

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSC.03/30.12.2019.Т.10.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ  
БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТОШМАТОВ ЭЛЁР СОБИРОВИЧ**

**АСОСНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА ГРУНТЛИ ТЎҒОНЛАРНИНГ  
КУЧЛАНГАНЛИК-ДЕФОРМАЦИЯ ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ**

05.09.06 – Гидротехника ва мелиорация қурилиши,  
01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

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

**Тошкент–2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора  
философии (PhD) по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of  
philosophy (PhD) on technical sciences**

**Тошматов Элёр Собирович**

Асосни ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформация ҳолатини баҳолаш ..... 3

**Тошматов Элёр Собирович**

Оценка напряженно-деформируемого состояния грунтовых плотин с учетом основания ..... 23

**Toshmatov Elyor Sobirovich**

Assessment of the stress-strain state of earth dams taking into account their foundations..... 41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 44

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ УЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSC.03/30.12.2019.Т.10.02 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ АСОСИДАГИ БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

**ТОШМАТОВ ЭЛЁР СОБИРОВИЧ**

**АСОСНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА ГРУНТЛИ ТЎҒОНЛАРНИНГ  
КУЧЛАНГАНЛИК-ДЕФОРМАЦИЯ ҲОЛАТИНИ БАҲОЛАШ**

05.09.06 – Гидротехника ва мелиорация қурилиши,  
01.02.04 – Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси

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

**Тошкент–2021**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.4.PhD/T2012 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбарлар:**

**Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович**  
ЎзР ФА академиги, техника фанлари доктори,  
профессор

**Султанов Тахиржон Закирович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Янгиев Асрор Абдихамидович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Маткаримов Пахридин Жураевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**Тошкент архитектура-қурилиш институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги DSc. 03/30.12.2019..Т.10.02 рақамли илмий кенгаш асосидаги бир марталик илмий кенгашнинг 2021 йил «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100000, Тошкент, Қори-Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел./факс: тел.:(99871) 237-22-67, факс: (99871)237-54-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz))

Диссертация билан Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_\_\_ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент, Қори-Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел./факс: тел.:(99871) 237-19-45, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)

Диссертация автореферати 2021 йил «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ да тарқатилди.

(2021 йил «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги № \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**М.Р.Бакиев**

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

**Ф.А.Гаппаров**

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д.

**А.М.Арифжанов**

Илмий даражалар берувчи бир марталик илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## Кириш (фалсафа доктори PhD диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Жаҳонда қурилган 800 мингдан ортиқ сув омборларидан энергетика ва ирригация мақсадларида фойдаланиб келинади. Шунинг учун сув омборларининг грунтли тўғонларини мустаҳкамлиги ва устуворлигини таъминлашда юқори самарали муҳандислик ечимларидан фойдаланиш гидротехника қурилиши соҳасида муҳим ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида грунтли тўғонларнинг мустаҳкамликка ва зилзилабардошликка чидамлилигини баҳолашнинг такомиллашган усуллари кўллаш ҳозирги кунда амалиётга жорий этишни тақозо этади. Шу жиҳатдан, сув омборлари грунтли тўғонларининг заминдаги асос қисми билан биргаликдаги мустаҳкамлигини баҳолашда иншоотнинг ҳақиқий геометрияси, бир жинссизлиги ва конструктив тузилиши, қурилиш жараёнида фойдаланиладиган грунт материалларининг физик-механик хусусиятларини ҳисобга олиш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади. Ривожланган давлатларда, жумладан Хитой, АҚШ, Италия, Россия ва бошқа давлатларда лойиҳаланаётган ва қурилаётган барча гидротехник иншоотларнинг ишончилиги ва зилзилабардошлигини таъминловчи услубларни ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Жаҳонда грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолашнинг илмий асосланган ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада грунтли тўғонларни лойиҳалашда иншоот асосини ҳисобга олган ҳолда кучланганлик-деформация ва динамик ҳолатларини баҳолаш усуллари ишлаб чиқиш, грунтли тўғонларни ҳисоблаш усуллари такомиллаштириш, грунтли гидротехника иншоотини асос билан биргаликда ягона система сифатида қараб, унга сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини, хусусий оғирлик ва ташқи динамик таъсирларни, ички диссипация ва энергиянинг иншоотдан тўлқин кўринишида чексиз грунтли асосга чиқиб кетишини ҳисобга олувчи баҳолашнинг янги услубларни ишлаб чиқиш ва уларни илмий асослашга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамызда грунтли тўғонларни барпо этишда уларнинг асосини ҳисобга олган ҳолда кучланганлик-деформация ҳолатини баҳолаш, грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлиги ва зилзилабардошлигини ошириш, сув омборидаги сувнинг грунтли тўғонларга гидростатик босими ва динамик таъсири ҳамда улар натижасида ҳосил бўладиган энергиянинг грунтли асосга ўтиши ва унинг таъсирида тўғонларнинг деформациясини аниқлашнинг янги услубларини ишлаб чиқиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилган. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...миллий иқтисодийнинг рақобатбардошлигини ошириш учун мелиорация ва ирригация объектларини ривожлантириш»<sup>1</sup> бўйича муҳим

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

вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларини амалга оширишда, жумладан, сув омборлари ва улардаги грунтли тўғонларнинг чидамлилиги ва ишончилигини таъминлаш мақсадида, уларнинг асоси билан биргаликдаги мустаҳкамлигини баҳолаш ва бунда иншоотнинг шакли, таркибининг хар хиллиги, қўлланилган материалларнинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда уларнинг мустаҳкамлигини баҳолаш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2017 йил 25 сентябрдаги ПҚ-3286-сон “Сув объектларини муҳофаза қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ва 2020 йил 30 июлдаги ПҚ-4794 сон “Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. “Математика, механика ва информатика”, VIII. “Ер фанлари (Геология, Геофизика, минерал хом ашёни сейсмология қайта ишлаш)” устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Грунтли иншоотларнинг мустаҳкамлигини, динамик ҳолатларини ва ишончилигини баҳолашга бағишланган илмий муаммолар қуйидаги олимлар илмий ишларида ўз аксини топган: К.С.Султанов, Б.Э.Хусанов, М.М.Мирсаидов, М.Р.Бакиев, Б.М.Мардонов, Т.Артыков, М. А. Ахмедов, О. Я Гловацкий, К.Д.Салямова, А.А.Янгиев, П.Ж. Маткаримов, Т.З.Султанов, Н.А.Анискин, А.С.Антонов, Ю.Б.Мгалобелов, А.В.Дейнеко, Е.Н.Беллендир, В.Б.Глаговским, З.Г.Тер-Мартirosян, Н. Д. Красник, Ю. К. Зарецкий, И. А. Константинов, В.Н.Ломбардо, И.С.Шейнин, С.Г.Шульман, Г.Л.Рубинштейн, В.С.Кузнецов, В.В.Москвитин, Б.Е.Победря, L.V.Zhang, Y.Wang, G.Wang, D.Q.Li, G.Beer, J. R.Booker, J. P.Carter, Wang Weibiao, K.Noeg, K.Nackler, P.Tschernutter, G.V.Baecher, J.T.Christian ва бошқалар.

Грунтларнинг ташқи кучлар таъсиридаги деформацияланиш жараёнлари назарий ва экспериментал текширишларга бағишланган илмий ишлар асосан қуйидаги олимлар томонидан бажарилган: К.С.Султанов, Х.З.Расулов, А.С.Хасанов, Н.А.Цытович, Х.А.Рахматулин, А.А.Ильюшен, А. Григорян, В.М. Ляхов, Н. Д. Красник, Ю. К. Зарецкий, И. А.Константинов, В.Н.Ломбардо, Б.Г.Коренева, С.С.Вялов, Э.Е.Хачиян, М.А.Колтунов, К.Р.Рам, Nakagawa Hajimi, Kawaike Kenji Baba, Yasiyuki, Zhang Hao, A.A.Balkema ва бошқа олимлар.

Мазкур тадқиқотлар натижасида грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолаш бўйича ишлаб чиқилган моделлар ва ҳисоблаш

усуллари гидротехника қурилишида муайян даражада ижобий натижаларга эришилган ҳолда қўлланилиб келинаётган бўлсада, аммо уларда динамик жараёнлар ва энергияни иншоотдан тўлқин кўринишида асос орқали чексизликка ўтказиб юбориш ҳолатларини ҳисобга олган ҳолда тадқиқотлар етарлича ўрганилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий ишлари режаси билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ ҚХФ-4-001-“Сув омбори грунтли иншоотларининг зилзилабардошлиги ва мустаҳкамлигининг назарий асосларини ишлаб чиқиш”, ҚХА-3-008-2015 “Сув билан ўзаро таъсиридаги грунтли гидротехника иншоотларининг мустаҳкамлигини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш”, ҚХ-А-ҚХ-2018-294 “Бир жинсли бўлмаган структурали гидротехника иншоотларни динамик мустаҳкамликка баҳолаш ва уларни назарий асосларини ишлаб чиқиш”, ФЗ-20200929327 “Грунтнинг намланганлик ва чизиксиз филтрацияни ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлик ишончилигини баҳолаш назарияси ва усулини ишлаб чиқиш” мавзуларидаги амалий ва фундаментал лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** грунтли тўғонларнинг асосини ҳисобга олган ҳолда кучланганлик-деформация ва динамик ҳолатлари ҳамда мустаҳкамликларини баҳолаш усулларини ишлаб чиқиш ва улар ёрдамида янги лойиҳаланаётган ва қурилиши режалаштирилган грунтли тўғонларнинг мустаҳкамликларини башорат қилишдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

статик ва динамик кучлар таъсирида грунтли тўғонларнинг асос билан биргаликдаги кучланганлик деформация ва динамик ҳолатлари, мустаҳкамлигини баҳолаш учун иншоотнинг конструктив бир жинссизлиги, реал геометрияси, сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда математик модель, ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари ва ЭХМ дастурларини ишлаб чиқиш;

Пском грунтли тўғонининг асоси билан биргаликдаги кучланганлик деформация ҳолатини баҳолаш учун тўғон асосининг чегара ўлчамларини аниқлаш;

Пском грунтли тўғонининг конструктив бир жинссизлиги, реал геометрияси ҳисобга олган ҳолда иншоотнинг асос билан биргаликда хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг гидростатик босими таъсирида кучланганлик деформация ҳолати ва мустаҳкамлигини баҳолаш;

иншоотнинг асос билан биргаликда ҳамда сув омборини сувсиз ва сув тўлдирилган ҳолатларида динамик жараёнларини аниқлаш, грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хоссаларини ҳисобга олиб ҳар хил кинематик таъсирлар натижасида иншоотнинг турғун мажбурий тебранишилари текшириш ва мустаҳкамлигини баҳолаш.

**Тадқиқот объекти** сифатида қурилиши режалаштирилган Пском сув омборининг грунтли тўғони олинган.

**Тадқиқот предмети** сув омборининг грунтли тўғони, унинг асоси, иншоотнинг конструктив тузилиши, қўлланиладиган грунт материалларининг физик – механик тавсифлари, кучланганлик деформация ва динамик ҳолатлари, мустаҳкамликни баҳолашнинг математик моделлари, ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари ва компьютерда ҳисоблаш дастурларини ташкил этади.

**Тадқиқот усуллари.** Турли кучлар таъсирида иншоотда асос билан биргаликда содир бўладиган жараёнларни ифодалаш учун деформацияланиш жараёнларини ифодаловчи механиканинг умумий қонуниятларидан, мумкин бўлган кўчиш принципларига асосланган математик моделлардан, чекли элементлар усулидан фойдаланиб вариацион тенгламаларнинг ечиш усулларида, комплекс коэффицентли бир жинсли ва бир жинсиз алгебраик тенгламалар системасини ечиш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

грунтли тўғонларнинг асоси билан биргаликда кучланганлик-деформация, динамик ҳолатлари ҳамда мустаҳкамликларини баҳолаш усули такомиллаштирилган;

грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ва мустаҳкамлиги тўғоннинг хусусий оғирлиги ва сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда баҳоланган;

гидростатик босим таъсирида грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда хусусий тебраниш частоталари ва шакллари аниқланган;

ҳар хил кинематик таъсирлар натижасида сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олиб тўғоннинг асос билан биргаликдаги турғун мажбурий тебранишлари асосида иншоотнинг кучланганлик ҳолати ва мустаҳкамлиги баҳоланиб, тўғонда хавфли кучланишлар пайдо бўладиган участкалар аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

сув омборлари грунтли тўғонларининг асоси билан биргаликда кучланганлик деформацияланиш, динамик ҳолатини ҳамда мустаҳкамлигини баҳолашнинг такомиллаштирилган ҳисоблаш усули ва алгоритми ишлаб чиқилган;

сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини ва тўғоннинг хусусий оғирлиги ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда кучланганлик-деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлиги баҳоланган;

гидростатик босимнинг таъсирини инобатга олиб грунтли тўғоннинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш ҳамда уларнинг мумкин бўлган тебраниш шакллари қуриш имкониятини берадиган ЭХМ дастури ишлаб чиқилган;

турли кинематик таъсирлар натижасида сув омборлари грунтли тўғонларининг асос билан биргаликдаги мажбурий тебранишлари, динамик

ҳолатлари ва мустаҳкамлигини грунтнинг қовушқоқ эластиклик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш усули ва ЭҲМ дастури ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги такомиллаштирилган математик моделнинг адекватлиги, ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари, алгоритмлар ва ЭҲМ дастурларининг ишончлилиги ва аниқлиги бир қатор аниқ аналитик ечимга эга бўлган тест масалаларининг ечимлари билан таққослаш орқали исботланиб, юқори аниқликда натижа бериши тасдиқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қурилиши лойиҳаланаётган грунтли тўғонларнинг асосини инobatга олган ҳолда уларнинг кучланганлик деформацияланиш, динамик ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолаш учун иншоотнинг конструктив бир жинссизлигини ва сув омборининг гидростатик босимини, грунтни қовушқоқ-эластик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш учун такомиллаштирилган математик модель, ҳисоблаш усули ва алгоритминини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти келгусида қуриладиган грунтли тўғонларнинг реал геометрияси, конструктив бир жинссизлигини, грунтни ҳар хил хоссаларини ва асосини ҳисобга олган ҳолда статик ва динамик кучлар таъсирида тўғонни кучланганлик деформацияланиш, динамик ҳолатлари ва мустаҳкамлигини ҳисоблаш учун янги алгоритмлар ва ЭҲМ дастурларини ишлаб чиқилганлиги ва олинган янги натижаларни лойиҳалаш жараёнларида қўллаш имкониятларини пайдо бўлганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Асосини ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформация ҳолатини баҳолаш бўйича олинган натижалар асосида:

грунтли тўғонларнинг асосини ҳисобга олган ҳолда кучланганлик деформацияланиш ҳолатларини баҳолашнинг ҳисоблаш усули «Сувлойиҳа» давлат унитар корхонасида жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2442-сон маълумотномаси). Натижада, грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари, мустаҳкамлигини баҳолаш имконияти яратилган;

грунтли тўғонларнинг асосини ҳисобга олган ҳолда динамик ҳолатларини баҳолашнинг математик модели, ҳисоблаш усули янги лойиҳаланаётган Пском сув омбори грунтли тўғони учун «Гидропроект» акциядорлик жамиятида жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2442-сон маълумотномаси). Натижада, Пском сув омбори грунтли тўғони мустаҳкамлигини баҳолаш имконини беради;

грунтли тўғоннинг асосини ҳисобга олмаган ва олган ҳолда хусусий тебраниш частотаси аниқлаш, тебраниш шакллари «Water house project» масъулияти чекланган жамиятда жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2021 йил 24 августдаги 03/27-2442-сон маълумотномаси).

