значения амплитуды колебания грунта от частоты. Откуда можно видеть, что максимальным значениям амплитуды соответствуют максимальные значения частот.

При совместном колебаний подземного сооружения и грунта важным вопросом является, какая часть энергии взрывного импульса (сейсмозрывных волн) “закачивается” в подземное сооружение.

Для оценки соотношения энергии, протекающей в грунте и энергии получаемой подземным сооружением при их взаимодействиях используем следующее выражение:

$$\eta = E_{\text{соор}} / E_{\text{о.р.}} \quad (26)$$

$$\eta = \frac{\pi \rho (R^2 - r^2) \dot{u}^2 L}{(0.35 \gamma c_p \sum v_i^2 T_i) S} \quad (27)$$

Этот безразмерный можно называть коэффициентом «редуцирования» колебательной энергии в динамической системе «грунт-сооружение» или коэффициентом «перекачки». Выше приведенный коэффициент, по физическому смыслу показывает долю энергии, передаваемой через грунта на подземное сооружение, в результате их взаимодействие при действия сейсмозрывных волнах.

Кривая зависимости η от интенсивности сейсмозрывного колебания полученная на основе экспериментально полученных результатов и вычисленной по формуле (27) приведена на рис. 18.

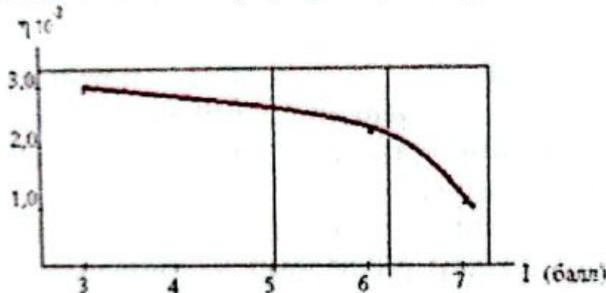


Рис.18. Зависимость коэффициента η от интенсивности сейсмозрывного колебания грунтовой среды.

Отсюда видно, что с увеличением интенсивности коэффициент η незначительно убывает. С увеличением интенсивности колебания при действии подземных взрывов, в интервале интенсивности 3-5,5балл, общее количество кинетической энергии, получаемой подземным, а начиная с 5,5балл, увеличивается, по соотношению (η) уменьшается.

На рис.19 приведены зависимости значений относительных смещений ($\bar{U}, \bar{V}, \bar{W}$) перемещение подземного сооружения относительно окружающего грунта от коэффициента η .

Численные значения резко отличаются между собой, физической картине наблюдается следующее неравенство $\bar{U} > \bar{V} > \bar{W}$.

Следующим этапом исследования в данной работы является изучение процесса поглощения, т.е. оценка коэффициента поглощения энергии средой при сейсмозрывных колебаниях грунта в натуральных условиях, где данный коэффициент рассматриваться как опытный параметр, а не теоретический коэффициент.

Оценка коэффициента поглощения энергии средой из следующего соображения: $A_t = A_0 \left(\frac{\Delta_t}{\Delta_0} \right)^{-\alpha} e^{-\alpha(\Delta_t - \Delta_0)}$ отсюда $\alpha = \ln \left[\left(\frac{A_t}{A_0} \right) \left(\frac{\Delta_t}{\Delta_0} \right)^{\alpha} \right] \cdot \frac{1}{[-(\Delta_t - \Delta_0)]}$ (28)

где A_t, A_0 — амплитуды смещения в основном пункте наблюдения и на контрольной точке;

и

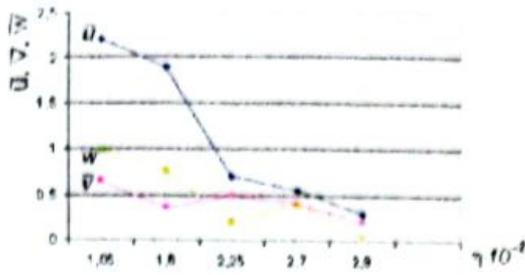


Рис.19. Зависимость относительного смещения грунта и сооружения от коэффициента «редуцирования» или «перекачки» энергии η ($\eta = \frac{E_{соор}}{E_{гр}}$).

Δ_1, Δ_0 -эпицентральное расстояние от точки взрыва до основного пункта и контрольной точки ($\Delta_0 < \Delta_1$); α -коэффициент поглощения среды.

Принимая $n=2$, были определены средние значения коэффициента поглощения, которые были равны $\alpha_{ср} = 0,0028 \text{ м}^{-1}$ (при $n=1,5 \alpha_{ср} = 0,0041 \text{ м}^{-1}$).

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \quad (29)$$

где $x = \Delta_1 - \Delta_0$ - расстояние между точками наблюдения А и A_0 - значения амплитуды волны в двух точках волнового фронта на расстоянии друг от друга, α - коэффициент поглощения.

Используя последнюю выражению на основе экспериментально найденных значений, были определены средние значения коэффициента поглощения $\alpha_{ср} = 0,0046 \text{ м}^{-1}$.

