

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ 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” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЖЎРАЕВ ДОНИЁР ПАХРИДИН ЎҒЛИ**

**ГРУНТЛИ ТЎҒОНЛАРНИНГ ФАЗОВИЙ КУЧЛАНГАНЛИК  
ҲОЛАТЛАРИ ВА ДИНАМИК ТАВСИФЛАРИНИ БАҲОЛАШ**

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

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

Тошкент–2022

**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**

**Жўраев Дониёр Пахридин ўғли**

Грунтли тўфонларнинг фазовий кучланганлик ҳолатлари ва динамик тавсифларини баҳолаш ..... 3

**Жураев Дониёр Пахридин угли**

Оценка пространственного напряженного состояния и динамических характеристик грунтовых плотин ..... 25

**Juraev Doniyor Pakhridin ugli**

Assessment of spatial stress state and dynamic characteristics of earth dams 45

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 48

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ 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” МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЖЎРАЕВ ДОНИЁР ПАХРИДИН ЎҒЛИ**

**ГРУНТЛИ ТЎҒОНЛАРНИНГ ФАЗОВИЙ КУЧЛАНГАНЛИК  
ҲОЛАТЛАРИ ВА ДИНАМИК ТАВСИФЛАРИНИ БАҲОЛАШ**

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

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

**Тошкент–2022**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.4.PhD/Т3006 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетида 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.ziynet.uz](http://www.ziynet.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

**Сафаров Исмоил Иброхимович**  
физика-математика фанлари доктори, профессор

**Етақчи ташкилот:**

**Тошкент архитектура-қурилиш институти**

Диссертация ҳимояси “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети ҳузуридаги DSc. 03/30.12.2019..Т.10.02 рақамли илмий кенгаш асосидаги бир марталик илмий кенгашнинг 2022 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” Миллий тадқиқот университети 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 2022 йил «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ да тарқатилди.

(2022 йил «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ даги № \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**А.Т.Салоҳиддинов**

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.

**М.Р.Бакиев**

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 сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш мақсадида кўплаб сув омборлари бунёд этилган бўлиб, сув омборларнинг грунтли тўғонларини кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари, мустаҳкамлиги ва устуворлигини таъминлаш, самарали муҳандислик ечимларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда грунтли тўғонларнинг мустаҳкамликка ва зилзилабардошликка чидамлилигини баҳолашнинг такомиллашган усулларини амалиётга жорий этиш зарурияти белгиланган. Бу борада, грунтли тўғонларни моделлаштириш жараёнида мажбурий ва асоссиз соддалаштиришларга (текис моделга) мурожаат этмасдан, ҳақиқий кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолаш бўйича ҳисоблаш модели ва усулларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда грунтли тўғонлар курилишида ишлатиладиган грунтларнинг физик-механик хоссаларини таҳлил қилиш, грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолаш учун хусусий оғирлик, сув омборидаги сувнинг тўғонга кўрсатадиган гидростатик босимини ҳисобга олувчи математик моделларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада, грунтли тўғонларни лойиҳалаш ва ишлаш шароитларини ҳисобга олган ҳолда кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ва мустаҳкамлигини ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш бўйича тадқиқот ишларини ўтказишга алоҳида эътибор берилмоқда. Шу муносабат билан грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлиги ва зилзилабардошлигини баҳолаш усулларини такомиллаштиришга қаратилган тадқиқотларни ўтказиш, жумладан грунтли тўғонларни лойиҳалашда уларнинг фазовий кучланганлик-деформацияланиш ҳолати ва мустаҳкамлигини олдиндан аниқлаш усуллари долзарб вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамызда грунтли тўғонларни барпо этишда уларнинг кучланганлик-деформация ҳолатини баҳолаш, грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлиги ва зилзилабардошлигини ошириш, сув омборидаги сувнинг грунтли тўғонларга гидростатик босими ва динамик таъсирида тўғонларнинг деформациясини аниқлашнинг янги услубларини ишлаб чиқиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилган. Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини 2020-2030 йилларда ривожлантириш концепциясида “...сув ва сел-сув омборлари ва бошқа сув объектларини хавфсиз ҳамда ишончли ишлашини таъминлаш”<sup>1</sup> бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, жумладан, сув омборлари ва улардаги грунтли тўғонларнинг конструктив бир жинссизлиги, реал геометрияси ва сув омборидаги сувнинг гидростатик

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 10 июлдаги ПФ-6024-сон «Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини 2020-2030 йилларда ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида»ги Фармони.