Натижада, фойдаланилаётган сув омборлари грунтли тўғонларининг мустаҳкамлигини баҳолаш имконияти яратилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.**

Тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.**

Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 3 таси республика ва 4 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертациянинг таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 125 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

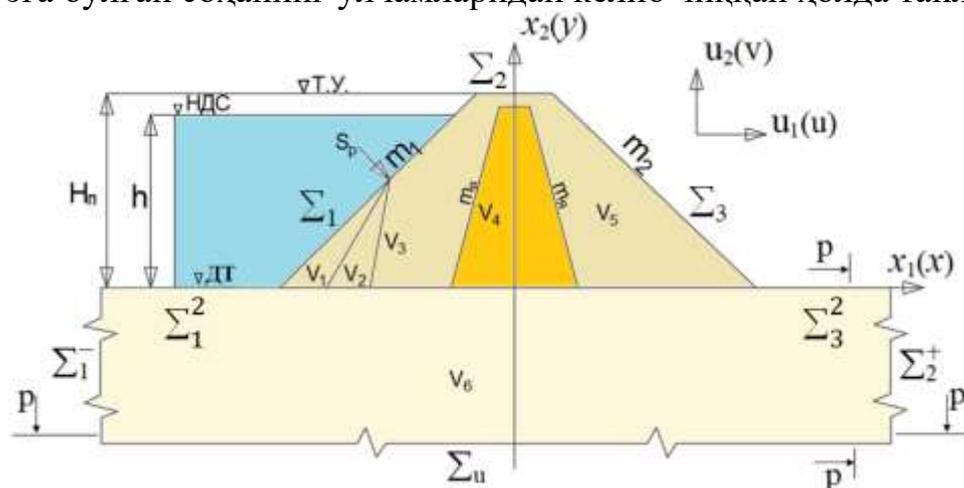
**Кириш қисмида** диссертация мавзусининг долзарблиги ва зурурати асосланган. Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари ҳамда объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Муаммонинг ўрганилганлик даражаси ва тадқиқотларнинг ИТИ тадқиқот режаларига узвий боғлиқлиги, тадқиқотларни олиб бориш услублари, бажарилган тадқиқот натижаларининг илмий янгилиги ва уларнинг ишончлилиги, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилинганлиги, нашр этилган илмий ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформацияланиш ҳолатини асос билан биргаликда баҳолашнинг математик модели ва ечиш усулини ишлаб чиқиш”** деб номланган биринчи бобида, сув омборлари грунтли тўғонларининг асоси билан бириктириш хусусиятлари, асосни сув ўтказмаслик учун қўлланиладиган конструктив чора-тадбирлар, тўғон - асоснинг кучланганлик-деформация ва динамик ҳолатлари бўйича олиб борилган тадқиқот натижалари тўғрисидаги маълумотлар келтирилган. Шунингдек, грунтли тўғонларнинг асоси билан биргаликда ягона система деб қараш учун математик модел ва масалани ечиш усули келтирилган.

Қўйилган масала учун математик моделни танлашда тадқиқ қилинаётган грунтли иншоот бир жинссиз ўзаро боғланган, унинг асоси чексиз ярим фазодан  $x_1, x_2$  текисликдан пастда маълум ўлчамларда ажратиб олинган  $V_6$  ҳажмни эгалловчи, тўғон танаси билан биргаликда ишловчи деформацияланувчан қаттиқ жисм деб қаралади. Бу тизимни ташкил қилувчи элементлари орасидаги кўчишлар узлуксиз деб қаралади. Тизимнинг ҳар бир қисмининг материаллари физик-механик хусусиятларига кўра бир биридан

фарқ қилади, уларнинг баъзиларда эластик деформация рўй берса баъзиларида қовушқоқ эластиклик хусусиятларни намоён бўлишини ҳам эътиборга олинади (1-расм).

Бу ҳисоблаш схемаси бўйича грунтли тўғоннинг юқори қисми -  $\Sigma_2$ , қуйи призма сирти -  $\Sigma_3$  ва унга туташ асоснинг сирти -  $\Sigma_3^2$  кучланишлардан ҳоли деб қаралади. Юқори призмадаги нормал димланган сатҳнинг (НДС) чегара чизигидан пастдаги юза  $S_p$  билан ифодаланган ва ундан давом этган асоснинг юқори сирти-  $\Sigma_1^2$  га сув омборидаги сувнинг гидростатик  $\vec{p}(x, y)$  босими таъсир этади. « $p-p$ » ярим фазодан ажратиб олинган соҳа  $V_6$  -ни чегараловчи сиртлар  $\Sigma_1^-, \Sigma_2^+, \Sigma_u$  билан белгиланган. Бу сиртларга қўйиладиган чегаравий шартлар Сен-Венан принциpidан фойдаланиб, чекли ўлчамга эга бўлган соҳанинг ўлчамларидан келиб чиққан ҳолда танланади.



**1-расм. Грунтли иншоотнинг асос билан биргаликда ишлашини ифодаловчи системанинг ҳисобий схемаси:  $V_1, V_3, V_5$  -таянч призмалар,  $V_2$ -экран,  $V_4$  –ядро,  $V_6$  – тўғоннинг асоси**

Сататик кучлар таъсирида қаралаётган (1-расм) системада рўй берадиган жараёнларни моделлаштириш учун мумкин бўлган кўчишлар принципига асосланган қуйидаги вариацион тенгламадан фойдаланилади:

$$-\sum_{k=1}^n \int_{V_k} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \sum_{k=1}^{n-1} \int_{V_k} \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{S_p + \Sigma_1^2} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j=1, 2. \quad (1)$$

Иншоотнинг асосини чегараловчи юзаларга қуйидаги бир жинсли кинематик шартлар қўйилади:

$$\vec{x} \in \Sigma_u: \vec{u} = 0; \quad \delta \vec{u} = 0; \quad \vec{x} \in \Sigma_1^- + \Sigma_2^+: \vec{u} \neq 0. \quad (2)$$

Бу вариацион тенгламада системанинг кучланиш ва деформация тензорларини ўзаро боғлиқлигини ифодалаш учун умумлаштирилган Гук қонунидан фойдаланилади:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{E_n(1-\nu_n)}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{11} + \frac{\nu_n E_n}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{22}; \\ \sigma_{22} &= \frac{E_n(1-\nu_n)}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{22} + \frac{\nu_n E_n}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{11}; \\ \sigma_{12} &= \frac{E}{2(1+\nu_n)} \varepsilon_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Деформация тензорлари билан кўчиш векторлари ўртасидаги боғланиш эса Коши муносабатлари орқали ифодаланади:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), i, j = 1, 2 \quad (4)$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}, \vec{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$$

Бу ерда:  $\sigma_{ij}$  ва  $\varepsilon_{ij}$  – кучланиш ва деформация тензорлари;  $\delta u$ ,  $\delta \varepsilon_{ij}$  – кўчиш ва деформациянинг изохрон вариациялари;  $E_n$ ,  $\nu_n$  – система элементлари материалнинг эластиклик модули ва Пуассон коэффиценти;  $n$ -индекс мос равишда қаралаётган соҳанинг ( $V_1, V_2, \dots, V_6$ ) ташкил этувчи қисмларининг рақамларини билдиради,  $\vec{f}$  – таъсир этувчи масса кучлари вектори,  $\vec{p}$  ( $S_p + \Sigma_1^2$ ) юзаларга таъсир этувчи сувнинг гидростатик босими бўлиб, қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$\vec{p} = \rho_0 g (h - x_2), \quad (5)$$

Бу ерда  $\rho_0$  – сувнинг зичлиги,  $(h - x_2)$  – тўғоннинг босимли юзаси нуқтасини сув сатхидан чуқурлигини билдиради.

Қаралаётган масалада масса кучлари ва сувнинг гидростатик босими ва чегаравий шартларни ҳисобга олиб, (1), (3), (4) муносабатларни ихтиёрий мумкин бўлган кўчиш  $\delta \vec{u}$  ларда қаноатлантирувчи системанинг ихтиёрий нуқтасида ҳосил бўладиган кўчиш, деформация ва кучланиш тензорларини аниқлаш талаб қилинади.

Юқорида қўйилган мураккаб вариацион масалани ечиш учун чекли элементлар усули (ЧЭУ)ни қўллаш ҳисобига (1) вариацион тенглама статик кучлар таъсирида системадаги (1-расм) жараённи ифодаловчи чизиқли алгебраик тенгламалар системасига келтирилади:

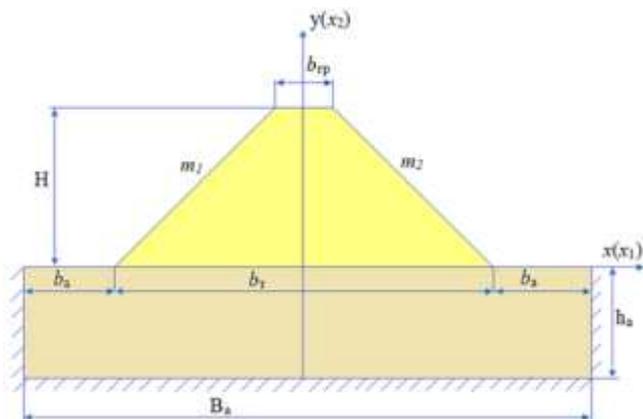
$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (6)$$

Бу ерда  $[K]$  – қаралаётган система учун бикрлик матрицаси;  $\{u\}$  – тугунлардаги изланаётган кўчишларни ифодаловчи вектор;  $\{F\}$  – ташқи кучлар (масса кучлари, сувнинг гидростатик босими ва ҳ.к.) йиғиндисини ифодаловчи вектори.

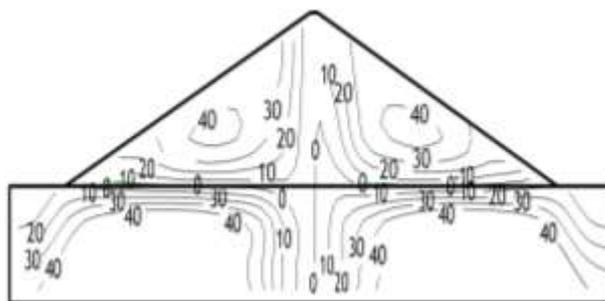
Алгебраик тенгламалар системаси (6) Гаусс ёки квадрат илдиз усуллари билан ечилади.

Қараётган ишоот ва унинг асосидан ажратиб олинган чекли асоснинг ўлчамларини қандай олишни танлаш учун тўғоннинг асос билан туташган жойидан бошлаб асосни кенглиги (горизонтал) ва чуқурлик ўлчамларини тўғонни баландлигига нисбатан турли ўлчамларда қаралиб, масса кучлари ва гидростатик босим остида тўғоннинг кучланганлик ҳолатлари баҳоланди (2-расм).

Юқорида келтирилган усул бўйича кучланиш тензорлари  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  нинг қийматлари аниқланиб, уларнинг изочизиклари қурилди (3-расм).



**2-расм. Тўғон асосини ўлчамларини танлаш схемаси**



**3-расм. Кучланиш тензори  $\sigma_{12}$  нинг изочизиклари**

Статик кучлар таъсирида ўтказилган текширишлар натижасида (яъни тўғон асосининг ҳар хил чекли ўлчамларида ва асос сиртларидаги ҳар хил чегаравий шартларда) аниқландики, баландлиги 296 метр бўлган грунтли тўғоннинг асосини горизонталь йўналишдаги ўлчамларини  $0,7H < b_a < 1,5H$  оралиғида, вертикаль (чуқурлик) йўналишдаги ўлчамини эса  $0,5H < h_a < 1,0H$  муносабатда танланиши мақсадга мувофиқ бўлиши аниқланди.

Диссертациянинг “Грунтли тўғоннинг статик кучлар таъсиридаги кучланганлик ҳолатини ва мустаҳкамлигини асос билан биргаликда баҳолаш” деб номланган бобида биринчи бобда келтирилган математик модел, ҳисоблаш усули, алгоритми ва тузилган ЭҲМ дастурлари асосида грунтли тўғонни асосни ҳисобга олган ва олмаган ҳолда иншоотнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва тўғон танасининг мустаҳкамлиги тадқиқ қилиниб, баҳоланган. Ҳисоб ишларини бажаришда Пском тўғоннинг ҳақиқий лойиҳавий геометрик ўлчамлари, конструктив тузилиши ва иншоот материалларининг физик-механик хусусиятлари, бир жинсли ва бир жинсизлик ҳолатлари ҳисобга олинган.

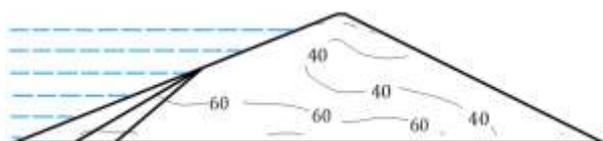
Олинган натижаларга кўра, тўғоннинг асоси ҳисобга олинмаганда, энг катта кучланиш қийматлари  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  ва  $\sigma_{12}$  тўғоннинг маркази ва призмаларнинг қуйи қисмига тўғри келади. Уринма кучланиш  $\sigma_{12}$  нинг ноль қиймат чизиклари эса тўғоннинг вертикал ўқиға яқин жойлашади ва шу ўқдан узоқлашган сари уринма кучланишнинг қиймати қияликларнинг пастки қисмларигача ўзининг максимумига ортиб боради. Қаралган 195 м баландликли тўғонининг кучланиш тензорлари бўйича қурилган изочизиклари иншоотнинг вертикал ўқиға нисбатан тахминан симметрик жойлашганини, ўз навбатида бу тўғоннинг қиялик коэффициентларини деярли бир-бирига яқин қийматга эга бўлганлигини, натижаларни тўғри олинганлигини тасдиқлади.

Иншоотни бир жинсиз деб қаралган ҳолатда, ядро жойлашган қисмда нормал кучланиш  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  ларнинг сезиларли камайиши ва уларнинг

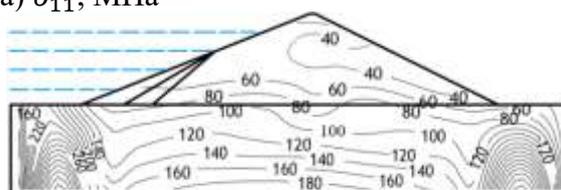
миқдорлари бўйича қурилган изочизиклар тўлқин шаклидаги ўзгаришларни ҳосил қилади.

Ҳар бир ҳолат (бир жинсли ва бир жинсиз, асос ҳисобга олинган ва олинмаган ҳолат) бўйича грунтли тўғонни хусусий оғирлик, сув омборининг турли сатҳ даражасидаги сув билан тўлдирилиши натижасида тўғон танасида ҳосил бўладиган кучланиш тензорлари ( $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$ ) нинг миқдорлари аниқланди ва уларнинг тўғон танаси бўйича тенг тақсимланиш изочизиклари қурилди (4, 5-расм).