Сеймонапряженное состояние грунтовой среды в упругой зоне однозначно связано с упругой деформацией последней, которая может быть вычислена по формуле [2,3].

$$\epsilon_{\max} = 2\pi A_{\max} / C_p T \quad (30)$$

где, ϵ_{\max} - максимальная величина деформации; A_{\max} - максимальная амплитуда смещения, измеренная при натуральных экспериментах; C_p -скорость распространения волны; T -период сейсмических колебаний.

Зависимость максимального значения деформации, вычисленной по формуле (5.20), от приведенного расстояния показаны в виде логарифмической функции приведена на рис.20, а.

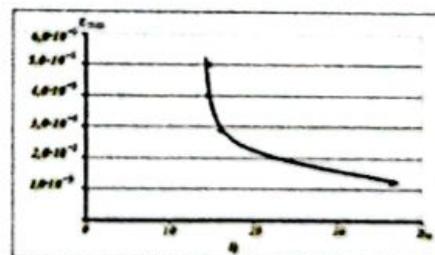
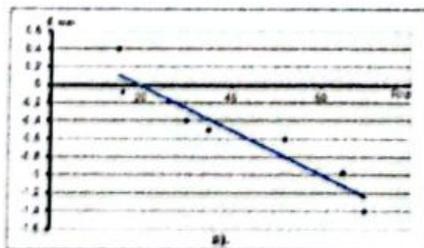


Рис.20. Зависимость логарифма упругой деформации грунта от приведенного расстояния (а) и зависимость максимального значения упругой деформации грунта от приведенного расстояния (б).

При этом приведенное расстояние изменяется в пределах 7,4-36,4 (основной пункт наблюдения). А на рис.20,б приведена зависимость упругой деформации среды от приведенного расстояния.

Известно, что декремент поглощения β связан коэффициентом поглощения α следующей зависимостью:

$$\beta = \alpha C_p T \quad (31)$$

На основе экспериментальных результатов для определения периода колебания частиц среды получено следующая зависимость:

$$T = 0,0142 k R^{0,33} C^{0,06}; (\text{сек}) \quad (32)$$

Учитывая последнего выражения, можно написать:

$$\beta = 14,2 * 10^{-3} k \alpha C_p R^{0,33} C^{0,06}; \quad (33)$$

где, C_p -скорость распространения волн для грунта экспериментальной площадки (м/сек); T -период сейсмических колебаний среды(сек), k -поправочный коэффициент ($M^{-0,33} \text{сек}^{0,94}$), R -эпицентральное расстояние(м.), C -вес ВВ(кг).

Здесь численные значения C_p и T определялись непосредственно из опытов.

Исследования показали, что декремент поглощения зависит от величины деформации среды, при деформациях превосходящих 10^{-6} - 10^{-7} . Ближняя зона характеризуется большими значениями деформации, при которых декремент поглощения уже не является постоянным ($\beta \neq const$). Видимый период колебаний также здесь является условным, по значениям переменным. Опыты показали, что на удаленных расстояниях наблюдается изменение характера затухания деформаций, а значения деформаций колеблются от 10^{-3} до 10^{-5} в зависимости от физико-механических характеристик среды [1, 40с.].

На больших расстояниях численное значение деформации становится не значительным и в этом случае данному процессу существенную влияние оказывает преломленные и отраженные волны, что осложняет различать собственное поглощение энергии волн от суммарных.

Используя формулу (33) можно вычислить для данного типа грунтов численное значение декремента поглощения β . На рис.21 приведена зависимость, полученная из натуральных экспериментов, декремента поглощения β от величины деформации грунта.

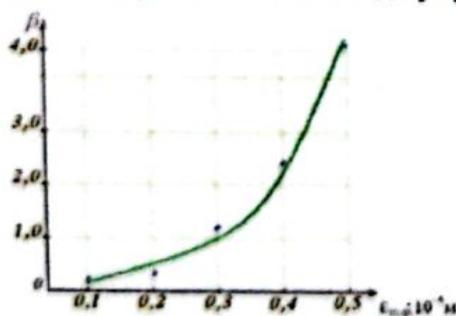


Рис.21. Зависимость между декрементом поглощения β от деформаций грунтовой среды экспериментальной площадки ϵ_{max}

Таким образом, был определен коэффициент поглощения α на основе экспериментально полученных данных в натуре как основного показателя затухания волновых составляющих, имеющие важное практическое значение. Кроме того, определение этих коэффициентов играет важную роль при общем анализе волновой картины, уточнении различия между действием поглощения и действием рассеяния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по данной докторской диссертации (DSc) на тему «Натурно-полевые экспериментальные исследования сейсмозрывных волн и их воздействий на подземные сооружения» представлены следующие выводы.

1. Разработана методика, позволяющая определить сеймонапряженные состояния и степень безопасности подземных сооружений, основанную на информационной базе накопленных результатов натурных экспериментальных исследований. Данную методику можно использовать при генерировании сейсмических полей подземных взрывов, обобщении информации, непосредственно измеренных кинематических и динамических параметров, динамического давления, а также определение относительного колебания динамической системы «грунт-сооружение».

2. Анализ результатов записей осциллограмм в трех взаимно-перпендикулярных направлениях показал, что каждое составляющее достигает своего максимума в разное время процесса нестационарных колебаний. Установлено, что время нарастания максимума перемещения подземного сооружения в осциллограмме по значению не соответствует времени нарастания максимума грунтовой среды, окружающего подземное сооружение.