босимини инобатга олган ҳолда уларнинг мустаҳкамлиги ва ишончлилигини баҳолаш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикасининг 1999 йил 20 августдаги “Гидротехника иншоотларининг хавфсизлиги тўғрисида”ги, Ўзбекистон Республикасининг 2021 йил 13 сентябрдаги “Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тўғрисида”ги қонунлари, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 30 майдаги “Ўзбекистон Республикасининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-144 сонли фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 30 июлдаги “Ўзбекистон Республикаси аҳолиси ва ҳудудининг сейсмик хавфсизлигини таъминлаш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4794 сонли қарори, ҳамда мазкур соҳага тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши 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” ва VIII. “Ер фанлари (Геология, геофизика, сейсмология ва минерал хом ашёларни қайта ишлаш)” устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирли кунда грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформацияланиш ҳолатларини, мустаҳкамлиги ва ишончлилигини баҳолашга бағишланган илмий муаммолар бўйича М.М.Мирсаидов, К.С.Султанов, М.Р.Бакиев, Б.М. Мардонов, Б.Э.Хусанов, К.Д. Салямова, А.А.Янгиев, П.Ж.Маткаримов, Т.З.Султанов, Н.Д.Красников, Ю.К.Зарецкий, И.Н.Ивашченко, В.М.Ляхтер, Я.И.Натариус, В.М.Сеймов, Б.Н.Островер, Е.И.Ермоленко, V.A.Bratov, A.V.Plyashenko, Я.М.Айзенберг, Д.В.Мишин, Sh.Shayan, A.T.Carla, C.Deaf, Jiancheng Cai ва бошқа кўплаб олимлар томонидан илмий изланишлар олиб борилган ва ижобий натижаларга эришилган.

Грунтли тўғонларнинг ЭҲМ дастурлари ёрдамида кучланганлик-деформация ҳолатларини, мустаҳкамлиги ва ишончлилигини баҳолашга доир илмий ишлар М.М.Мирсаидов, К.С.Султанов, Б.Э.Хусанов, А.С.Хасанов, Н.А.Цытович, Д.В.Мишин, Х.А.Рахматулин, В.М.Ляхов, И.А.Константинов, В.Н.Ломбардо, М.Аҳмад, Р.Мостафа, K.Arman, Sh.Mohammad, T.Kargari, S.Fazlollah, Ш.Шаян, С.Фазлоллаҳ, T.D.Smith, R.Slyz, C.Francesco, L.Pelecanos, Y.Parish, A.Behrouz, A.Masoud, M.Sadek, R.M.Ahmad, Z.R.Mostafa, B.Behrang, I.Shahrour ва қатор тадқиқотчиларнинг ишларида ёритилган.

Олиб борилган илмий тадқиқотлар ва уларнинг таҳлили ҳозирги кунда грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ҳамда мустаҳкамлигини баҳолашнинг илмий асосланган усулларини ишлаб чиқиш каби масалалар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий ишлари режаси билан боғлиқлиги.**

Диссертация иши “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетининг илмий-тадқиқот режаси ва № ФЗ-20200929327- “Грунтнинг намланганлик ва чизиқсиз фильтрацияни ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлик ва ишончилигини баҳолаш назарияси ва усулини ишлаб чиқиш” (2021-2026) ва ЎзР Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Сейсмология, иншоотларнинг сейсмик мустаҳкамлигини ва сейсмик хавфсизликни таъминлаш соҳасини қўллаб – қувватлаш жамғармаси томонидан молиялаштирилган №29/2022-«Грунтли тўғонларнинг зилзилабардошлигини тўғон танаси бўйича тарқаладиган нотурғун фильтрация жараёнини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш» (2022-2023) мавзуларидаги грантлар асосида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади:** Грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва динамик тавсифларини баҳолаш учун фазовий ҳисоблаш моделини танлаш, тадқиқот усулларини ишлаб чиқиш, алгоритмини яратиш ҳамда фазовий ва текис моделлар ёрдамида олинган натижаларни таққослаш орқали, тўғонлар учун ҳисоб моделини танлаш бўйича тавсия ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

- грунтли тўғонларнинг реал геометрияси ва конструктив бир жинссизлигини ҳисобга олган ҳолда уларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолашнинг текис ва фазовий математик моделларини такомиллаштириш;

- текис ва фазовий математик моделлар ёрдамида грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация, динамик ҳолатлари ва мустаҳкамлигини Abaqus CAE дастурий таъминоти ёрдамида ҳисоблаш усули ва алгоритмини такомиллаштириш;