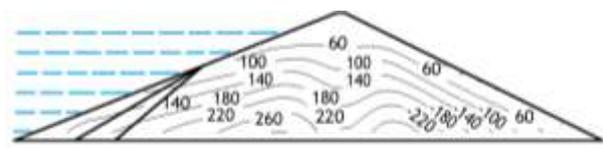
а)  $\sigma_{11}$ , МПа



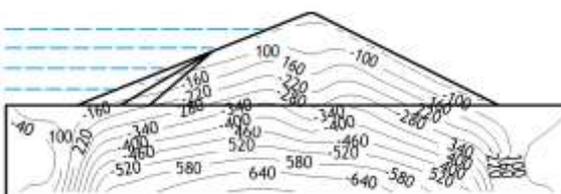
а)  $\sigma_{11}$ , МПа



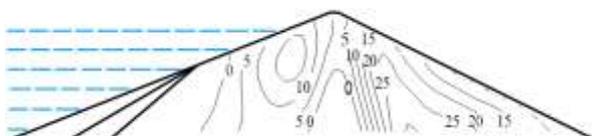
б)  $\sigma_{22}$ , МПа



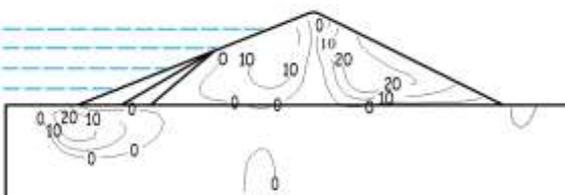
б)  $\sigma_{22}$ , МПа



в)  $\sigma_{12}$ , МПа



в)  $\sigma_{12}$ , МПа



**4-расм. Хусусий оғирлик ва гидростатик босим ( $H_{\text{суб}}=170$  м) таъсиридаги бир жинсиз Пском грунтли тўғонни кучланганлик ҳолатининг изочизиклари**

**5-расм. Хусусий оғирлик ва гидростатик босим ( $H_{\text{суб}}=170$  м) таъсиридаги бир жинсиз Пском грунтли тўғонни асос билан биргаликдаги кучланганлик ҳолатининг изочизиклари**

Сув омборидаги сувнинг гидростатик ( $H_{\text{суб}}=170$  м) босими грунтли тўғоннинг юқори призмасидаги кучланганлик ҳолатини гидростатик босимсиз ҳолатга нисбатан кескин ўзгартиришга олиб келади.

Грунтли тўғоннинг бир жинсли ва бир жинсизлиги, асосни ҳисобга олган ва олмаган ҳолда статик кучлар таъсиридаги кучланган деформация ҳолатлари бўйича аниқланган кучланиш тензорларидан фойдаланган ҳолда қаралган грунтли иншоотнинг мустаҳкамлигини Кулон-Морнинг чегаравий мувозанат шarti ёрдами баҳоланди.

Бу назариясига асосан грунтли тўғоннинг мустаҳкамлигининг захира коэффицентини қуйидагича аниқланди:

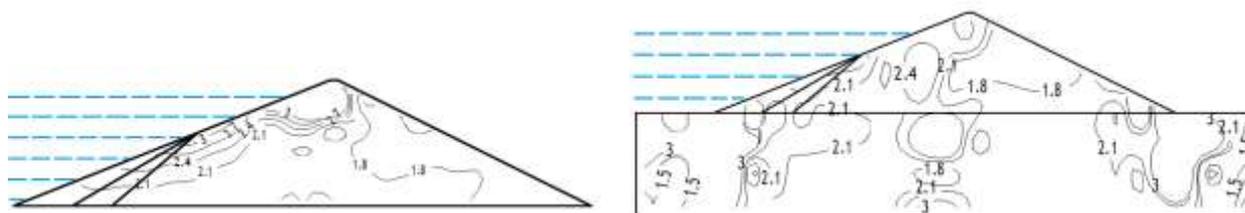
$$K = \frac{0,5(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi + c \cdot \cos \phi}{0,5(\sigma_1 - \sigma_2)} \quad (7)$$

Бу ерда:  $K$ - иншоотнинг ҳар бир нуқтасидаги мустаҳкамликнинг захира коэффиценти;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  - иншоотнинг ҳар бир нуқтасида ҳосил бўлган бош кучланишлар қиймати;  $\phi$  - грунтнинг ички ишқаланиш бурчаги,  $c$  – грунт зарраларининг боғланиш коэффиценти.

Грунтли тўғонни мустаҳкамлигини тўлиқ баҳолаш учун тўғон танаси билан асоснинг барча нуқталаридаги мустаҳкамликнинг захира коэффиценти “ $K$ ” аниқлаш талаб этилади. Агарда  $K > 1$  бўлса, “мустаҳкам” ва мустаҳкамликнинг захирасига эга ҳисобланади.  $K = 1$  бўлса, иншоотнинг шу нуқтасида чегаравий мувозанат ҳолатида бўлади ва  $K < 1$  бўлса, тўғоннинг мазкур нуқтасида мустаҳкамлик таъминланмаган деб ҳисобланади ва шундай нуқталардан иборат бўлган тўғоннинг участкаларида устуворлик йўқолган ҳисобланади.

6-расмда грунтли тўғоннинг бир жинссизлиги ва асосини ҳисобга олинган, олинмаган ҳолатлари бўйича хусусий оғирлик, гидростатик босимни таъсиридаги 195 м баландликли грунтли тўғон танасидаги  $K$  – мустаҳкамликнинг захира коэффицентини тақсимланиш изочизиклари курилган.

а) асоси ҳисобга олинмаган грунтли тўғон      б) асоси ҳисобга олинган грунтли тўғон



**6-расм. Хусусий оғирлик ва гидростатик босим ( $H_{\text{суб}}=170$  м) таъсиридаги грунтли тўғонида мустаҳкамликнинг захира коэффиценти “ $K$ ” ни тақсимланиш изочизиклари**

Олинган натижаларнинг таҳлилидан кўринадикки, статик кучлар таъсирида грунтли тўғоннинг барча нуқталаридаги мустаҳкамликнинг “ $K$ ” захира қийматлари 1,5 дан юқори бўлиб,  $K > 1$  шарт қаноатлантирилади. Гидростатик босимининг ҳисобига тўғоннинг юқори призмасида мустаҳкамликнинг “ $K$ ” захира коэффицентининг қийматлари маълум микдорда ортиб бориши кузатилади.

Диссертациянинг “Грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда хусусий тебранишларини баҳолаш” деб номланган бобида грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда ягона система кўринишда хусусий тебраниш масаласини математик қўйиш учун, тўғонни асос билан биргаликда текис деформацияланиш ҳолатида ишлайдиган яхлит система - деформацияланувчан бир жинссиз қаттиқ жисм деб қаралди (1-расм).

Қаралаётган системанинг (1-расм) хусусий тебранишни моделлаштириш учун Даламбер принцигига асосланган Лагранжнинг вариацион тенгламасидан фойдаланилди, яъни:

$$\delta A = - \int_{V+V_6} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V+V_6} \rho_n \ddot{u} \delta \vec{u} dV + \int_{\Sigma_p+S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad (8)$$

Масалани математик қўйилишида кучланиш ва деформация ўртасидаги боғланиш умумлашган Гук қонуни (3), деформация ва кўчиш ўртасидаги боғланиш Коши муносабатлари (4) билан ва иншоотга таъсир этувчи гидростатик босим (5) билан ифодаланган.

Бу тенгамаларга қўшимча қилиб қуйидаги кинематик шартлар қўйилади

$$\vec{x} \in \sum_u : \vec{u} = 0; \quad \delta \vec{u} = 0, \quad \text{ва} \quad \vec{x} \in \sum_1^- + \sum_2^+ : \vec{u} \neq 0. \quad (9)$$

Қаралаётган система (1-расм) учун қуйидаги қуринишдаги ечим кидирилиб:

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}^*(\vec{x}) e^{-i\omega t}, \quad (10)$$

Бу ерда  $\omega$  ва  $\vec{u}^*$  -қаралаётган системанинг хусусий тебраниш частота ва формалари.

Агар (10) ни (8), (3), (4) ва (5) ларга қўйсак у ҳолда қаралаётган масаламиз системанинг (1-расм) хусусий тебраниш частотаси ва шаклини топиш учун вариацион тенгламага айланади, яъни:

$$- \int_{V+V_6} \sigma_{ij}^* \delta \varepsilon_{ij} dV + \omega^2 \int_{V+V_6} \rho_n \vec{u}^* \delta \vec{u}^* dV + \int_{\Sigma_p+S_p} \vec{p} \delta \vec{u}^* dS = 0 \quad (11)$$

$$x \in \sum_u : \delta \vec{u}^* = 0, \quad (12)$$

Бу ерда  $\sigma_{ij}^*$  - кучланиш тензори компонентларини амплитудаси.

Вариацион масала (11) - (12) чекли элементларни қўллаш усули ёрдамида қуйидаги бир жинсли алгебраик тенгламалар системасига келтирилади:

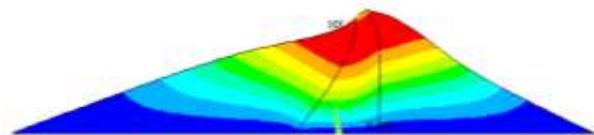
$$([K] - \omega^2 [M]) \{z\} = 0 \quad (13)$$

Бу (13) тенгламалар системасининг ечими иншоотнинг хусусий тебраниш частотасини ва формасини аниқлаш имкониятини беради. Бу ерда  $[K]$ ,  $[M]$  - қаралаётган системанинг бикрлик ва массалар матрицаси,  $\omega$  - системанинг хусусий тебраниш частотаси,  $\{z\}$  - хусусий тебраниш вектори.

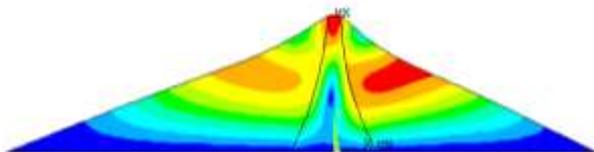
Бу тенгламалар системасининг хусусий  $\lambda = \omega^2$  тебраниш частоталари Мюллер методи билан, хусусий тебраниш векторлар  $\{z\}$  эса Гаусс методи билан аниқланади.

Қурилиши режалаштирилган 195 м баландликли грунтли тўғоннинг лойихавий параметрлари асосида хусусий тебраниш частоталари аниқланиб, уларнинг тебраниш шакллари қурилган (7, 8-расм).

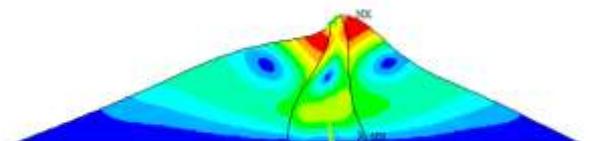
а) биринчи шакл,  $\omega_1 = 0,21382$  Гц



б) учинчи шакл,  $\omega_3 = 0,36307$  Гц

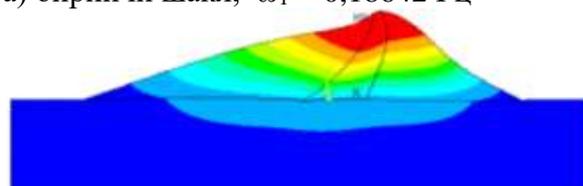


в) бешинчи шакл,  $\omega_5 = 0,46005$  Гц

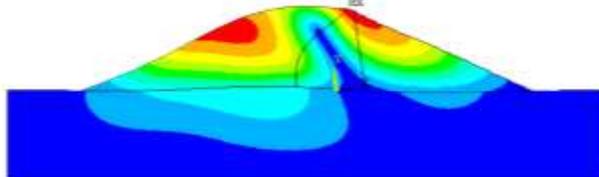


7-расм. Пском грунтли тўғонининг хусусий тебраниш частота ва шакллари ( $E_{\text{ядро}} = 15$  МПа)

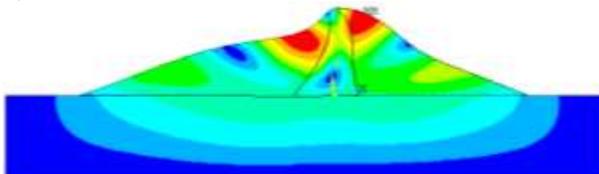
а) биринчи шакл,  $\omega_1 = 0,18642$  Гц



б) учинчи шакл,  $\omega_3 = 0,31842$  Гц



в) бешинчи шакл,  $\omega_5 = 0,36093$  Гц



8-расм. Пском грунтли тўғонининг асос билан биргаликдаги сувнинг гидростатик босими таъсиридаги тебраниш частоталари ва тебраниш шакллари

Қаралаётган тўғоннинг баъзи частоталари маълум зичликларда тор спектрда жойлашади. Бу эса қаралган тўғонни катта баландликка ва етарлича бикрликка эга эканлиги кўрсатади. Тўғоннинг асосини ҳисобга олинганда иншоотнинг хусусий тебраниш частоталарини асосни ҳисобга олмаган ҳолдагига нисбатан миқдоран камайишига олиб келиб, бу фарқ 10 % гачани ташкил этади. Тўғон учун асосий қуйи частотали тебранишларнинг хусусий шакллари марказий кесимнинг силжиши (биринчи шакл), марказий кесимнинг вертикал кўчишига (иккинчи шакл), қияликларнинг мураккаб деформациясига (учинчи ва кейинги шакллар) олиб келади.

Диссертациянинг “Грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда мажбурий тебранишларини баҳолаш” деб номланган бобида «грунтли тўғон-асос»да рўй берадиган мажбурий турғун тебраниш жараёнларни моделлаштиришда 1-расм бўйича ҳисобий схема асос қилиб олиниб, мумкин бўлган кўчишлар принципага асосланган (9) вариацион тенгламада ҳамда (3), (4), (5) ифодалардан фойдаланилган. Иншоотнинг асосини чегараловчи юзаларга қуйидаги кинематик шартлар қўйилади:

$$\vec{x} \in \Sigma_1^- + \Sigma_2^+ : \vec{u} \neq 0; \quad x \in \Sigma u : \vec{u}_o(\vec{x}, t) = \vec{\psi}_1(t) \quad (14)$$

Бу ерда  $\vec{\psi}_1(t)$  вақт бўйича даврий ўзгарувчи функция.

Иншоот ва асос материалининг қовушқоқ-эластиклик хусусиятларини инобатга олиш учун кучланиш ва деформация тензорлари орасидаги боғланишни ифодалашда Больцман-Волтерр назариясига асосланган қовушқоқ-эластиклик моделидан фойдаланилди. Агарда иншоотнинг бирорта қисмининг материали эластик хусусиятга эга бўлса у ҳолда  $K_n$ ,  $\tilde{\mu}_n$ -материалнинг ҳажмий ва силжишдаги эластиклик модули, агарда шу қисимларнинг бирортасини материали қовушқоқ-эластиклик хусусиятига эга

бўлса у ҳолда  $\tilde{\mu}_n$  интеграл оператори бўлади. Шунга асосан уларни қуйидагича ифодаланади:

$$S_{ij} = \mu_n \left[ e_{ij} - \int_{-\infty}^t \Gamma_{\mu_n}(t - \tau) e_{ij}(\tau) d\tau \right] \\ \sigma = K_n \theta, \quad (15)$$

Бу ерда:  $S_{ij}, e_{ij}$ - кучланиш ва деформация тензорининг девиатори;  $\sigma$ - кучланиш тензорининг шар қисми;  $\theta$ - хажмий деформация;  $\Gamma_{\mu_n}$ - релаксация ядроси;  $n$  – материалнинг хоссасини иншоотнинг қайси қисмига тегишлилигини ифодалайди.

Масалани ечишда вариацион тенглама (8) ни ечимини қуйидаги кўринишда қидирамиз:

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}_o(\vec{x}, t) + \vec{u}^*(\vec{x}) \cdot \exp(-i\Omega t) \quad (16)$$

Бу ерда  $\Omega$ -ташқи таъсирнинг частотаси;  $\vec{u}^*(\vec{x})$  - қидирилаётган кўчиш векторининг компонентлари.