3. Разработаны алгоритм и программа теоретического исследования распространения сейсмозрывных волн на упругом полупространстве и их действие на подземные цилиндрические сооружения. Определена закономерность зависимости между параметрами сейсмозрывных волн и глубины взрыва, их взаимодействие с дифракционными и отраженными волнами, а также с подземными цилиндрическими сооружениями.

4. Сопоставление результатов теоретических исследований и натурно-полевых экспериментов показывает удовлетворительное совпадение, относительные ошибки при этом составляют 30%-50% (среднее значение относительной ошибки около 40%).

5. В результате математической обработки экспериментально полученных данных выявлена зависимость для максимального значения амплитуды скорости колебательного движения частиц среды от приведенного расстояния для региона с грунтами II категории. Это позволит определения зависимости амплитуды колебания частиц среды от частоты. На основании данной зависимости была определена зависимость «смещение-частота» для данного геологического условия.

6. Впервые, энергетически оценено динамическое состояние подземных тонкостенных цилиндрических сооружений, находящихся в сейсмическом поле, возникающее от сейсмозрывных волн. С энергетической точки зрения изучен совместный колебательный процесс системы «грунт-сооружение». Разработана методика определения численного значения коэффициента «редуцирования» колебательной энергии для динамической системы «Грунт-сооружение».

7. Энергетическая оценка динамического состояния системы "грунт-сооружение" показала, что при передаче колебаний от грунта к сооружению интенсивность колебаний экспоненциально уменьшается. При этом замечается неадекватность передачи колебательной энергии от грунта к сооружению.

8. Результаты, полученные по данной методике, наиболее полно отражают процесс взаимодействия подземного сооружения и грунта. Исследования показывают, что в этих случаях НДС сооружений является результатом суммарного действия прямых и отраженных от границы раздела полупространства энергии волн. При этом определено, что участие первых волн заключается в создании в разрушаемой среде определенного предразрушения её по имеющимся микро- и макротрещинам, которое в последующем под действием вторичных волн может дойти до разрушения конструкции.

9. На основе экспериментально полученных данных в натуральных условиях, был определено численное значение коэффициента поглощения α . Оценено численное значение коэффициента поглощения среды β для данной грунтовой среды. Численные значения β лежат в диапазоне 0,15-4,1, а для вычисления коэффициента поглощения среды β получена эмпирическая зависимость в виде: $\beta = 14,2 * 10^{-3} k \alpha C_p R^{0,33} C^{0,06}$; Это обстоятельство приводит к тому, что при прохождении через среды силовые потоки трансформируются в результате интерференционных, дифракционных процессов и фильтрации энергонесущего сигнала, описание которого невозможно теоретическими методами.

10. Для изучения влияния различных форм рельефа местности на интенсивность сейсмических колебаний проведены инструментальные исследования при промышленных взрывах в Джумуртауском и Каратауском карьерах, состоящих из приблизительно равнинной местности с расположенным на ней холмом и двух ступенчатых террас. Как показывают полученные записи и произведенные расчеты, интенсивность колебания грунта при прохождении сейсмозрывных волн по высоте холма, а также у борта карьера увеличивается. По инструментальным данным интенсивность сотрясения на вершине горы, относительно основания превышает примерно на 1 балл.

С учетом данного важного обстоятельства для определения предельно допустимой массы получены формулы, откуда вычисляются максимальные размеры безопасного расстояния.

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03 / 27.02.2021.FM.101.02
AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT
BUKHARA ENGINEERING AND TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

URGENCH STATE UNIVERSITY

RAXMONOV BAXODIR SOBIROVICH

**FIELD EXPERIMENTAL STUDIES OF SEISMIC WAVES AND THEIR
IMPACT ON UNDERGROUND STRUCTURES**

01.02.04 – Mechanics of a deformable solid

DISSERTATION OF DOCTOR OF (DSc) TECHNICAL SCIENCES

Bukhara - 2022

The theme of the dissertation of the doctor of technical sciences (DSc) is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.1.DSc/FM189

The dissertation was completed at the Urgench State University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of Scientific Council (bmti_info@edu.uz) and on the information-educational portal "ZiyoNet" at the address (www.ziynet.uz)

Scientific consultant: **Safarov Ismoll Ibromilmovich**
Doctor of Physical and mathematical sciences, professor

Official opponents: **Ismayilov Kubaymurat**
Doctor of Technical Sciences, professor

Mavlonov Tulqin
Doctor of Technical Sciences, professor

Mirzayev Ibraxim
Doctor of Physical and mathematical sciences, professor

Leading organization: **Namangan Civil Engineering Institute**

The defense will take place in «27» august 2022 at «10:00» o'clock at a meeting of the scientific council PhD.03/ 27.02.2021.FM.101.02 at the Bukhara Engineering and Technological Institute at the address: Bukhara region, 200100, Bukhara, st. K. Murtazaev, 15. Tel.: (+99865) 223-78-84; fax: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz.

The thesis is registered in the Information Resource Center of the Bukhara Engineering and Technological Institute under No. 379, which can be found in the IRC (Address: Bukhara region, 200100, Bukhara, K. Murtazaev str., 15. Tel.: (+99865) 223 -78-84).