- конструктив тузилиши, геометрик ўлчамлари бўйича бир-биридан фарқ қилувчи грунтли тўғонларни танлаш, уларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини иншоотнинг хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг тўғонга кўрсатадиган гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда текис ва фазовий моделлар ёрдамида баҳолаш;

- грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатларини ва мустаҳкамлигини ҳисоблашнинг мақбул (текис ёки фазовий) моделини танлаш;

- грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини мустаҳкамликнинг энергетик назарияси ёрдамида баҳолаш асосини ишлаб чиқиш;

- грунтли тўғонларнинг динамик характеристикаларини текис ва фазовий моделлар ёрдамида аниқлаш;

- олинган натижаларни таҳлил қилиш ва янги механик эффектларни аниқлашдан иборатдир.

**Тадқиқот объекти** сифатида Республикамиз ҳудудида қурилган Ҳисорак, Сох ва Пачкамар сув омборларининг грунтли тўғонлари олинган.

**Тадқиқот предмети.** Статик кучлар таъсирида грунтли тўғонларда содир бўладиган деформацияланиш жараёнларини ифодаловчи механиканинг умумий қонунлари, мумкин бўлган кўчиш принципига асосланган Лагранжнинг вариацион тенгламаси, Даламбер принципи ҳамда чекли элементлар усули, бир жинсли ва бир жинсиз алгебраик тенгламаларни ечиш усулларидадан фойдаланилган.

**Тадқиқот усуллари.** Тадқиқот ишларида деформацияланиш жараёнларини ифодаловчи механиканинг умумий қонунлари, мумкин бўлган кўчиш принципига асосланган математик моделлар, ҳисоблаш ишларини бажариш учун чекли элементлар усули (ЧЭУ) ва бир жинсли ва бир жинсиз алгебраик тенгламалар системасини ечиш усулларидадан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

- сув омборлари грунтли тўғонларининг конструктив бир жинсизлигини ҳисобга олган ҳолда турли кучлар таъсирида иншоотларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолашнинг текис ва фазовий математик моделлари такомиллаштирилиб, Abaqus CAE дастурий таъминотида ҳисоблаш усули ва алгоритми ишлаб чиқилган;

- конструктив тузилиши бўйича бир-биридан фарқ қилувчи учта грунтли тўғоннинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини иншоотларнинг хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда текис ва фазовий моделлар ёрдамида баҳоланган;

- грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолашда уларнинг конструктив тузилиши ва геометрик ўлчамларига кўра текис ёки фазовий моделда ҳисоблашнинг мақбул варианты таклиф этилган;

- грунтли тўғонларнинг бўйлама ва кўндаланг кесмлари ўлчамларига кўра тўғоннинг бўйлама узунликларининг ўртача қиймати  $L_{yp} = (L_0 + B_0) / 2$  ни

баландлиги  $H$  га нисбати  $\frac{L_{yp}}{H} < 4$  бўлганда фазовий модель асосида,  $\frac{L_{yp}}{H} \geq 4$

бўлганда эса текис моделдан ҳам фойдаланиш мумкинлиги асосланди;

- фазовий модель ёрдамида ҳар хил тўғонлар учун динамик характеристикалар олиниб, энергетик назария ёрдамида тўғоннинг мустаҳкамлиги паст жойлари аниқланган;

- фазовий модел ёрдамида тўғонларнинг кучланганлик ҳолатини хажмий кучлар таъсирига баҳолашда тўғон танасининг баъзи жойларида ҳосил бўлиши мумкин бўлган чўзилиш деформациялари аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат:

- грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари ва мустаҳкамлигини баҳолашнинг фазовий модели ва Abaqus CAE дастури ёрдамида юқори аниқликда натижалар олиш имконияти яратилган;

- грунтли тўғонларининг хусусий оғирлиги ва сув омборининг гидростатик босими таъсирида кучланганлик деформация ҳолатлари текис ва фазовий моделларда баҳоланиб, ҳар бир тўғон учун ҳисоблаш моделини танлаш бўйича тегишли тавсиялар ишлаб чиқилган;

- тўғонларнинг конструктив хусусиятлари, ҳақиқий геометрик ўлчамлари, грунтларнинг физик-механик хусусиятлари ҳамда сувнинг гидростатик босимни ҳисобга олган ҳолда ҳар бир грунтли тўғон учун текис ёки фазовий модель ёрдамида ҳисоб ишларини бажариш бўйича тавсиялар берилган;

- грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини аниқроқ баҳолаш учун мустаҳкамликнинг энергетик назарияси қўллаш тавсия қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Олинган тадқиқот натижаларининг ишончилиги такомиллаштирилган текис ва фазовий моделларнинг адекватлиги, ҳисоблаш усуллари, алгоритми, ЭХМ дастури ва Abaqus дастурий таъминотини бир қатор тест масалаларини аниқ ва сонли ечимлари билан таққослаш орқали тасдиқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ҳозирда фойдаланишда бўлган грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформацияланиш ва динамик ҳолатлари ҳамда мустаҳкамлигини баҳолаш ва олдиндан аниқлаш учун иншоотнинг конструктив бир жинссизлигини ва сув омборининг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда баҳолаш учун текис ва фазовий математик моделлар, ҳисоблаш усуллари ва алгоритмини ишлаб чиқилганлиги ҳамда лицензияланган Abaqus дастурий таъминотидан фойдаланилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти келгусида қуриладиган грунтли тўғонларнинг реал геометрияси, конструктив бир жинссизлигини ҳисобга олган ҳолда статик ва динамик кучлар таъсирида тўғонни кучланганлик-деформацияланиш, динамик ҳолатларини текис ва фазовий моделлар ёрдамида баҳолаш ҳамда мустаҳкамликнинг энергетик назарияси ёрдамида иншоотларнинг мустаҳкамлиги таъминланмаган участкаларини олдиндан аниқлаш имконияти яратилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Грунтли тўғонларнинг фазовий кучланганлик ҳолатлари ва динамик тавсифларини баҳолаш бўйича олинган натижалар асосида:

грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформацияланиш ҳолатларини баҳолашнинг ҳисоблаш усули "Ҳисорак ГЭС" унитар корхонасида жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 20 августдаги (GE11666258) маълумотномаси). Натижада, грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари, мустаҳкамлигини баҳолаш имконияти яратилган;

грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлик ҳолатларини баҳолашнинг математик модели, ҳисоблаш усули "Қашқадарё вилояти Сув омборларидан фойдаланиш бошқармаси"да жорий этилган Сув хўжалиги вазирлигининг

2022 йил 20 августдаги (GE11666258) маълумотномаси). Натижада, грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини баҳолаш имконини беради;

грунтли тўғонларнинг хусусий тебраниш частоталари ва тебраниш шакллари аниқлаш бўйича таклиф қилинган математик модель, ҳисоблаш усули «Гидропроект» акциядорлик жамиятида жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 20 августдаги (GE11666258) маълумотномаси). Натижада, грунтли тўғонларнинг кучланганлик деформация ҳолатлари, мустаҳкамлигини баҳолаш имконияти яратилган.

#### **Тадқиқот натижаларининг апробацияси.**

Тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

#### **Тадқиқот натижаларини эълон қилиниши.**

Диссертация мавзуси бўйича жами 10 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 4 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

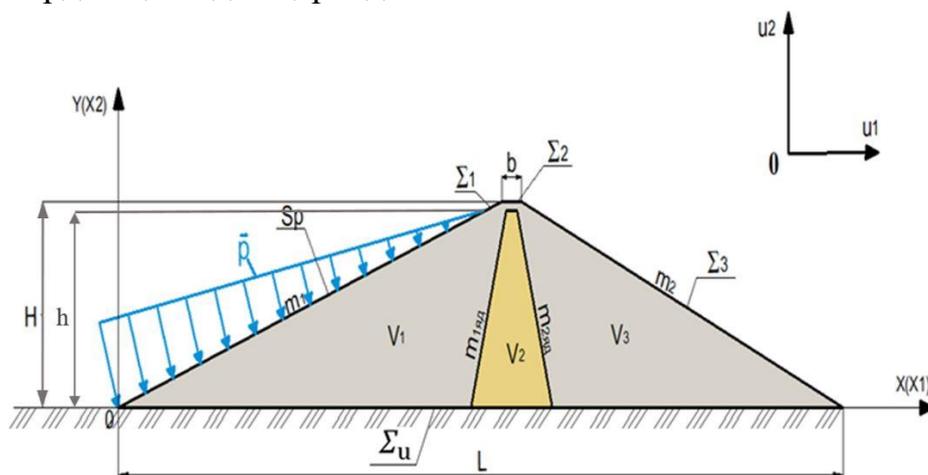
**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертациянинг таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 125 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш қисмида** диссертация мавзусининг долзарблиги ва аҳамияти асосланган. Тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган ҳамда тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Муаммонинг ўрганилганлик даражаси ва мавзунинг ИТИ режаларига узвий боғлиқлиги, тадқиқотни олиб ориш услублари, илмий янгилиги, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамиятлари баён этилган. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги асосланган ва жорий қилинганлиги, нашр қилинган илмий ишлар, ҳамда диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг **“Статик кучлар таъсирида грунтли тўғонларнинг текис деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатларини баҳолаш”** деб номланган биринчи бобида, Ўзбекистон Республикаси худудида жойлашган Ҳисорак, Сох ва Пачкамар каби грунтли тўғонларнинг кучланганлик – деформацияланиш ҳолатларини уларнинг хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда, текис деформация ҳолатида баҳолаш қаралган. Грунтли тўғонларнинг кучланганлик-деформацияланиш ҳолатини баҳолаш бўйича текис кўринишдаги математик модель, ҳисоблаш усули ва алгоритми келтирилган ва уларнинг адекватлиги ва ишончлилигини аниқ аналитик ечимга эга бўлган қатор тест масалаларини ечиш ва натижаларни таққослаш орқали асосланган.