Мажбурий турғун тебраниш масалаларини ечишда интеграл оператор (16) ни қуйидаги кўринишдаги комплекс модул билан аниқ алмаштириш мумкин, яъни:

$$\tilde{\mu}_n \phi = \mu_n \left[ 1 - \Gamma_{\mu_n}^C(\Omega) - i\Gamma_{\mu_n}^S(\Omega) \right] \phi, \quad (17)$$

Бу ерда:  $\Gamma_{\mu_n}^S, \Gamma_{\mu_n}^C - \Gamma_{\mu_n}(\tau)$  ядронинг синус ва косинус Фурье шакллари.

Чекли элементлар усулини қўллаб вариацион тенгламани бир жинсиз комплекс коэффициентли алгебраик тенгламалар системасига олиб келамиз, яъни:

$$([\bar{K}] - \Omega^2 [M])\{u\} = \{f\} \quad (18)$$

Бу ерда  $[\bar{K}]$  – матрица элементарлари  $k_{ij}(\Omega)$  ташқи таъсирнинг частотаси  $\Omega$  га боғлиқ бўлган комплекс сонлардан ибрат;  $\{u\}$ - қидирилаётган кўчишнинг комплекс вектори;  $\{f\}$ - кинематик таъсир ва гидростатик босимдан ҳосил бўлган ташқи куч вектори.

Алгебрик тенгламалар системаси (18) ташқи таъсир частоталари ( $\Omega$ ) нинг ҳар хил ўзгармас қийматларида Гаусс усули ёрдамида ечилиб, системанинг (1-расм) дискрет нуқталаридаги кўчиш компонентлари топилади. Кейин ҳар бир чекли элементнинг ичидаги кўчиш компонентлари ташқи таъсир частотаси ( $\Omega$ ) нинг ҳар битта қийматларида аниқланади.

Тўғонда содир бўладиган мажбурий турғун тебранишни аниқлаш учун қуйидаги кўринишдаги даврий кинематик таъсирлар тўғоннинг асосига қўйилган, яъни:

$$\vec{x} \in \Sigma_u \cdot \begin{cases} u_{10}(t) = B \exp(-i\Omega t) \\ u_{20}(t) = C \exp(-i\Omega t) \end{cases} \quad (19)$$

Бу ерда  $B, C$  – кинематик таъсирларнинг амплитудаси.

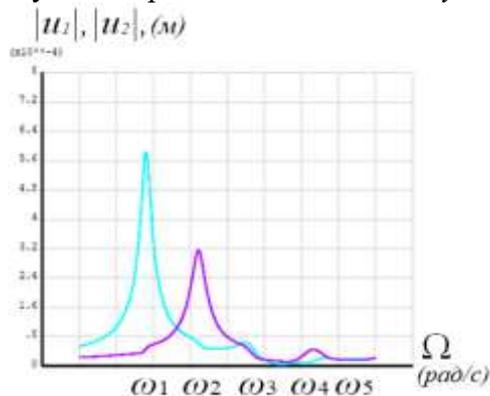
Ҳисоблаш ишларини бажаришда кинематик таъсир (19) нинг амплитудаси  $B/C=2,0$  ( $B=0,01\text{м}$ ) деб қабул қилиниб, ташқи таъсир частотаси  $\Omega=7 \text{ рад/сек}$  дан  $60 \text{ рад/сек}$  гача оралиғида, маълум кадам билан ўзгартириб борилган.

Грунтли тўғоннинг асоси ҳисобга олинган ва олинмаган ҳолдаги мажбурий турғун тебранишлари кинематик таъсир (19) нинг турли “ $\Omega$ ”

частотали қийматларида грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хусусиятларини эътиборга олиб, тўғон танасининг турли (олтита) нуқталаридаги горизонталь ва вертикал кўчишлар ( $u_1, u_2$ )нинг амплитуда-частота характеристикалари қурилди (9-расм). Тўғонда биринчи резонанс ( $\omega_1 \approx \Omega$ ) содир бўлганда энг катта амплитуда горизонтал йўналишдаги кўчишда содир бўлади, иккинчи резонанс ҳолатида эса тўғоннинг юқори ва ўрта қисмларида энг катта амплитуда вертикал йўналишда содир бўлади.

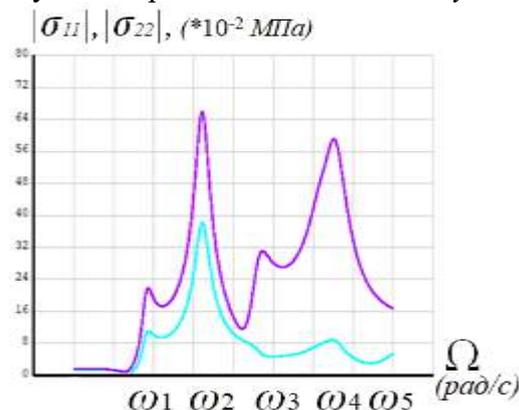
Худди шунингдек турли (олтита) нуқталар учун горизонтал ва вертикал йўналишдаги кучланишлар ( $|\sigma_{11}|, |\sigma_{22}|$ ) ҳисобланиб, уларнинг амплитуда-частота характеристикалари қурилган (10-расм). Тўғоннинг асосини ҳисобга олмаган ҳолда тўғонни қуйи ва юқори призмаларнинг қияликка яқин қисмларида эса иккала кучланиш ( $|\sigma_{11}|, |\sigma_{22}|$ ) нинг ҳам энг катта қийматлари биринчи резонансда ҳосил бўлиб, баъзи бир нуқталарида эса энг катта вертикал  $|\sigma_{22}|$  кучланиш иккинчи резонансда ҳосил бўлиб, биринчи резонансда эса горизонтал кучланиш  $|\sigma_{11}|$  кичик қийматларга эга бўлади. 9 ва 10- расмларда мисол тариқасида бу натижалар тўғоннинг фақат битта нуқтаси учун кўрсатилган.

Нуқта координатаси:  $x=7,0$  м,  $y=195,0$  м.



**9-расм. Грунтли тўғоннинг асоси ҳисобга олингандаги нуқтадаги (—) горизонтал ва (—) вертикал кўчишларининг амплитуда-частота характеристикалари**

Нуқта координатаси:  $x=-36,9$  м,  $y=163,4$  м.



**10-расм. Грунтли тўғоннинг асоси ҳисобга олингандаги F1 (x,y) нуқтадаги (—) горизонтал ва (—) вертикал кучланишларининг амплитуда частотавий характеристикалари**

Тўғоннинг асоси ҳисобга олинганда  $\sigma_{22}$  кучланиш тензорларининг қийматларини 20 %гача ошганлигини, тўғоннинг фақат юқори призмасининг юқори қисмида иккинчи ва тўртинчи хусусий тебраниш частоталарига ташқи таъсир частотаси  $\Omega$  да  $\sigma_{11}$  кучланиш қийматлари  $\sigma_{22}$  га нисбатан сезиларли 1,5-3 баробарга катта бўлиши, бу ўз навбатида тўғоннинг шу нуқталари атрофида силжиш деформациясини ҳосил қилиши мумкинлиги аниқланди (10-расм).

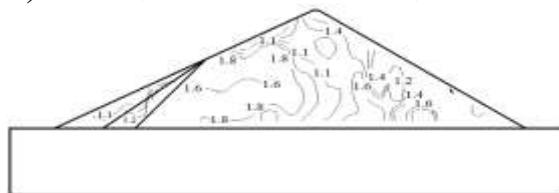
Ҳар хил частотали  $\Omega$  кинематик таъсирларда тўғон танасида ҳосил бўладиган кучланиш компонентлари ва мустаҳкамликнинг захира коэффициентларини тақсимланишини кўриб чиқилди. Олинган натижаларнинг таҳлилига кўра, агар кинематик таъсирнинг частотаси (мисол учун  $\Omega = 0,41$  Гц (11а-расм),  $\Omega = 0,23$  Гц (11б-расм)) резонанс ҳолатига яқин

бўлган частоталарга тўғри келса, у ҳолда тўғоннинг кўпгина участкаларида мустаҳкамлик талаб даражасида бўлмаслиги аниқланди (11а-расм).

а) асос ҳисобга олинмаган ҳолат



б) асос ҳисобга олинган ҳолат



### 11-расм. Грунтли тўғон танасида мустаҳкамликнинг захира коэффицентини тенг тақсимланиш изочизиқлари

Шу билан бирга грунтли тўғоннинг нотурғун мажбурий тебранишларини ҳам ҳар хил кинематик таъсирлар натижасига текширилди.

Бу ҳолда олинган натижаларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, ташқи таъсирнинг частотаси тўғоннинг хусусий тебраниш частотасидан фарқли (кичик ёки катта) бўлганда, тебраниш амплитудаларининг энг катта қиймати тебраниш даврининг биринчи, учинчи ва тўртинчи даврларига тўғри келади. Ташқи таъсир олиб ташланганидан кейин тебраниш амплитудасини сўниши резонанс режимигача бўлган  $p < \omega_1$  таъсирда  $p > \omega_1$  таъсирга нисбатан тезроқ сўниши кузатилади.

## ХУЛОСА

1. Ҳар хил ташқи таъсирлар натижасида грунтли тўғонларнинг асос билан биргаликдаги кучланганлик-деформация ҳолатларини, мустаҳкамлигини, динамик характеристикаларини баҳолаш учун иншоотнинг конструктив бир жинсизлиги, реал геометрияси, сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда математик модель, ҳисоблаш усуллари, ечиш алгоритмлари ва ЭҲМ дастурлари ишлаб чиқилди.

2. Баланд грунтли тўғоннинг асоси билан биргаликдаги кучланганлик деформация ҳолатини тўлақонли баҳолаш учун чексиз асосдан ажратиб олинган чекли асос моделининг геометрик ўлчамлари аниқланди.

3. Иншоотнинг хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг гидростатик босими таъсирида грунтли тўғонни асос билан биргаликда текис-деформация ҳолатидаги кучланганлик деформация ҳолатлари “грунтли тўғон” ва “грунтли тўғон-асос билан” яхлит система моделлари асосида текширилиб, кучланганлик ҳолатлари баҳоланди.

4. Лойиҳаланаётган Пском (баланд 195 метрли) грунтли тўғон асоси билан биргаликда яхлит деформацияланувчи система деб қаралганда куйидаги натижалар аниқланди:

-тўғоннинг ядро ва юқори призмасидаги экран материалининг физик – механик параметрлари бир жинсизлиги ҳисобига тўғон кўндаланг кесимнинг ядро жойлашган қисмида кучланишларнинг қийматлари сезиларли кичик бўлиши ва бу қийматлардан қурилган кучланишнинг тенг қийматли изочизиқлари аркасимон эффектни ҳосил қилиши аниқланди;

-сув омборини сув билан тўлдирилиш даражаси грунтли тўғоннинг юқори призмасидаги кучланганлик ҳолатини гидростатик босимсиз ҳолатга нисбатан кескин ўзгартиришга олиб келиши аниқланиб, айниқса бу ҳолат сув

омборини сув билан тўлиқ тўлдирилганда рўй бериб,  $\sigma_{11}$  ва  $\sigma_{12}$  кучланиш компонентлари сезиларли катта миқдорда ўзгариб,  $\sigma_{11}$ - кучланиш асосда ва юқори призмада 30-45% гача,  $\sigma_{22}$  кучланиш эса юқори призма ва унинг асосида 2-3 баробарга ортиши аниқланди;

-Кулон-Морнинг мустаҳкамлик назарияси орқали аниқланган захира коэффициентининг тақсимланиши тўғоннинг асос билан биргаликда баҳоланган ҳолатида асос ҳисобга олинмаган ҳолатга нисбатан тўғоннинг юқори призмасини ўрта ва юқори қисмларида тўғон асосининг деформацияси тўғон танасидаги кучланишларнинг тақсимланиш йўналишларини бир мунча ўзгартирганлиги сабабли 40-50% камайишини аниқланди;

5. Лойиҳаланаётган Пском сув омборининг грунтли тўғонини конструктив тузилиши, реал геометрияси, тўғон асоси ва материалининг физик – механик хоссаларини ҳисобга олган ҳолда тўғоннинг асос билан биргаликдаги хусусий тебраниш частоталари ва тебраниш шакллари текширилиб, қуйидагилар аниқланди:

-тўғонда асоси ҳисобга олинмаган ҳол учун лойиҳада тақлиф этилган тўғоннинг ядро қисмидаги грунтнинг эластик модули  $E_{\text{ядро}} = 15$  МПа ва  $E_{\text{ядро}} = 30$  МПа қийматларида иншоотнинг хусусий тебраниш частоталари ҳисобланиб, тебраниш шакллари қурилиб, хусусий тебраниш формаларининг турли хилда деформацияланиш натижалари аниқланди;

-тўғоннинг асос билан биргаликдаги хусусий тебраниш частотаси асосни ҳисобга олмаган ҳолдаги частоталардан 10% гача кичик бўлиб, қуйи частоталарда тебраниш шакллари эса тўғонни марказий кесимнинг эгилишни (биринчи шакл), бўйлама (иккинчи шакл) деформациясини, қияликларнинг мураккаб деформацияларини (учинчи ва кейинги шакллар) ифодалашни аниқланди;

-хусусий тебранишда гидростатик босимни ҳисобга олиниши тўғоннинг хусусий тебраниш частоталари қийматини камайтириши, лекин биринчи ва иккинчи тебраниш шакллари ўзгаришсиз қолиб учинчи ва ундан юқори тебраниш шакллари эгилиш деформацияларини ҳосил қилиши аниқланди;

6. Грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда ягона яхлит система деб қараб, иншоотнинг бир жинссизлик хусусиятларини, ва тўғон материалининг қовушқоқ-эластиклик хоссаларини Больцман-Вольтерр назарияси орқали инобатга олиниб, турғун мажбурий тебранишларини баҳолаш учун математик модель, ҳисоблаш усули, алгоритми ва ЭҲМ дастурлари ишлаб чиқилди.

7. Пском грунтли тўғоннинг асосисиз ҳолда, грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хусусиятларини ҳисобга олиниб (кинематик таъсир натижасида), мажбурий турғун тебранишларини текшириш натижасида:

-кўчишнинг энг катта горизонтал амплитудаси тўғоннинг юқори ва ўрта қисмларида биринчи резонансда ҳосил бўлса, иккинчи резонансда эса энг катта кўчишнинг вертикал амплитудаси ҳосил бўлиб, бу ҳодиса тўғонни биринчи хусусий тебраниш шакли эгилишни, иккинчи тебраниш шакли эса бўйлама деформацияга тўғри келиши билан изоҳланиши кўрсатилди;

-биринчи резонансда тўғоннинг ўрта ва пастки қисмларида горизонтал кучланиш  $\sigma_{11}$  нинг энг катта қиймати ҳосил бўлиши, шу резонансда тўғоннинг қуйи ва юқори призмаларининг қияликка яқин қисмларида эса энг катта иккита кучланиш компоненталар ( $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ) ҳосил бўлиши ҳамда энг катта вертикал кучланиш  $|\sigma_{22}|$  эса иккинчи резонансда тўғоннинг пасткида жойлашган нуқталарида ҳосил бўлиши аниқланди;

-агар иншоотларнинг бир нечта хусусий частоталари бир-бирига яқин жойлашган бўлса (яъни  $\omega_4$ ,  $\omega_5$ ), бу резонанс ҳолатида тўғоннинг бир қанча нуқталарида кучланишлар компоненталарининг катта қийматли амплитудалари ҳосил бўлиши аниқланди;

-асос ҳисобга олинган ҳолатда тўғоннинг кўп нуқталаридаги  $|\sigma_{22}|$  нинг қийматлари (асос ҳисобга олинмаган ҳолатга қараганда) 20% гача ошиши,  $|\sigma_{11}|$  қийматлари эса ўзгаришсиз қолиши, иккинчи ва тўртинчи резонанс ҳолатларида тўғоннинг юқори призмасини юқори қисмида кучланиш  $\sigma_{11}$  қийматлари  $\sigma_{22}$  га нисбатан 1,5-3 баробар ошишини кўрсатилиб, бу ўз навбатида тўғоннинг шу нуқталари атрофида силжиш деформациясини ҳосил қилиши мумкинлиги аниқланди;

-асосни эътиборга олиб мустаҳкамлик баҳоланганда тўғон танасидаги кўпгина участкаларнинг мустаҳкамлигини ошишига олиб келиши кўрсатилди, яъни мустаҳкамликнинг захира коэффицентини  $K \geq 1$  шarti бу участкаларда бажарилиб, юқори ва қуйи призманинг ўрта қисмларининг алоҳида маълум кичик соҳаларида  $K=1$  изочизиқларни ҳосил бўлиши аниқланди.