Abstract of dissertation sent out on "6" august 2022 year.

(mailing report №. 1 on "5" august 2022 year.)



M.Kh. Tshaev
Chairman of Scientific of the One-time Council for awarding degrees, Doctor of Physics and Mathematics Sciences (DSc)

Z.I. Boltayev
Chairman of Scientific of the One-time Council for awarding degrees, Doctor of Physics and Mathematics Sciences (DSc)

M.Z. Sharipov
Chairman of Scientific Seminar at the Scientific of the One-time Council for awarding degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (DSc)

INTRODUCTION (abstract for the dissertation of Doctor and Sciences (DSc))

Relevance of the topic of the dissertation. Every year in our country and abroad, the volume of construction of underground structures for various purposes is increasing, which is necessary for the development of industry, underground transport and other special sectors of the national economy and defense of our Republic.

Until now, experiments on the study of the seismic stress state of underground structures in natural conditions have been carried out in small numbers, and the method of carrying out field experiments has not yet been developed.

Estimates of these criteria can be obtained as a result of field experimental studies, using the energy of underground explosions, which most fully reflect the actions of tectonic earthquakes.

Today, much attention in the world is paid to the study of the stress-strain state of underground structures under the action of seismic explosive waves.

In our country, we focus on the implementation and effective use of modern, highly efficient, resource-saving equipment and technologies. The Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017 - 2021 defines the tasks aimed at "... increasing the competitiveness of the national economy, modernizing and intensive development of agriculture, ... complex and balanced socio-economic development of regions, districts and cities, active involvement foreign investment in economic sectors and regions of the country by improving the investment climate". These tasks include the development of the theory of seismic resistance of underground structures, which cannot be carried out without field experimental studies.

Correspondence of the research to the priority directions of development of science and technology of the Republic. The study was carried out in accordance with the priority direction of the development of science and technology of the Republic of Uzbekistan IV: "Mathematics, mechanics, seismic dynamics of structures and informatics."

Review of foreign scientific research on the topic of the dissertation. The development of scientific research on earthquake-resistant construction is currently uneven. Theoretical research is ahead of experimental research in terms of the rate of development. But the results of theoretical research, which are carried out on a large scale, cannot be introduced into the practice of design and construction without proper approbation, as well as without high-quality experimental verification.

In the 60s, in the former Soviet Union and other countries (Japan, USA), an extensive experimental study of the behavior of underground pipelines under seismic, explosive and other influences was begun. Studies of the impact of blast waves on underground pipelines were carried out by the Schmidt Institute of Physics and Technology of the Russian Academy of Sciences, VNIIST, the Chelyabinsk Polytechnic Institute VNII VODGEO, the Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of Uzbekistan,

MGSU (MISS), the Institute of Physics and Mechanics of Rocks of the Academy of Sciences of Kyrgyzstan, Frunze Polytechnic Institute, etc.

In recent years, in all countries, there has been a certain stagnation in field experimental research with the use of underground explosions. Stagnation in applied experimental work makes it expedient to thoroughly process, analyze and systematize the previously accumulated experimental material, which, as it was repeatedly noted at international symposia, was subjected only to surface treatment.

At present, theoretical research is ahead of experimental research in terms of the rate of development. But the results of theoretical research, which are carried out on a large scale, cannot be introduced into the practice of design and construction without proper approbation, as well as without high-quality experimental verification.

Due to the high cost of the scientific world in the current research studies of stress-strain state of underground structures under natural conditions using seismic action blasts are barely underway. At this stage of the development of the dynamics of structures, large-scale research systems with the implementation of the approbation of theoretical research using "numerical" experiments in a computer. These studies will not lead to the desired scientific results.

The degree of study of the problem.

Industrial explosions of high power, produced since 1935, have shown that the seismic effect of explosions causes very significant damage to engineering structures and residential buildings located in the dynamic field generated by underground explosions.

Therefore, studies of the seismic effect of underground explosions at this time were very relevant, and in this period, the study of the seismic effect of explosions gradually began to be systematic. Studies of the seismic effect of explosions have gained great importance and have emerged as an independent branch of engineering seismology.

In practice, an answer was needed to the following very urgent question: according to what laws do seismic-explosive waves propagate around the source and what is the attenuation of wave energy, etc.

On the other hand, field experimental studies of buildings began, where one of the most effective methods of testing for seismic resistance is seismic explosion. Academician of the Academy of Sciences of the ArmSSR A.G. Nazarov was the first to draw attention to the fundamental possibility of its modeling with the help of explosions. Using this method, it is possible to obtain a wave pattern of movements of various intensities for the ground, up to such strong ones that they will cause the destruction of buildings or structures. This allows seismic resistance tests to be carried out both in the linear and non-linear stages of the work of the material of structures. Thus, the behavior of buildings or structures is studied in conditions approaching real ones.

In the 60s, in the former Soviet Union and other countries (Japan, USA), an extensive experimental study of the behavior of underground pipelines under seismic, explosive and other influences was begun. Studies of the impact of blast

waves on underground pipelines were carried out by VNIIST, Chelyabinsk Polytechnic Institute VNII VODGEO, Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of Uzbekistan, MGSU (MISS), Institute of Physics and Mechanics of Rocks of the Academy of Sciences of Kyrgyzstan, Frunze Polytechnic Institute, etc.