8. Ишлаб чиқилган модель, усул, алгоритм ва ЭҲМ дасурлари ёрдамида грунтли тўғоннинг асос билан биргаликда материалнинг қовушқоқ эластиклик хусусиятини ҳисобга олган ҳолда нотурғун мажбурий тебраниш масаласини ечиш мумкинлиги кўрсатилди.

9. Ҳар бир ишлаб чиқилган модель, ҳисоблаш усули, алгоритми ва ЭҲМ дастурларининг адекватлиги, аниқликлари мавжуд бўлган аниқ ечимлар билан солиштирилди, ечимларнинг амалий яқинлашишлари ҳар хил сонли чекли элементларда текширилиб моделнинг адекватлиги, ҳисоблаш усули ва ЭҲМ дастурларини тўғрилиги тасдиқланди.

10. Олинган натижалар “Қурилиш меъёрлари ва қоидалари (СНиП)” даги тўғонни мустаҳкамлиги баҳолашда фақат бир нечта хусусий тебраниш шакиллари эътиборга олиб ҳисоб ишларини бажариш ҳар доим тўғри натижаларга олиб келмаслиги кўрсатилди.

11. Ишлаб чиқилган ЭҲМ дасурларига Ўзбекистон Республикаси интеллектуал мулк агентлиги томонидан 5 та муаллифлик гувоҳномалари олинди, яъни: (1.№DГУ02137, 31.01.2011й., 2.№DГУ02873, 27.11.2014й., 3.№DГУ03050, 24.02.2015й., 4.№DГУ05104, 02.02.2018й., 5.№DГУ20180232, 29.03.2018й.)

12. Диссертация иши бўйича олинган натижалар “Гидропроект” АЖ, “Сувлойиха” ДУК ва «Water house project» МЧЖ ташкилотларда лойиха ишларида қўлланиши учун қабул қилинган.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ DSC.  
03/30.12.2019.Т.10.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ  
ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**ТОШМАТОВ ЭЛЁР СОБИРОВИЧ**

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ ОСНОВАНИЯ**

05.09.06 - Гидротехническое и мелиоративное строительство,  
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

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

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2020.4.PhD/T2012**

Диссертация выполнена в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)), размещен на веб-странице по адресу ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz))

<b>Научные руководители:</b>	<b>Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович</b> доктор технических наук, профессор, академик <b>Султанов Тахиржан Закирович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Янгиев Асрор Абдихамидович</b> доктор технических наук, профессор <b>Маткаримов Пахридин Жураевич</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Ташкентский архитектурно-строительный институт</b>

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_2021 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании Разового научного совета при Научном совете DSC. 03/30.12.2019.Т.10.02 при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары-Ниязий, 39. тел/факс: тел.:(99871) 237-22-67, факс: (99871)237-54-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. (зарегистрировано №\_\_\_\_\_) Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары-Ниязий, 39. тел.:(99871) 237-19-45 e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_2021 года  
(реестр протокола рассылки №\_\_\_\_\_от «\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_2021 года)

**М.Р.Бакиев**

Председатель Разового научного совета по присуждению ученой степени, д.т.н., профессор

**Ф.А.Гаппаров**

Ученый секретарь Разового научного совета по присуждению ученой степени, д.т.н.

**А.М.Арифжанов**

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

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире более 800 тысяч грунтовых плотин водохранилища используются на объектах энергетики и ирригации. Поэтому разработка и усовершенствование методов расчета, с целью оценки прочности гидротехнических сооружений и обеспечение их безопасности занимает особое место. В настоящее время, для использования на практике, особое внимание и важное значение уделяется разработке методов расчета и оценке сейсмостойкости грунтовых плотин с точки зрения одной из важнейших задач оценки прочности грунтовых плотин с учетом основания, неоднородности и конструктивного строения, реальной геометрии, физико-механических свойств грунтов. Одной из важнейших задач в развитых государствах, в том числе в России, США, Китае, Германии и других государствах считается разработка методов, обеспечивающих прочность и надежность проектируемых и всех строящихся гидротехнических сооружений.

В мире проводятся научно обоснованные работы, посвященные оценке методов направленных исследований. В связи с этим, при проектировании сооружений, особое внимание уделяется разработке методов НДС и динамическому поведению грунтовых сооружений с учетом основания, и усовершенствованию методов расчета грунтовых плотин, рассматривая её как единую механическую систему с учетом гидростатического давления воды, собственного веса и внешних динамических воздействий. Здесь, также учтены внутренняя диссипация и унос энергии в виде волны на бесконечную плоскость основания.

В республике строятся грунтовые плотины с учетом основания. Поэтому для оценки повышения НДС, учитывается прочность и сейсмостойкость гидростатического давления воды и динамического воздействия. При этом, также, учтены передача энергии грунтовому основанию и разработаны новые методы, которые позволили получить конкретные результаты для проведения широко-масштабных мероприятий. В «Стратегии действий по развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы» определены важные задачи по «...развитию мелиоративных и ирригационных объектов для повышения конкурентоспособности национальной экономики»<sup>1</sup>. Для реализации поставленной задачи в том числе для обеспечения сейсмостойкости водохранилища с грунтовой плотинной и оценки ее прочности вместе с основанием, учет вида сооружения, разновидность состава и свойства материала имеет важное значение.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлением

---

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

Президента Республики Узбекистан № ПП-3286 от 25 сентября 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы охраны водных объектов» и Постановлением Президента Республики Узбекистан №ПП-4794 от 30 июля 2020 года «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан» а также других нормативно-правовых документов, касающихся этой деятельности.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан в частности: IV «Математика, механика и информатика», VIII «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология переработка минерального сырья)»

**Степень изученности проблемы.** Прочности грунтовых сооружений, оценке динамического поведения и достоверности исследований посвящены научные исследования следующих ученых: К.С.Султанов, Б.Э.Хусанов, М.М.Мирсаидов, М.Р.Бакиев, Б.М.Мардонов, Т.Артыков, М. А. Ахмедов, О. Я Гловацкий, К.Д.Салямова, А.А.Янгиев, П.Ж. Маткаримов, Т.З.Султанов, Н.А.Анискин, А.С.Антонов, Ю.Б.Мгалобелов, А.В.Дейнеко, Е.Н.Беллендир, В.Б.Глаговским, З.Г.Тер-Мартirosян, Н. Д. Красник, Ю. К. Зарецкий, И. А. Константинов, В.Н.Ломбардо, И.С.Шейнин, С.Г.Шульман, Г.Л.Рубинштейн, В.С.Кузнецов, В.В.Москвитин, Б.Е.Победря, L.V.Zhang, Y.Wang, G.Wang, D.Q.Li, G.Beer, J. R.Booker, J. P.Carter, Wang Weibiao, K.Ноег, K.Nackler, P.Tschernutter, G.V.Baecher, J.T.Christian.

Процессу деформирования грунтовых плотин под действием внешних нагрузок посвящены следующие теоретические и экспериментальные исследования: К.С.Султанов, Х.З.Расулов, А.С.Хасанов, Н.А.Цытович, Х.А.Рахматулин, А.А.Ильюшен, А. Григорян, В.М. Ляхов, Н. Д. Красник, Ю. К. Зарецкий, И. А.Константинов, В.Н.Ломбардо, Б.Г.Коренева, С.С.Вялов, Э.Е.Хачиян, М.А.Колтунов, К.Р.Ram, Nakagawa Hajimi, Kawaike Kenji Baba, Yasiyuki, Zhang Hao, A.A.Balkema.

Несмотря на то, что проведенные исследования по оценке расчета прочности грунтовых плотин, разработанные модели и методы расчета гидротехнических сооружений позволили получить положительные результаты, недостаточно изученными остаются динамические процессы, происходящие в сооружении и унос энергии в виде волны от сооружения к бесконечности от основания.

**Связь диссертационной темы с планами научных работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства КХФ-4-001-«Разработка основ теории прочности и сейсмостойкости грунтовых сооружений водохранилищ», ҚХА-3-008-2015 «Разработка оценка прочности грунтовых гидротехнических

сооружений во взаимодействии с жидкостью», КХ-А-КХ-2018-294 «Разработка теоретических основ и методов оценки динамической прочности тонкостенных элементов гидротехнических сооружений с учетом структурной неоднородности», ФЗ-20200929327 «Разработка теории и методов оценки прочности и надёжности грунтовых плотин с учетом увлажнения грунта и нелинейной фильтрации».

**Целью исследований** является оценка методов НДС, динамического поведения и прочности грунтовых плотин с учетом основания и на их основе, прогнозирование прочности грунтовых плотин.

**Задачи исследований:**

разработка математических моделей, метода, алгоритма и программы на ЭВМ для оценки динамического поведения и НДС грунтовых плотин с учетом конструктивной неоднородности, реальной геометрии, гидростатического давления;

с целью определения граничных размеров Псковской плотины оценить НДС грунтовой плотины;

оценка НДС Псковской грунтовой плотины с основанием с учетом конструктивной неоднородности, реальной геометрии под действием собственного веса и гидростатического давления воды в водохранилище;

оценка прочности, напряженности сооружений с основанием и с учетом уровня заполнения, вязкоупругих свойств грунта, под действием различных кинематических воздействий, характеризующих устойчивые вынужденные колебания плотины;

На основе анализа полученных результатов определена научно-практическая значимость и новые механические эффекты.

**Объектом исследований** является планируемое строительство Псковского водохранилища.

**Предметом исследований** является грунтовая плотина водохранилища, основание, конструктивная структура сооружения, физико-механические свойства применяемого грунта, напряжения и динамическое воздействие, математические модели, оценка прочности, методы вычисления, алгоритмы и программы расчета на ЭВМ.

**Методы исследований.** В процессе исследований, для описания процесса деформирования под действием различных сил, использованы основные законы механики, математические модели, основанные на принципе возможных перемещений, методы конечных элементов и методы решения однородных и неоднородных систем алгебраических уравнений.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана усовершенствованная методика расчета для оценки напряженно-деформированного состояния, динамического поведения и прочности грунтовых плотин с основанием;

оценена прочность грунтовых плотин совместно с основанием и с учетом собственного веса и гидростатического давления;

определены частоты собственных форм колебаний грунтовых плотин с основанием под действием гидростатического давления;

оценено напряженное состояние, прочность при вынужденных колебаниях грунтовых плотин с основанием под различными кинематическими воздействиями и определены опасные напряженные участки с учетом гидростатического давления воды.

**Практические результаты исследований** заключаются в следующем:

разработана усовершенствованная методика расчета и алгоритм по определению НДС и динамического поведения грунтовых плотин совместно с основанием;

оценено НДС, динамического состояния грунтовых плотин совместно с основанием с учетом собственного веса и гидростатического давления воды;

разработана программа расчета на ЭВМ для вычисления собственных частот и форма колебаний грунтовых плотин под действием гидростатического давления;

оценена прочность грунтовых плотин с основанием под действием различных кинематических воздействий и с учетом гидростатического давления, вынужденных колебаний, а также учтены вязкоупругие свойства грунта. Разработана методика оценки напряженного состояния и программа для расчета на ЭВМ.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность полученных результатов и адекватность усовершенствованной математической модели, численные методы, алгоритмы и программы на ЭВМ сопоставлены и подтверждены решением тестовых задач, а также проведено сравнение результатов с аналитическими решениями.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов для проектируемой грунтовой плотины вместе с основанием заключается в разработке усовершенствованной математической модели, методов и алгоритмов для оценки НДС и динамического состояния грунтовых плотин с учетом конструктивной неоднородности, гидростатического давления и учета вязкоупругих свойств грунта.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработанные программы на ЭВМ для оценки напряженно-деформированного состояния строящихся в будущем под действием статических и динамических сил грунтовых плотин вместе с основанием с учетом реальной геометрии, конструктивной неоднородности позволяют использовать их при проектировании плотин.

**Внедрение результатов исследований.**

На основе оценки НДС грунтовых плотин вместе с основанием научные результаты внедрены:

методика расчета и оценка математической модели НДС грунтовых плотин внедрена в унитарном госучреждении «Сувлойиха» (свидетельство Министерства водного хозяйства от 2021г. 24 августа 03/27-2442). В

результате научных исследований появилась возможность оценки прочности грунтовой плотины вместе с основанием;

математическая модель оценки динамического поведения и методы расчета проектируемого Пскомского водохранилища с учетом основания принята к внедрению акционерным обществом «Гидропроект» (свидетельство Министерства водного хозяйства от 2021г. 24 августа 03/27-2442). В результате появилось возможность оценки прочности грунтовой плотины Пскомского водохранилища.

исследования по определению собственной частоты и видов колебания грунтовой плотины с учетом и без учета основания приняты к внедрению в обществе с ограниченной ответственностью «Water house project» (свидетельство Министерства водного хозяйства от 2021г. 24 августа 03/27-2442). В результате появилась возможность оценки прочности грунтовых плотин водохранилища.

**Апробация результатов исследований.** Результаты данных исследований обсуждены и одобрены на 3 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 7 статьи, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD), из них 4- в зарубежных журналах.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объём диссертации составляет 125 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

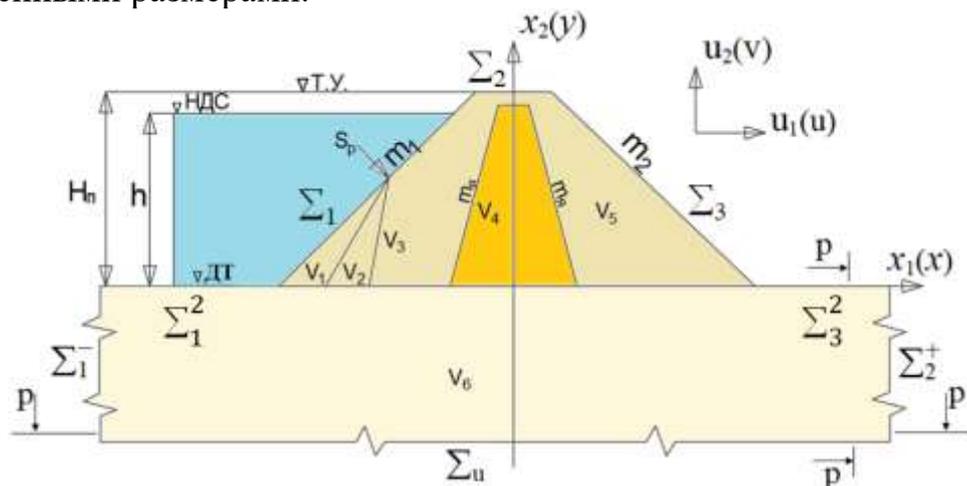
**Во введении** диссертации обоснована актуальность и востребованность выполненного исследования. Сформулированы цели и задачи, приводится объект и предмет исследований, приводится соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан. Приведена степень изученности вопроса и его непрерывная связь с НИИР, методика проведения исследований, научная новизна, достоверность, научно-практическая значимость полученных результатов, внедрение их в практику строительства, а также сведения по публикациям результатов, внедрение их в практику строительства, а также сведения по публикациям результатов исследования и структуре диссертации.

**В первой главе** диссертации под названием «Разработка НДС грунтовой плотины для оценки математической модели и методы расчета» приведены сведения о характере соединения грунтовой плотины с основанием, меры обеспечения непроницаемости воды в тело плотины, а также основная информация об НДС основания плотины. Также приводится математическая модель и методы решения механической системы, состоящей из плотины и его основания.

При постановке задачи, грунтовое сооружение рассматривается как деформируемое тело, состоящее из взаимно связанных неоднородных тел, основание которого расположено на поле бесконечности и ниже плоскости  $x_1, x_2$  с определенными размерами объемом  $V_6$ , работающее совместно с плотиной.

При этом перемещение между элементами считается непрерывным. Элементы системы отличаются физико-механическими свойствами. Причем некоторые элементы обладают упругими, а некоторые вязко-упругими свойствами (рис.1).

На этой расчетной схеме на верхней части поверхности  $\Sigma_2$ , на нижней части  $\Sigma_3$  и на стыке между основанием и плотиной  $\Sigma_3^2$  отсутствуют напряжения. Нижняя часть ограничена линией поверхности  $S_p$ , нормально заполненная верхняя призма, на верхней части основания  $\Sigma_1^2$ , действует гидростатическое давление  $\bar{p}(x, y)$ , выделенный объем обозначим через  $V_6$ . Из полупространства « $p$ - $p$ », поверхность граничащая с этой частью  $\Sigma_1^-, \Sigma_2^+, \Sigma_u$ . При этом граничные условия выбираются на основе принципа Сен-Венан с ограниченными размерами.



**Рис. 1. Расчетная схема:  $V_1, V_3, V_5$  – опорные призмы,  $V_2$  – экран,  $V_4$  – ядро,  $V_6$  – основание плотины**

Для моделирования процесса деформирования грунтовых плотин (рис.1.) используется вариационное уравнение принципа возможных перемещений:

$$-\sum_{k=1}^n \int_{V_k} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \sum_{k=1}^{n-1} \int_{V_k} \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{S_p + \Sigma_1^2} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j=1, \quad (1)$$

Для поверхностей, ограничивающие сооружение ставятся следующие однородные граничные условия:

$$\vec{x} \in \Sigma u: \vec{u} = 0; \quad \delta \vec{u} = 0; \quad \vec{x} \in \Sigma_1^- + \Sigma_2^+: \quad \vec{u} \neq 0. \quad (2)$$

На основе обобщенного закона Гука для системы зависимость между напряжением и деформацией выражается формулами:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{E_n(1-\nu_n)}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{11} + \frac{\nu_n E_n}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{22}; \\ \sigma_{22} &= \frac{E_n(1-\nu_n)}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{22} + \frac{\nu_n E_n}{(1+\nu_n)(1-2\nu_n)} \varepsilon_{11}; \\ \sigma_{12} &= \frac{E}{2(1+\nu_n)} \varepsilon_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Связь между компонентами тензора деформаций  $\varepsilon_{ij}$  и вектором перемещений описывается соотношениями Коши:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), i, j = 1, 2 \quad (4)$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}, \vec{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$$

Где :  $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  – компоненты тензора деформаций и напряжений;  $\delta u$ ,  $\delta \varepsilon_{ij}$  – изохронные вариации вектора перемещений и деформаций;  $E_n$ ,  $\nu_n$  – соответственно модули упругости и коэффициент Пуассона;  $n$ -индекс, обозначающий цифры рассматриваемой части ( $V_1, V_2, \dots, V_6$ ) сооружения,  $\vec{f}$  – вектор массовых сил,  $\bar{p}$  ( $S_p + \Sigma_1^2$ ) гидростатическое давление воды на поверхности водохранилища, которое определяется по формуле:

$$\bar{p} = \rho_o g (h - x_2), \quad (5)$$

где  $\rho_o$  – плотность воды,  $(h - x_2)$  – глубина точки на напорной грани плотины.

Целью поставленной задачи является определение, для произвольной точки сооружения, перемещения, деформации и напряжений под действием массовых сил и гидростатического давления с учетом (1), (3), (4) для произвольного принципа возможных перемещений  $\delta \vec{u}$ .

Поставленная задача, далее, с помощью процедуры метода конечных элементов вариационной задачи (1) для сооружения (рис.1), сводится к системе линейных алгебраических уравнений:

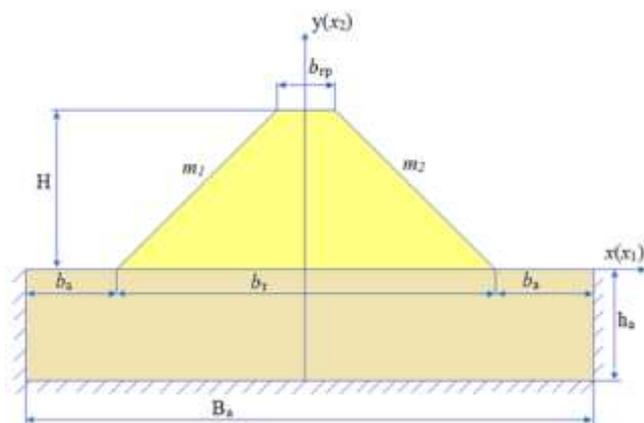
$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (6)$$

Здесь  $[K]$  – матрица жесткости системы;  $\{u\}$  – искомый вектор узловых перемещений;  $\{F\}$  – вектор амплитуд внешних нагрузок (массовых сил, гидродинамического давления воды и др.).

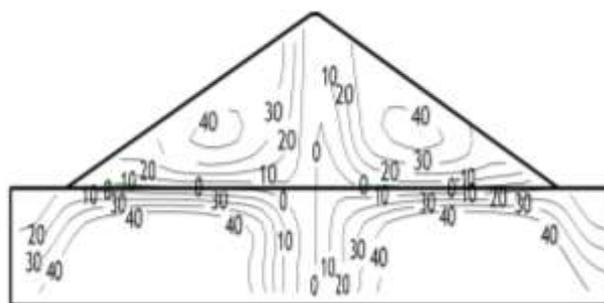
Алгебраическая система уравнений (6) решается методом Гаусса или методом квадратных корней.

Для выбора размеров основания рассматриваемого сооружения начиная с линии в которой пересекается плотина с основанием определяется ширина (горизонтал) и глубина основания. При этом эти размеры зависят от массовых сил и гидростатического давления воды (рис.2).

На основе выше приведенной методики определены значения напряжений  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  и построены изолинии (рис.3).



**Рис.2. Схема выбора размеров основания**



**Рис.3. Изолинии тензора напряжений  $\sigma_{12}$**

Проведенные исследования показали, что под действием статических сил основание грунтовой плотины с высотой 296 метров, размеры основания целесообразно выбрать вдоль горизонтали  $0,7H < b_a < 1,5H$  вдоль вертикали  $0,5H < h_a < 1,0H$ .

**Вторая глава** диссертации под названием “**Оценка грунтовых плотин НДС и прочности вместе с основанием**” посвящена оценке математической модели, численным расчетам, алгоритму и разработанной программе, с учетом и без учета основания НДС и прочности в теле плотины на основе приведенной в первой главе.

При проведении расчетов были использованы реальные геометрические размеры, конструктивные строения а также физико-механические свойства, однородность и неоднородность свойств материала сооружения.

На основе результатов установлено, что при отсутствии основания наибольшие напряжения  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  и  $\sigma_{12}$  соответствуют центру плотины и нижней части призмы. Значения касательного напряжения  $\sigma_{12}$  будут иметь нулевые значения вблизи вертикальной оси и с удалением от вертикальной оси до нижнего основания плотины увеличивается до своего максимального значения. Построенные на основе тензора напряжений изолинии грунтовой плотины с высотой 195 м условно можно считать симметричными относительно вертикальной оси. Это в свою очередь показывает близость коэффициентов наклонности и правильности полученных результатов.

Если рассматривать сооружение как однородное, то вблизи ядра значения нормальных напряжений  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  уменьшаются и построенные изолинии носят калечательный характер.

Для каждого случая (однородность, неоднородность, с учетом и без учета основания) грунтовой плотины, с учетом собственного веса, уровня заполненности определены значения компонентов тензора напряжений ( $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$ ) и их изолинии и равномерное распределение вдоль тела плотины (рис.4 и 5).

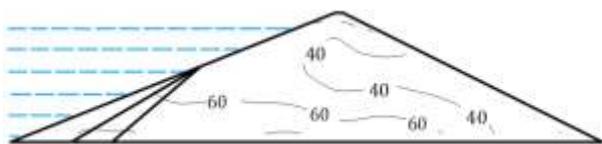
Для грунтовых плотин с учетом однородности и неоднородности, основанием и без основания под действием статических сил. На основе

оценки НДС грунтовых плотин с учетом и однородности и неоднородности при учете влияния основания и без его влияния определенные тензора напряжений на основе прочности сооружений граничного условия равновесия Кулона-Мора на основе проведенных результатов можно записать для коэффициента запаса прочности следующей формуле:

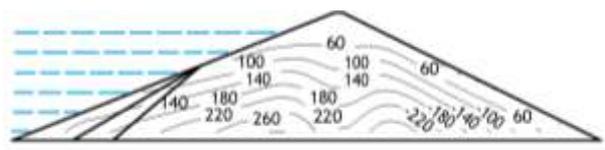
$$K = \frac{0,5(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi + c \cdot \cos \phi}{0,5(\sigma_1 - \sigma_2)} \quad (7)$$

Здесь :  $K$ - коэффициент прочности каждой точки сооружения;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  - главные напряжения каждой точки;  $\phi$  - внутренний угол трения,  $c$  - коэффициент сцепления грунтовых частиц.

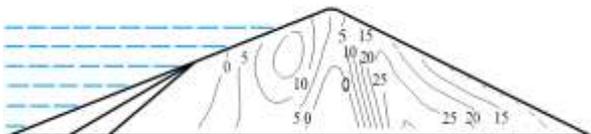
а)  $\sigma_{11}$ , МПа



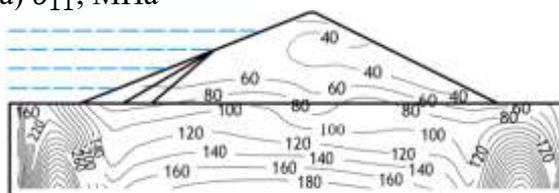
б)  $\sigma_{22}$ , МПа



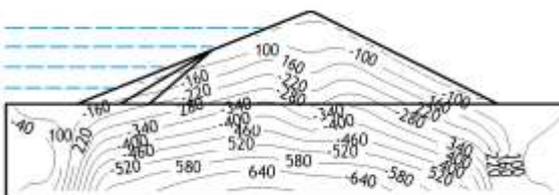
в)  $\sigma_{12}$ , МПа



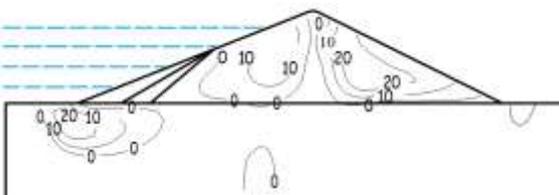
а)  $\sigma_{11}$ , МПа



б)  $\sigma_{22}$ , МПа



в)  $\sigma_{12}$ , МПа



**Рис.4. Изолинии напряженного состояния плотины Пском под действием собственного веса и гидростатического давления ( $H_{\text{вод}}=170$  м)**

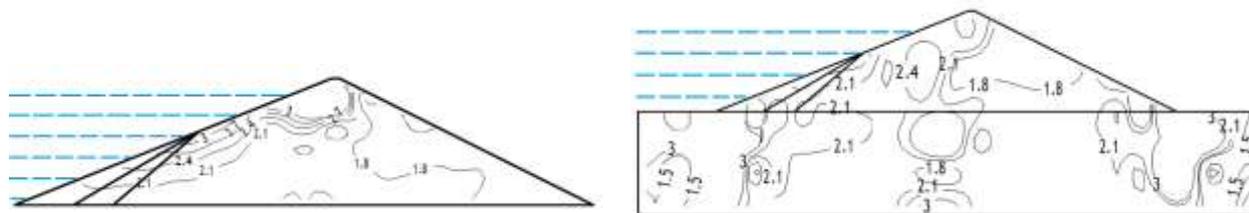
**Рис.5. Изолинии напряженного состояния Пскомской плотины с учетом неоднородности и под действием собственного веса и гидростатического давления ( $H_{\text{вод}}=170$  м) с основанием**

Видно что гидростатическое давление ( $H_{\text{вод}}=170$  м) грунтовой плотины, напряженное состояние в верхней части значительно превышает значения относительно без учета гидростатического давления.

Для полной оценки прочности грунтовых плотин необходимо определить коэффициент прочности каждой точки тела плотины и основания. Если  $K > 1$  то конструкция считается прочной и обладает запасом прочности. При  $K = 1$  в этой точке сооружение находится на границе в условии равновесия. При  $K < 1$  в точке не выполняется условие прочности и считается, что на этих участках сооружения теряется устойчивость. На рис.6 приведены изолинии распределения коэффициента запаса прочности

грунтовой плотины высотой 195 м при учете неоднородности и влияния основания и без влияния.

а) без учета основания грунтовой плотины      б) с учетом основания грунтовой плотины



**Рис.6. Изолинии распределения “K” коэффициента запаса прочности грунтовой плотины с учетом собственного веса гидростатического давления ( $H_{\text{вод}}=170$  м)**

Как видно из анализа полученных результатов под действием статических сил для каждой точки значения коэффициента запаса прочности  $K > 1,5$  т.е. удовлетворяет условию  $K > 1$ . Обнаружено, что за счет гидростатического давления в верхней призме коэффициент запаса прочности увеличивается.

В третьей главе диссертации “Оценка собственных колебаний вместе с основанием” приведена постановка задачи собственных колебаний системы “плотина-основание”. При этом рассматривается плотина с основанием (как единая система) деформируемое твердое однородное тело (рис.1).

Для моделирования собственных колебаний системы (Рис.1) воспользуемся вариационным уравнением Лагранжа, основанном на принципе Даламбера:

$$\delta A = - \int_{V+V_6} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V+V_6} \rho_n \ddot{u} \delta \bar{u} dV + \int_{\Sigma_p+S_p} \bar{p} \delta \bar{u} dS = 0, \quad (8)$$

При постановке математической задачи связь между напряжением и деформаций принимаем в виде обобщенного закона Гука, между деформацией и перемещением в виде соотношения Коши и гидростатического давления в виде (5).