In our Republic, experimental studies on the study of the seismic stress state of underground pipelines in natural conditions began to be carried out in the early 70s of the last

To study the dynamics of an underground pipeline, which has a complex node, using underground explosions, field experiments were carried out in 1973 in Chimkent. In these studies, on the part of the aforementioned scientists, a pipe in the form of crosses was tested, having a complex assembly and consisting of cast iron bell pipes. The length of the pipeline was 2.08 m, the wall thickness was 4 mm, the inner diameter was $D_B = 10$ cm. The pipeline was laid in a trench at a depth of about 1.3 m.

During the experiments, the kinematic parameters of the vibration of the ground and the pipe were measured under the action of seismic explosive waves, as well as the longitudinal and hoop stresses of the pipeline in two directions (X.Y).

Since, full-scale field experiments in this formulation were carried out for the first time and this circumstance required from the experimenters: thorough technical preparation, the study of the experimental research carried out, close in the scientific direction; personal communication with leading experimenters of the country, the use of powerful specialized automatic information processing complexes, etc. Currently, there is no systematic research in the field of field studies.

Connection of dissertation research with plans for research work. The dissertation work was carried out in accordance with the plans of research work.

The purpose and objectives of the research. Essentially, two goals were set for this work, the first development and approbation of the methodology (integrated method) for researching the stress-strain state of underground structures such as cylindrical shells subject to kinematic excitation from elastic waves propagating in the soil from underground explosions, based on the statistical analysis of the results of field experiments generated by underground explosions. And the second is with obtaining real data in natural conditions during seismic vibrations and the interaction of such structures with the surrounding soil environment.

For this, the following tasks were solved:

- estimated, qualitatively and quantitatively, experimentally obtained parameters of stochastic dynamic fields generated in a soil environment by underground explosions;

- revealed features of the behavior of underground cylindrical structures under seismic and explosive effects;

- developed and implemented the fundamentals of the methodology for conducting experiments and measuring the parameters that determine the seismic stress state of underground structures under seismic and explosive effects;
- the results of the experiments were compared with the results of other scientists.

The object of research is an underground cylindrical thin-walled structure, and other objects that are under seismic-explosive effects, as well as the soil where seismic-explosive waves propagate.

The research subject is:

- soil vibrations in space when seismic-explosive waves pass through it;
- vibrations, i.e. stress-strain state of underground thin-walled cylindrical structures in space and other objects interacting with the ground;
- seismic action of industrial short-delayed explosions, areas in which are complex reliefs.

Research methods. In this scientific qualification work, complex methods of experimental dynamics are applied.

From a physical point of view, the developed methodology is based on a "hybrid" approach, which consists of the sum of seismometric and tensometric approaches. These parts of this "hybrid" approach complement each other, and at the same time a wider range of research opens up before the experimenter, which is very important in experimental studies of the seismic resistance of underground spatial thin-walled structures.

The experimental research method included the following:

- seismic-tensometric measurements of the parameters of soil vibrations and underground structures according to an evolutionary developing method using the same type of measuring equipment;
- engineering analysis of the experimentally obtained results, carried out in natural conditions, using the energetic interpretation of the process of interaction of the structure with the soil;
- approbation of this technique in studies of the seismic action of industrial explosions;

Using this technique, for the first time, numerous field experiments were carried out in order to study the physical nature of the interaction of an underground structure, such as a thin-walled cylindrical shell with the ground, focusing on the spatial nature of the structure.

The reliability of the experimentally obtained results is provided by:

- Use of proven under actual field conditions in Kambaratinsk, Jumurau and Karatau quarries, techniques of investigations generated industrial explosions and experimental behavior and dynamic fields are arranged in the studied objects;
- the closed nature of the complex of tasks being solved;
- comparison of the experimentally obtained scientific results obtained in the study of objects (structures) -analogues;
- high reliability of the information arrays used in the dissertation work;

- positive results of the application of the main conclusions and provisions of work in contractual work with solid (authoritative) organizations;

The scientific novelty of the obtained scientific results is as follows:

- a technique has been created and its ideas have been implemented in carrying out field experiments and measuring parameters that determine the seismic stress state of underground structures under seismic and explosive effects;

- for the first time, the features of the behavior of underground thin-walled spatial cylindrical structures under seismic and explosive effects have been determined;

-determined the parameters of the interaction of an underground thin-walled structure, taking into account the spatial nature of the process;

- a numerical estimate of the transformation of vibration energy parameters during its transition from a soil medium to an underground thin-walled spatial structure has been obtained;

- for the soils of the Namangan region, Jumurtau and Karatu stone quarries, empirical dependences were obtained to determine the amplitude of displacement from the weight of the explosive charge;

-energy interpretation of the joint vibration of an underground thin-walled structure with the ground, as well as their interaction;

The practical value of the work lies in solving an important scientific and technical problem of methodological support of experimental research to study the behavior of underground thin-walled spatial structures.

The results obtained and the accumulated experimental material have found application:

- in scientific support of the needs of industry in assessing the permissible levels of dynamics of protected objects from seismic and explosive effects generated by industrial explosions in Jumurtau, Karatau stone quarries;

- in the scientific provision of the needs of commercial works by order of closed enterprises.