К этим уравнениям дополнительно присоединяются следующие кинематические условия:

$$\bar{x} \in \sum_u: \bar{u} = 0; \quad \delta \bar{u} = 0, \quad \text{ва} \quad \bar{x} \in \sum_1^- + \sum_2^+: \quad \bar{u} \neq 0. \quad (9)$$

Решение рассматриваемой задачи ищется в виде:

$$\bar{u}(\bar{x}, t) = \bar{u}^*(\bar{x}) e^{-i\omega t}, \quad (10)$$

Здесь  $\omega$  и  $\bar{u}^*$  - собственная частота и форма колебаний:

Если подставить (10) в (8), (3), (4) и (5), то рассматриваемая задача определения собственной частоты и формы колебаний приводится к вариационному уравнению:

$$- \int_{V+V_6} \sigma_{ij}^* \delta \varepsilon_{ij} dV + \omega^2 \int_{V+V_6} p_n \bar{u}^* \delta \bar{u}^* dV + \int_{\Sigma_p+S_p} \bar{p} \delta \bar{u}^* dS = 0 \quad (11)$$

$$x \in \sum u : \delta \bar{u}^* = 0, \quad (12)$$

Здесь  $\sigma_{ij}^*$  - амплитуды тензора напряжений.

Вариационная задача (11)-(12) с помощью метода конечных элементов сводится к следующей системе однородных алгебраических уравнений:

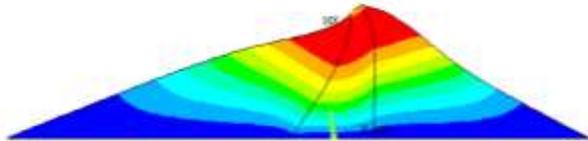
$$([K] - \omega^2 [M]) \{z\} = 0 \quad (13)$$

Решение системы (13) позволяет определить собственную частоту и форму колебаний. Здесь  $[K]$ ,  $[M]$  - соответственно матрица жесткости и массы.  $\omega$  - собственная частота,  $\{z\}$  - вектор собственных колебаний.

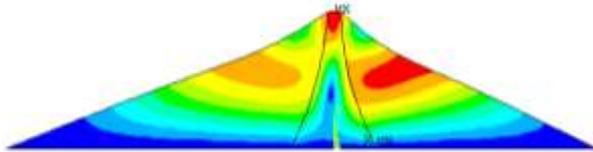
Собственная частота  $\lambda = \omega^2$  определяется методом Мюллера а, векторы  $\{z\}$  методом Гаусса.

На основании проектируемых параметров, планируемых грунтовых плотин высотой 195 м, определены собственные частоты и форма их колебаний, которые приведены на рис.7-8.

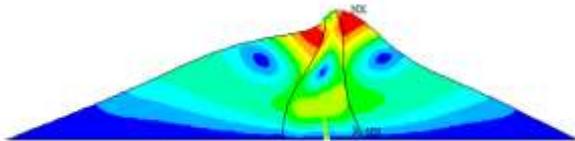
а) первое форма,  $\omega_1 = 0,21382$  Гц



б) третья форма,  $\omega_3 = 0,36307$  Гц

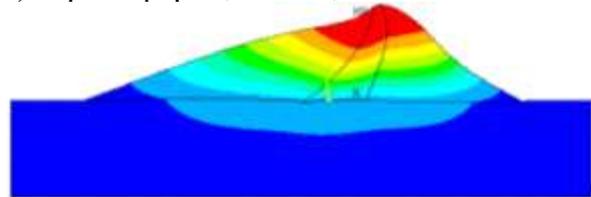


в) пятая форма,  $\omega_5 = 0,46005$  Гц

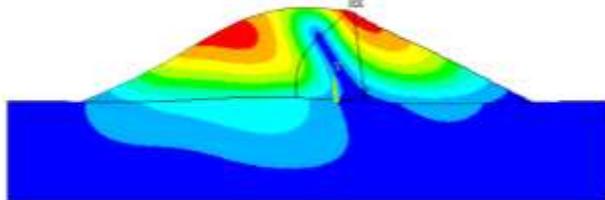


**Рис.7. Собственная частота и форма колебаний Псковской грунтовой плотины ( $E_{\text{ядро}} = 15$  МПа)**

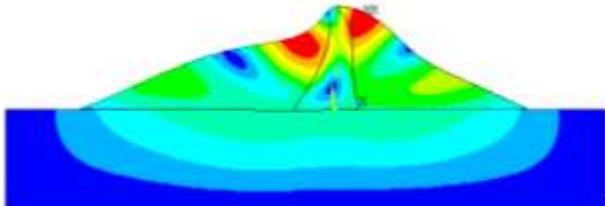
а) первое форма,  $\omega_1 = 0,18642$  Гц



б) третья форма,  $\omega_3 = 0,31842$  Гц



в) пятая форма,  $\omega_5 = 0,36093$  Гц



**Рис.8. Собственная частота и форма колебаний Псковской грунтовой плотины под действием гидростатического давления вместе с основанием**

Некоторые частоты плотины находятся в плотном спектре. Это означает, что плотина имеет большую высоту и достаточную прочность. Разница собственных частот с учетом основания и без учета составляет около 10 %. Для плотины основные нижние частоты приводят к сдвигу центрального сечения (первое форма), к вертикальному перемещению (второй форма), к сложному деформированию откосов (третья и остальные формы).

В четвертой главе диссертации “Оценка вынужденных колебаний грунтовой плотины с учетом основания” на основании расчетной схемы (рис.1) проведены исследования вынужденных колебаний системы “грунтовая плотина-основание”. При этом использование (9) вариационного уравнения с учетом условий (3), (4), (5). Причем для плоскости, ограничивающей сооружение поставлены следующие кинематические условия:

$$\vec{x} \in \Sigma_1^- + \Sigma_2^+: \quad \vec{u} \neq 0; \quad x \in \Sigma u: \vec{u}_o(\vec{x}, t) = \vec{\psi}_1(t) \quad (14)$$

Здесь  $\vec{\psi}_1(t)$  периодическая функция времени.

Для учета материала сооружения и основания в качестве связи между напряжением и деформацией использовано интегральное соотношение Больцмана-Вольтерра. Если часть материала сооружения обладает упругими свойствами, то  $K_n, \tilde{\mu}_n$ - является соответственно объемным и сдвиговым модулем упругости. Если часть элементов обладает вязко-упругими свойствами, то коэффициент  $\tilde{\mu}_n$  будет интегральным оператором вида:

$$S_{ij} = \mu_n \left[ e_{ij} - \int_{-\infty}^t \Gamma_{\mu_n}(t - \tau) e_{ij}(\tau) d\tau \right] \\ \sigma = K_n \theta, \quad (15)$$

Здесь:  $S_{ij}, e_{ij}$  – девиаторы тензора напряжений и деформаций;  $\sigma$  - шаровая часть тензора напряжений;  $\theta$  - объемная деформация;  $\Gamma_{\mu_n}$  - ядро релаксации;  $n$  – характеризует какой части сооружения относятся свойства материала.

Решение вариационного уравнения (8) представим в виде:

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}_o(\vec{x}, t) + \vec{u}^*(\vec{x}) \cdot \exp(-i\Omega t) \quad (16)$$

Здесь  $\Omega$  – частота внешних воздействий;  $\vec{u}^*(\vec{x})$  - компоненты вектора перемещений.

Для решения задач о вынужденных колебаниях интегральный оператор (16) можно представить в виде:

$$\tilde{\mu}_n \phi = \mu_n \left[ 1 - \Gamma_{\mu_n}^C(\Omega) - i\Gamma_{\mu_n}^S(\Omega) \right] \phi, \quad (17)$$

Здесь:  $\Gamma_{\mu_n}^S, \Gamma_{\mu_n}^C$  - синусы и косинус образов Фурье ядра  $\Gamma_{\mu_n}(\tau)$ .

Используя метод конечных элементов, вариационную задачу сводим к системе неоднородных алгебраических уравнений:

$$([\bar{K}] - \Omega^2[M])\{u\} = \{f\} \quad (18)$$

Здесь элементы матрицы  $[\bar{K}]$ ,  $k_{ij}(\Omega)$  зависят от частоты внешних воздействий  $\Omega$  и являются комплексными числами;  $\{u\}$  – комплексный вектор перемещения;  $\{f\}$  – вектор внешних сил от кинематических воздействий и гидростатического давления.

Алгебраическая система уравнений (18) для каждого постоянного значения решается методом Гаусса, в результате которого определяется компонент перемещения, с последующим определением перемещений для каждого элемента.

Для определения вынужденных устойчивых колебаний плотины

считаем, что основание подвергается следующему кинематическому воздействию.

$$\vec{x} \in \Sigma_u: \begin{cases} u_{10}(t) = B \exp(-i\Omega t) \\ u_{20}(t) = C \exp(-i\Omega t) \end{cases} \quad (19)$$

Здесь  $B, C$  – амплитуды кинематических воздействий.

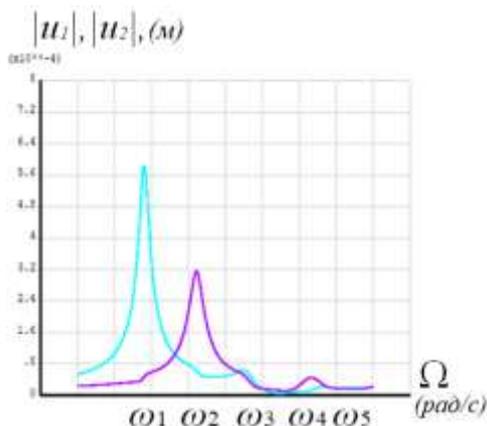
При расчете принято, что  $B/C=2,0$  ( $B=0,01\text{м}$ )  $\Omega=7 \text{ рад/сек} \div 60 \text{ рад/сек}$ .

Для шести точек грунтовой плиты с учетом основания и без учета основания построены амплитудно-частотные характеристики для горизонтального и вертикального перемещений (рис.9), характеризующие вынужденные устойчивые колебания под действием кинематических воздействий (19) для различных значений частот “ $\Omega$ ”, учитывающие вязкоупругие свойства грунта. При первом резонансе ( $\omega_1 \approx \Omega$ ) максимальная амплитуда возникает в горизонтальном направлении, а при втором резонансе максимальная амплитуда возникает в верхней и средней частях в вертикальном направлении.

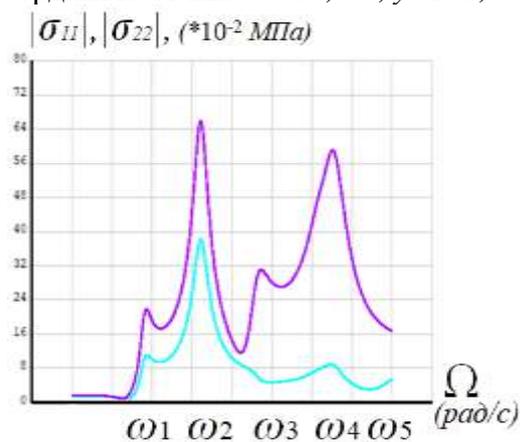
Аналогично для шести точек вычислены напряжения ( $|\sigma_{11}|, |\sigma_{22}|$ ) в горизонтальном и вертикальном направлениях. Построены их амплитудно-частотные характеристики (рис.10). Установлено, что максимальное напряжение  $|\sigma_{22}|$  происходит во втором резонансе, а в первом резонансе  $|\sigma_{11}|$  имеет минимальные значения, если не учитывать основание на (рис.9 и 10) в качестве примера рассмотрена только одна точка плиты.

Обнаружено, что если учесть основанные значения напряжения  $\sigma_{22}$  увеличатся на 20 %, при учете  $\Omega$ , только на верхней призме плиты при второй и четвертой собственной частоте напряжения  $\sigma_{11}$  относительно  $\sigma_{22}$  увеличится на 1,5-3 раза и при этом вокруг этих точек возникают сдвиговые деформации (рис.10).

Координата точки:  $x=7,0 \text{ м}, y=195,0 \text{ м}$  Координата точки:  $x=-36,9 \text{ м}, y=163,4 \text{ м}$ .



**Рис.9.** Амплитудно-частотные характеристики при учете основания (—) горизонтальные и (—) вертикальные перемещения точки грунтовой плиты

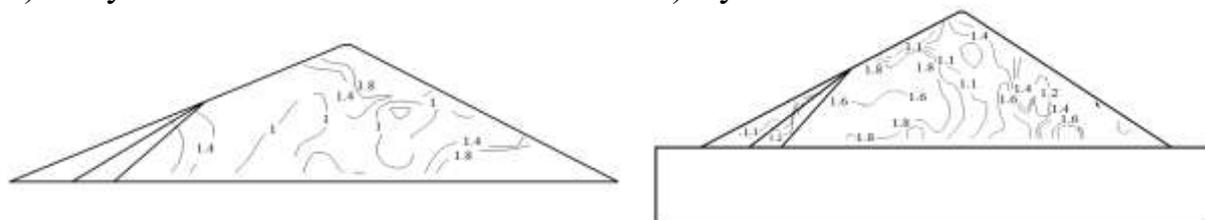


**Рис.10.** Амплитудно-частотные характеристики грунтовой плиты с учетом основания для точки F1 ( $x, y$ ), где (—) горизонтальные и (—) вертикальные перемещения

На этих рисунках приведены распределения компонентов напряжений и коэффициента запаса прочности под кинематическим воздействием при различных значениях частоты  $\Omega$ . На основе анализа полученных результатов установлено, что если частота кинематических воздействий близких к резонансному, то на многих участках плотины прочность не соответствует требованию прочности (рис.11а).

а) без учета основания

б) с учетом основания



**Рис.11. Изолинии распределения коэффициента запаса прочности грунтовой плотины**

Вместе с этим исследованы неустойчивые вынужденные колебания грунтовой плотины под различным кинематическим воздействием.

Из полученных результатов видно, что если частота внешних воздействий отличается от собственной частоты (меньше или больше), то максимальное значение амплитуды соответствует первому, третьему и четвертому периодам колебаний. При отсутствии внешних воздействий затухание амплитуды колебаний до резонансного режима при условии  $p < \omega_1$  относительно случаю  $p > \omega_1$  происходит быстрее.

## ВЫВОДЫ

1. На основе оценки НДС вместе с основанием под действием различных внешних нагрузок, с учётом конструктивной неоднородности, реальной геометрии, гидростатического давления разработана математическая модель, методика расчёта, алгоритм и программы расчёта на ЭВМ.

2. Для полноценной оценки высотной грунтовой плотины с основанием определены геометрические размеры основания, выделенные из бесконечной основы.

3. Оценено напряжённое состояние сооружений с основанием с учётом гидростатического давления воды и собственного веса для плоского деформирования системы «грунтовая плотина» и «грунтовая плотина-основание» рассматриваемая как единая модель.

4. Получены следующие результаты в случае когда проектируемая Пскомская (высотой 195 м) грунтовая плотина рассматривается как единая деформируемая система:

-установлено, что при учёте неоднородности механических параметров материала экрана, ядра и верхней призмы плотины выявлены уменьшения напряжения в поперечном сечении, в части где расположено ядро. Определены изолинии, построенные на тех напряжениях, где обнаружен арочный эффект;

-условие заполнения грунтовых плотин приводит к резкому изменению напряжённого состояния верхней призмы относительно без учёта гидростатического давления. Особенно такое положение обнаружено, когда водохранилище заполнено полностью. Причём компоненты напряжения  $\sigma_{11}$  и  $\sigma_{12}$  значительно увеличиваются. Напряжение  $\sigma_{11}$  на основании и верхней части призмы увеличивается до 30-45%, а  $\sigma_{12}$  верхней части призмы и на основании увеличивается в 2-3 раза;

-определение коэффициента запаса прочности, определённые на основе теории прочности Кулона-Мора при учёте совместной работы с основанием и без учёта основания приводит верхней и средней части платины, изменяя направление деформации основания и распределения напряжения в теле плотины из-за небольшого отклонения уменьшения на 40-50%;

5. С учётом конструктивного строения, реальной геометрии и физико-механических свойств грунтовой проектируемой плотины Пскомского водохранилища вместе с основанием и на основе исследования собственной частоты и формы колебаний установлено:

-при значении коэффициентов модуля упругости  $E_{\text{ядро}}=15$  МПа и  $E_{\text{ядро}}=30$  МПа в части ядра грунтовой плотины вычислены собственные частоты и формы колебаний, различные деформации без учёта основания.