The paper presents the following main results submitted for defense:

1. A new experimental approach has been developed and implemented to determine the seismic stress state of underground structures such as thin-walled shells under the action of seismic-explosive loads, including: options for analytical and approximate methods for engineering calculations of shells interacting with the soil, taking into account various ways of specifying arbitrarily directed seismic effects and the deformability of the structure itself in space; methods of obtaining sufficiently accurate and simple linear expressions for models of interaction of structures with soil and experimental determination of interaction coefficients in space.

2. For the first time, a methodology was developed and a series of experimental studies was carried out to study seismic and explosive effects of

various power and distance on structural elements of underground shells in large-scale, natural conditions.

Based on the results of the experiments, the components of the parameters of the interaction of the structure with the ground in space, the speed of wave propagation in the ground and other kinematic and dynamic parameters of the structure and the ground were determined. The presence of a relative displacement of the shell and soil in all three directions in space is shown. The intensity of the action of seismic and explosive loads has been determined. On the basis of generalization of numerous experimental data, empirical dependences are proposed: for longitudinal displacement and vibration velocity in the soil; to determine the kinematic parameters of vibrations in the ground and in an underground cylindrical structure.

3. For the first time, an energetic approach to the process of interaction between an underground structure and the ground is presented, and also from an energetic point of view, the process of ground vibration during the passage of seismic-explosive waves through it is analyzed. In order to study the energy dissipation of the seismic-explosive field, the degree of attenuation of the energy of seismic vibrations of the medium from the point of explosion to the point of observation was determined.

Implementation of research results.

On the basis of the obtained results of the development of the theory and the development of methods, algorithms and programs for calculating vibrations of dissipative mechanical systems formed from solids:

Approbation of research results. The results of this study were discussed at the seminars of the Urgench State University, the Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, were reported at 18 international and 14 republican scientific and practical conferences.

The structure and scope of the thesis. The dissertation work consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of cited literature, annexes, 200 pages of the main text, including 68 figures and 19 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Раҳмонов Б.С., Сағдиев Х., Тешабаев З.Р., Юнусалиев Э.М. Сейсмический эффект промышленных взрывов с учетом рельефа местности// Научно-технический журнал ФерПИ. –Фергана. –2017. –№3. –С. 57-63 (05.00.00; №20)
2. Раҳмонов Б.С., Тишабаев З.Р., Юнусалиев Э.М. К вопросу редуцирования энергии в системе “грунт-сооружение” при сейсмозрывных воздействиях// Фаргона политехника институти илмий-техника журнали. –Фаргона. –2018. –Том 22. –№2. 47-51б. (05.00.00; №20).
3. Rakhmanov B.S., Kulmurotov, N. R., Ishmamatov, M. R. Изучение совместного колебания грунта и подземного цилиндрического сооружения открытого профиля при сейсмозрывных воздействиях// Clarivate Analytics. International Scientific Journal ISJ Theoretical & Applied Science Philadelphia. – USA issue 05, volume 85 published May 30. –2020.–Philadelphia, USA. –P.105-112 (IF 6,630)
4. Teshayev M.Kh., Safarov I. I., Sagdiyev H.S., Rakhmanov B.S. Theoretical and experimental studies of dynamic behavior of underground cylindrical structures under the influence of seismic explosion waves// Journal of Xi'an University of Architecture & Technology. – Volume XII. – Issue VII. – 2020. – P.15-39. (IF 3,7)
5. Сағдиев Х.К., Сафаров И.И., Раҳмонов Б.С. Изучение совместного колебания подземного сооружения с грунтом при сейсмозрывных воздействиях //Scientific-technical journal. STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, –2020, Т.24, –№3 175-178б. (05.00.00, №20)
6. Сағдиев Х.К., Сафаров И.И., Раҳмонов Б.С. Теоретико-экспериментальное исследование поперечного колебания подземного сооружения при сейсмозрывных воздействиях// Архитектура. Строительство. Дизайн. Научно-практический журнал. –2020. –№1 –С.209-212 (05.00.00, №4)
7. Раҳмонов Б.С., Сағдиев Х.С., Сафаров И.И., Юнусалиев Э.М. Сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирдан юпка деворли ер ости цилиндрик қобикларида вужудга келадиган сейсмик-зўриққанлик ҳолатини табиий тадқиқот қилиш//Scientific-technical journal STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, –2020. Т.24, –№2. 78-83б. (05.00.00; №20)
8. Раҳмонов Б.С., Сағдиев Х.С., Сафаров И.И., Юнусалиев Э.М. Сейсмик-портлаш тўлқинлари таъсирдан грунт зарралари тебраниш энергиясини тажрибавий аниқлаш ва унинг энергетик хусусиятлари таҳлили// Scientific-technical journal STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, –2020. – Т.24, №3. 175-178б. (05.00.00, №20)

9. Kuldoshev, N. U., Ishmamatov, M. R., Rakhmanov, B. S., Axmedov, N. B. Natural experimental research of the behavior of underground enclosed constructions exposed to seismic explosives. Part1. Method of experimental studies of dynamic behavior of underground pipeline designs under the influence of seismic explosion waves// ISJ Theoretical & Applied Science, 09 (77), 1-6. Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-77-1>. Doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS>
Published: 09.09.2019 <http://T-Science.org> (IF 6,630).

10. Kuldoshev, N. U., Rakhmanov, B. S., Ishmamatov, M. R., Xalilov, Sh. F. Natural experimental studies of the behavior of underground shell constructions under the influence of seismic explosion waves. Part 2. Method of experimental studies of dynamic behavior of underground pipeline designs under the influence of seismic explosion waves.// ISJ Theoretical & Applied Science, 09 (77), 67-76. Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-77-14> Published: 17.09.2019 <http://T-Science.org> (IF 6,630).

11. Rakhmanov, B. S., Ishmamatov, M. R. Study of joint vibration of soil and underground cylindrical structure of open profile under seismic explosion influence//(2020). ISJ Theoretical & Applied Science, 05 (85), 105-112. Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-05-85-22> Doi: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS> Scopus ASCC: 2200. (IF 6,630).

12. Сагдиев Х.С., РахмоновБ.С. Расчет круглых монолитных тоннелей на сейсмические воздействия// Механика муаммолари, –№5 –Тошкент. – 2001. (05.00.00; №6).

13. РахмоновБ.С., Сагдиев Х.С. О воздействии сейсмозрывных волн на подземное тонкостенное сооружение//Механика муаммолари, –№5. – Тошкент. —2001. (05.00.00; №6).

14. РахмоновБ.С., Сагдиев Х.,Тешабоев З.,Сиддиков М.Х. Прогнозирование размеров опасных зон сейсмического действия подземных взрывов на Джумуртауском каменном карьере// Вестник N3(186). КК О АН Узб. –С.42-44 —2003. (05.00.00; №19).

15. РахмоновБ.С., Сиддиков М.Х. Оценка интенсивности сотрясения при подземных взрывах // Вестник N4(187), КК О АН Узб. –2003. -С. 27-29 (05.00.00; №19).

16. РахмоновБ.С. Определение коэффициента поглощения грунтовой среды в натуральных условиях// Механика муаммолари. –Тошкент. –2007. – №3. – С.41-44 (05.00.00; №6).

17. РахмоновБ.С., Сагдиев Х.К Экспериментальное исследование поперечного колебания подземного сооружения при сейсмозрывных воздействиях // Механика муаммолари. –Тошкент. –2007. –№3. –С. 79-81 (05.00.00; №6).

18. РахмоновБ.С. Спектр сейсмозрывных волн, распространяющихся при подземных взрывах//Проблемы механики. –2008. –№ 2-3. –С. 34-37 (05.00.00; №6).

19. Rakhmanov B.S. The engineering analisis of constructive particularity of the minaret Islam Khodja// Вестник Туринского политехнического

университета в городе Ташкенте. выпуск 6/2016. –Ташкент. –2016. –С.36-42 (05.00.00; №25).

II бўлим (II часть; II part)

20. А.Марасулов, И.И.Сафаров,Рахмонов Б.С. Г.А.Абдраимова, А.С.Тулуп Теоретико-экспериментальное исследование колебания подземного сооружения при действиях сейсмозрывных волн// Вестник КазНИТУ, –№3, –2020.

21. Марасулов А, Сафаров И.И.,Рахмонов Б.С.Исследование напряженно-деформированного состояния подземных вертикальных цилиндрических сооружений при динамических воздействиях// Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің хабарлары (математика, физика, информатика сериясы). –№ 4(11). – 2019. –С. 41-48

22. I.I.Safarov, B.S.Rakhmanov, F.F.Homidov, Sh.N.Almuratov. Seismic vibrations of complex relief of the surface of the naryn canyon (on the Norin river in Kyrgyzstan) during large-scale underground Explosions.// First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials Journal of Physics: Conference Series 1706 (2020) 012125 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1706/1/012125

23. Рахмонов Б.С. Изучение механизма передачи энергии сейсмозрывных волн при совместном колебаний грунта подземных конструкции//«Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении». (Международный сборник научных трудов).–Новосибирск. –2005. –С.151-154

24. Рахмонов Б.С. К вопросу прогнозирования поведения подземного сооружения при действиях сейсмозрывных волн// Международный сборник научных трудов «Материалы и изделия для ремонта и строительства» (Новосибирский Государственный Аграрный Университет).–Новосибирск. – 2006. –С.149-152

25. Рахмонов Б.С. Некоторые результаты исследования взаимодействия подземного тонкостенного сооружения с грунтом при сейсмозрывных воздействиях//Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики». –Ташкент, 23-24сентябрь. –2009. – С.447-452

26. Сагдиев Х.С., Рахмонов Б.С., Фасахов В.Г. Экспериментальное исследование колебания подземных сооружений и грунта при сейсмозрывных воздействиях// Материалы международной научно-технической конференции «Современные техника и технология горно-металлургической отрасли и пути их развития», –Навои, 12-14мая. –2010. – С.44-45

27. Rakhmanov B.S. Sagdiyev Kh., Fasaxov V. Experimental study of joint work ground construction of think – wolloed with underground seismic explosive method// Materials Innternational conference on. Complexity in eathquake dynamics. From nonlinearity to earthquake prediction and seismic stability January 25-26. –2012. –Toshkent. Uzbekistan. –P.22-23