-значения собственной частоты с учётом основания меньше на 10% чем без учета основания. Определены формы колебаний при низких частотах, изгиб центрального сечения плотины (первая форма), продольной деформации (вторая форма), сложной деформации (третья и последующие формы);

-собственные колебания с учётом гидростатического давления приводят к уменьшению собственной частоты плотины. Однако при этом не изменными остаются первая и вторая форма колебаний. Определены деформации изгиба для третьей и выше форм колебаний;

6. Рассматривая грунтовую плотину с основанием как единую систему с учетом неоднородности и вязко-упругих свойств на основе теории Больцмана-Вольттера, для оценки устойчивых вынужденных колебаний, разработан метод расчёта математической модели, алгоритм и программы для ЭВМ.

7. На основе исследования вынужденных устойчивых колебаний Пскомской грунтовой плотины без основания, с учётом вязко-упругих характеристик (под кинематическим воздействием) определены:

-наибольшая горизонтальная амплитуда возникает в верхней и средней частях плотины при первом резонансе, а во втором резонансе возникает наибольшая вертикальная амплитуда перемещений. Это означает, что первая собственная частота колебаний характеризуют изгиб формы, а второй собственной частоте соответствует продольная деформация;

-определено, что при первой частоте собственных колебаний в средней и нижней части плотины напряжение  $\sigma_{11}$  достигает своего максимального значения, при этой же резонансной частоте на нижней и верхней части, близкой к откосу, появляются два компонента напряжения ( $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ), а самое

большое вертикальное напряжение  $|\sigma_{22}|$  проявляется во втором резонансе на точках нижней части плотины;

-если некоторые частоты сооружения расположены близко друг к другу ( $\omega_4, \omega_5$ ) в этих резонансных режимах в ряде точек плотины возникает наибольшее значение амплитуды напряжений;

-во многих точках плотины при учёте основания значения напряжений  $|\sigma_{22}|$  возрастает на 20% по сравнению, когда не учитывается влияние основания. Значение  $|\sigma_{11}|$  остаётся неизменным. Во втором и четвёртом резонансном режимах в верхней части плотины, относительно  $\sigma_{22}$  увеличится в 1,5-3 раза, а это в свою очередь приводит к появлению сдвиговых деформаций вокруг рассматриваемых точек;

-показания, что оценка прочности плотины с учётом основания приводит к увеличению прочности, т.е. коэффициент запаса прочности  $K \geq 1$  выполняется на этих участках, а в некоторой части верхней и нижней частях призмы при  $K=1$  возникают изолинии.

8. Разработанная модель, метод, алгоритм и программы на ЭВМ, с учётом основания грунтовой плотины позволили решить задачу о неустойчивых вынужденных колебаниях с учетом вязко-упругих свойств материала.

9. Достоверность результатов разработанных моделей, методики, алгоритм и адекватность программ на ЭВМ сопоставлены с решением задач известных моделей, практической сходимости решений, проверены численные конечные элементы адекватности модели, методика расчёта и правильности программы на ЭВМ.

10. Полученные результаты позволяют установить, что оценка прочности грунтовых плотин на основе СНиП не всегда удовлетворяет требованиям поставленных к собственным частотам.

11. На разработанные программы на ЭВМ получено 5 авторских свидетельств. (1.№DGU02137, 31.01.2011г., 2.№ DGU02873, 327.11.2014г., 3.№DGU03050, 24.02.2015г., 4.№DGU05104, 02.02.2018г., 5.№DGU20180232, 29.03.2018г.)

12. Результаты, полученные по теме диссертации внедрены в АО «Гидропроект», АО «Узсувлойха» и ООО «Water house project».

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL UNDER SCIENTIFIC COUNCIL  
AWARDING SCIENTIFIC DEGREES DSc. 03/30.12.2019.T.10.02 AT  
TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS**

---

**TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS**

**TOSHMATOV ELYOR SOBIROVICH**

**ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF EARTH DAMS  
TAKING INTO ACCOUNT THEIR FOUNDATIONS**

**05.09.06 –Hydro–Technical and Land Reclamation Engineering,  
01.02.04 – Mechanics of Deformable Rigid Body**

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

**Tashkent-2021**

**The theme of doctoral dissertation (PhD) on technical science was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with number B2020.4.PhD/T2012**

The doctoral dissertation has been prepared at the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) is placed on website ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) and information-educational portal Ziyonet at the address ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich</b> doctor of technical sciences, professor, academician
	<b>Sultanov Takhirjon Zakirovich</b> doctor of technical sciences, professor,
<b>Official opponents:</b>	<b>Yangiev Asror Abdikhamidovich</b> doctor of technical sciences, professor
	<b>Matkarimov Pakhrudin Juraevich</b> doctor of technical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Tashkent Institute of Architecture and Construction</b>

The defense will take place «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 at \_\_\_\_\_ at the meeting of one-time Scientific council at the Scientific council DSc.03/30.12.2019.T.10.02 at the Tashkent Institute of Irrigation and Mechanization of Agriculture Engineers (Address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Tel: (99871) 237-22-67; Fax: (99871) 237-54-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Centre of the Tashkent Institute of Irrigation and Mechanization of Agriculture Engineers (registered with № \_\_\_\_\_) at the address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Tel: (99871) 237-19-45

Abstract of dissertation was sent «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021  
(register of the distribution protocol № \_\_\_\_\_ from «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021)

**M.R Bakiev**

Chairman of the one-time scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**F.A. Gapparov**

Scientific secretary of the one-time scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences

**A.M. Arifjanov**

Chairman of the one-time scientific seminar under the one-time scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract to PhD thesis)

**The aim of the research** is to assess the methods of stress-strain state, dynamic behavior and strength of earth dams taking into account the foundation and using these methods to predict the strength of earth dams.

**The object of the research** is the planned construction of the Pskom reservoir.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

an improved calculation method was developed for assessing the stress-strain state, dynamic behavior and strength of earth dams with a foundation;

the strength of an earth dam is estimated with the foundation and considering its own weight and hydrostatic pressure;

the eigenfrequencies and the modes of oscillations of earth dams with a foundation under the action of hydrostatic pressure were determined;

the stress state, strength under forced vibrations of earth dams with a foundation under various kinematic effects were evaluated, and hazardous stressed areas were determined taking into account the hydrostatic pressure of water.

### **Implementation of research results.**

Based on the assessment of the stress-strain state of an earth dam with a foundation, the following scientific results were implemented:

The methods for calculating and evaluating the mathematical model of the stress-strain state of earth dams were introduced in the Unitary State Organization "Suvloyikha" (Certificate of the Ministry of Water Resources 03/27-2442, dated August 24, 2021). As a result of scientific research, it became possible to assess the strength of an earth dam with its foundation;

a mathematical model for assessing the dynamic behavior and methods for calculating the projected Pskom reservoir with its foundation was adopted for implementation by the joint-stock company "Hydroproject" (Certificate of the Ministry of Water Resources dated August 24, 2021, 03/27-2442). As a result, it became possible to assess the strength of an earth dam of the Pskom reservoir;

studies to determine the eigenfrequency and modes of vibration of an earth dam with and without considering the foundation were accepted for implementation in the LLC "Water house project" (Certificate of the Ministry of Water Resources dated August 24, 2021, 03/27-2442). As a result, it became possible to assess the strength of the earth dams of the reservoir.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 125 pages.

## ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

### Список опубликованных работ

#### List of published works

#### I бўлим (I часть; I part)

1. Мирсаидов М., Султонов Т., Юлдошев Б., Ярашов Ж., Тошматов Э., Руми Д. Оценка напряженно-деформированного состояние грунтовых плотин с учетом геометрической нелинейности при статических нагрузках //Ирригация ва мелиорация журнали. – Тошкент, 2018. - №3(13). – С. 24-30. (05.00.00; №22).

2. Мирсаидов М., Тошматов Э. Исследование динамического поведения грунтовых плотин совместно с основанием // Ирригация ва мелиорация журнали. – Тошкент, 2018. – Махсус сон. – С. 38-43. (05.00.00; №22).

3. Mirsaidov M., Sultanov T., Abdulkarimov R., Ishmatov A., Yuldoshev B., Toshmatov E., Juraev D. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects // Инженерно-строительный журнал. – Россия, 2018. -№1. Pp.101-111. doi: 10.18720/MCE.77.9.

4. Худойназаров Ш., Юлдошев Б., Уринов Б., Тошматов Э., Ярашов Ж. Исследование установившихся колебаний грунтовых сооружений //Ирригация ва мелиорация журнали. – Тошкент, 2018. - №3(13). – С. 18-24. (05.00.00; №22).

5. Mirsaidov M., Toshmatov E. Spatial stress state and dynamic characteristics of earth dams // Инженерно-строительный журнал. – Россия, 2019. - №89 (5), – С. 3–15. doi: 10.18720/MCE.89.1

6. Mirsaidov M., Sultanov T., Toshmatov E., Yarashov J. Assessment of dynamic behaviour of earth dams taking into account large strains // E3S Web of Conferences 97. Vol.05019, January 2019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199-705019>.

7. Mirsaidov M., Sultanov T., Ergashev R., Yuldoshev B., Toshmatov E., Yarashov J. Strength assessment of earth dams // MATEC Web Conferences. International Geotechnical Symposium “Geotechnical Construction of Civil Engineering & Transport Structures of the Asian-Pacific Region” Vol. 265, January 2019. – P. 04015. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926504015>.

#### II бўлим(II часть; II part)

8. Султонов Т., Юлдашаев Б., Тошматов Э., Руми Д. Использование сейсмопоясов для повышения устойчивости грунтовых плотин //Республиканская научно-техническая конференция с участием зарубежных ученых, посвященная 80-летию ТаШИИТ. – Ташкент, 2011. –С. 115-117.

9. Юлдашаев Б., Ярашов Ж., Тошматов Э. Некоторые технологические и инженерные решения повышающие надежность работы грунтовых плотин // Ер ресурсларидан самарали фойдаланиш ва уларни муҳофаза қилишнинг

долзарб муаммолари. мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани мақолалари тўплами. –Тошкент, 2011.- Б. 304-305.

10. Султонов Т., Юлдашаев Б., Тошматов Э. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин под действием собственного веса сооружения на основе плоских и пространственных моделей // Гидротехника иншоотларининг самарадорлигини, ишончилигини ва хавфсизлигини ошириш Республика илмий-амалий конференция материаллари. –Тошкент, 2012. –Б. 237-241.

11. Мавланов Т., Ярашов Ж., Тошматов Э., Рахимов Ж. Расчет призматических элементов гидротехнических сооружений численным методом // Суғориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини яхшилаш ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш муаммолари мавзусидаги Республика илмий-техник анжумани. –ТИМИ, 2015. –Б. 225-228.

12. Мирсаидов М.М, Ишматов А.Н., Уринов Б.Х., Тошматов Э.С., Оценка напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин при периодических кинематических воздействиях с учетом линейно-вязкоупругих свойств грунта // Материалы международной научно-технической конференции: Современное состояние и перспективы развития строительной механики на основе компьютерных технологий и моделирования. – Самарканд, 2017. –С. 397-399.

13. Мавланов Т., Тошматов Э., И.Зокиров. Моделирование основных задач системной безопасности // Агро илм. –Тошкент, 2018. –Махсус сон. –Б. 38-39.

14. Мирсаидов М., Султанов Т., Тошматов Э., Исамухамедов Т. Оценка напряженно - деформированного состояния грунтовых плотин на основе плоской и пространственной моделей // Деформацияланувчан қаттиқ жисмлар механикаси мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани, – ТИҚХММИ, 2018. –Б.149-157.

15. Султонов Т., Юлдашаев Б., Тошматов Э., Ярашов Ж. Исследование динамики грунтовых плотин на основе пространственной модели при однокомпонентном кинематическом воздействии // Агроиктисодий. – Тошкент, 2019. –Махсус сон №2. –Б.98-99.

16. Мавланов Т., Тошматов Э. Расчет призматических элементов гидротехнических сооружений численным методом // Ўзбекгидроэнергетика. –Тошкент, 2019. –№3. –С.58-60.

17. Sultanov T., Fayziyev X., Toshmatov E., Zokirov I. Stability of dam slopes of phosphogypsum sludge collectors // IOP Conf. Series: –Materials Science and Engineering. Vol.869, 2020. –P.1-10. doi:10.1088/1757-899X/869/7/072031.

18. Мавлонов Т., Тошматов Э., Хазраткулов И., Нумонов А. Собственные колебания оболочки двойкой кривизны // Архитектура қурилиш дизайн. – Тошкент. 2020. №1, –С. 205-208.

19. Sultanov T., Fayziyev X., Toshmatov E., Numonov A. Filtration and perational parameters determination of phosphogypsum sludge storage // IOP

Conf. Series: –Materials Science and Engineering. 2021. –P.1-10.  
doi:10.1088/1757-899X/1030/1/012143.

20. Мирсаидов М., Султанов Т., Юлдошев Б., Тошматов Э. «VYA-ACHX.FOR» Текис деформация ҳолатида ишловчи грунтли тўғонларни чекли элементлар усули ёрдамида материалнинг қовушқоқ эластиклик хусусиятини ҳисобга олган ҳолда турғун мажбурий тебранишини, амлитуда частота тавсифларини текшириш дастури // №DGU 02137. –Тошкент, 2011.

21. Ходжаев Д., Юлдошев Б., Уринов Б., Тошматов Э., Ярашов Ж. Гамма-функциянинг интегралини ҳисоблаш дастури // № DGU 02873. –Тошкент, 2014.

22. Султанов Т., Юлдошев Б., Тошматов Э., Руми Д. «STATIC-STEADY.FOR» Грунтли тўғонларнинг қияликларини статик ҳолатдаги мустаҳкамлигини аниқлаш дастури // № DGU 03050. –Тошкент, 2015.

23. Мирсаидов М., Султанов Т., Ходжаев Д., Тошматов Э., Ярашов Ж. ЧЭУ билан грунтли тўғонларнинг динамик характеристикаларини аниқлаш. // № DGU 05104. –Тошкент, 2018.

24. Мирсаидов М., Султанов Т., Ходжаев Д., Тошматов Э., Ярашов Ж., Уринов Б. «PLOTINA-СТАТИКА.FOR» Грунтли иншоотларнинг кучланганлик-деформация ҳолатларини аниқлаш дастури // № DGU 20180232. –Тошкент, 2018.

Автореферат «IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлари мослиги текширилди (5.11.2021 й.).

Босишга рухсат этилди: 24.11.2021 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табағи: 2,9. Адади 100. Буюртма № 204.  
Тел (99) 832 99 79; (97) 815 44 54.  
Гувоҳнома reestr № 10-3279  
“IMPRESS MEDIA” МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
100031, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6-уй