28. Rakhmanov B.S. Study of behavior of underground casing construction by seismobursting method// Materials International conference on. Complexity in earthquake dynamics. From nonlinearity to earthquake prediction and seismic stability January 25-26.-2012. -Toshkent, Uzbekistan. -С.142-151

29. Sagdiev H.K. Rakhmanov B.S. Fasahov V.G. Experimental study of joint work ground construction of thin-walled with underground seismic explosive method// COMPIEXITE IN EARTHQUAKE DYNAMICS:FROM NONLINERITY TO EARTHQUAKE PREDICTION AND SEISMIC STABILITY. January 25-26. -2012. -Tashkent. Uzbekistan.-P.23-24

30. Rakhmanov B.S. On the field study of energy dissipation fluctuations of seismic waves underground explosions// COMPIEXITE IN EARTHQUAKE DYNAMICS:FROM NONLINERITY TO EARTHQUAKE PREDICTION AND SEISMIC STABILITY. January 25-26, -Tashkent, Uzbekistan. -2012. -P.24-26

31. Сагдиев Х.С., Рахмонов Б.С., Фасахов В.Г. Экспериментальное исследование взаимодействия подземного тонкостенного сооружения с грунтом при сейсмозрывных воздействиях// Материалы международной научно-технической конференции «Современные проблемы механики грунтов и сложных реологических систем», книга 2. -Самарканд. -2013, 19-20 апреля. -С. 239-241

32. Рахмонов Б.С. Изучение поведения подземных трубопроводов при действии сейсмозрывных волн// Материалы "Шестидесят шестой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов аспирантов высших учебных заведений с международным участием", -Ярославль. -2013. -С. 167-169

33. Rakhmanov B.S. Full- scale test study of the behaviour underground shell buildings by the method of seismic explosion// Материалы VIII-Международной научно-технической конференции горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития. -Навои, Узбекистан. -2015, 19-21ноября. -С. 84

34. Рахмонов Б.С.Сагдиев Х.К., Тешабаев З.Р.Жуманиёзов Р. Энергетическая оценка взаимодействия грунта и подземного сооружения при сейсмозрывных воздействиях// Материалы VIII-Международной научно-технической конференции горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития. -Навои. Узбекистан. -2015, 19-21ноября. -С.83

35. Рахмонов Б.С.,Сагдиев Х.К.,Тешабаев З.Р.,Жуманиёзов Р. Исследование промышленных взрывов в каратауском каменном карьере для оценки сейсмической опасности зданий//Материалы VIII-Международной научно-технической конференции горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития. -Навои, Узбекистан. -2015, 19-21ноября. -С.64-65

36. Рахмонов Б.С., Сагдиев Х.К.,Тешабаев З.Р.Колебания подземного цилиндрического сооружения сейсмическом поле при сейсмозрывных воздействиях//Материалы VIII-Международной научно-технической конференции горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и

современные тенденции развития. –Навои, Узбекистан. –2015, 19-21ноября. – С. 85

37. Рахмонов Б.С., Сагдиев Х.К., Тешабаев З.Р. Редуцирование колебательной энергии в динамической системе “грунт-сооружение” при сейсмозрывных воздействиях//“Архитектура ва қурилиш соҳаларида инновацион технологияларни қўллаш истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий-техник конференция материаллари. 1-китоб, 27-28 май. –Самарқанд. –2016. –С.179-181

38. Сагдиев Х.К., Рахмонов Б.С., Узаков Т.У. Экспериментальное исследование поперечного колебания подземного сооружения в натуре сейсмозрывным методом// Сборник материалов международной научной и научно-технической конференции на тему “ Вопросы устойчивого развития архитектуры и городского строительства в приаральском регионе”. –Нукус, 20-21 июнь. –2019. –С. 73-76

39. Сагдиев Х.К.,Рахмонов Б.С.,Узаков Т.У.Энергетическая оценка сеймонапряженного состояния подземного сооружения при сейсмозрывных воздействиях// Сборник материалов международной научной и научно-технической конференции на тему “ Вопросы устойчивого развития архитектуры и городского строительства в приаральском регионе”. –Нукус, 20-21 июнь. –2019. –С.70-72

40. Ахмедов М.Ш., Сафаров И.И., Рахмонов Б.С. Тешаев М.Х. Натурное исследование поведения подземного цилиндрического сооружения при действиях сейсмозрывных волн// Материалы ххvi международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А.Г. Горшкова Вятчи, 16 – 20 марта. –2020. –Москва. – Том 2. –С.13-15

Автореферат “Дурдона” наприётида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек,
рус ва инглиз тилларидаги матнларнинг мослиги текширилди.



Босишга рухсат этилди: 05.08.2022 йил. Бичими 60x84 1/16 ,
«Times New Roman» гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 4. Адади: 100 нусха. Буюртма № 161.
Гувоҳнома АИ №178. 08.12.2010.

“Садриддин Салим Бухорий” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.
Бухоро шаҳри, М.Иқбол кўчаси, 11-уй. Тел.: 65 221-26-45