Грунтли тўғон учун текис деформация ҳолатида бир жинсиз система сифатида математик моделни тузиш учун сув омборидаги сув билан ўзаро таъсирда бўлган ва  $V=V_1+V_2+V_3$  ҳажми эгаллаган деформацияланувчи жисмни қараймиз (1-расм). Математик моделни тузишда албатта бу системанинг мураккаб геометрик тузилиши ва конструктив бир жинсизлик хусусиятлари инобатга олинди ва тизимни ташкил қилувчи элементлар орасидаги кўчишлар узлуксиз деб қаралади. Қаралаётган система асосига  $\Sigma_u$  абсолют биқир қилиб маҳкамланган. Системанинг  $\Sigma_1$  – юқори бьефи юзасининг  $S_p$  қисмига сувнинг гидростатик босими  $\vec{p}$  таъсир қилиб,  $\Sigma_2$  – тўғон юқори қисми (гребн) ва  $\Sigma_3$  – тўғон пастки бьефи юзалари кучланишлардан холи деб қаралди.



**1-расм. Грунтли тўғоннинг текис модели.**  
 $V_1, V_3$  - таянч призмалар,  $V_2$  - тўғон ядроси

Статик кучлар  $\vec{p}$  ва  $\vec{f}$  (масса кучлари) таъсири остида бўлган бир жинсиз текис система  $V=V_1+V_2+V_3$  да содир бўладиган кўчиш, деформация ва кучланишни аниқлаш талаб қилинади. Бу ерда,  $L$  - кўндаланг кесим бўйича тўғон асосининг узунлиги;  $H$  - тўғон баландлиги;  $h$  – тўғонга таъсир этаётган сув сатҳи;  $b$  - тўғон гребенининг кенлиги;  $m_1, m_2$  - юқори ва қуйи бьефлар қияликлари;  $m_{1\text{яд}}, m_{2\text{яд}}$  – тўғон ядросининг қияликларини ифодалайди.

Статик кучлар таъсирида бўлган текис системада (1-расм) содир бўладиган жараёнларни баҳолаш учун мумкин бўлган кўчиш принципага асосланган қуйидаги вариацион тенглама ва кинематик чегаравий шартдан фойдаланамиз:

$$\delta A = - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_1 - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_2 - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_3 +$$

$$+ \int_{V_1} \vec{f} \delta \vec{u} dV_1 + \int_{V_2} \vec{f} \delta \vec{u} dV_2 + \int_{V_3} \vec{f} \delta \vec{u} dV_3 + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j = 1, 2 \quad (1)$$

$$\vec{x} \in \sum_u: \quad \vec{u} = 0; \quad \delta \vec{u} = 0, \quad (2)$$

Бу вариацион тенгламада кучланиш ва деформация тензорларини ўзаро боғлиқлигини ифодалашда куйидаги умумлаштирилган Гук қонунидан фойдаланилади, яъни:

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

Шу каби деформация тензорлари билан кўчиш векторлари ўртасидаги боғланишни куйидаги Коши муносабатлари орқали ифодаланади:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}; \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \quad (4)$$

Сувнинг гидростатик босими эса куйидаги формула бўйича аниқланади

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

Бу ерда  $\vec{u}, \varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}$  - мос равишда кўчиш векторлари, деформация ва кучланиш тензорларининг компонентлари;  $\delta\vec{u}, \delta\varepsilon_{ij}$  - кўчиш ва деформациянинг изохрон вариацияси;  $E_n$  - юнг модули;  $\nu_n$  - пуассон коэффиценти;  $\vec{f}$  - масса кучларининг вектори;  $\vec{p}$  -  $S_p$  сиртга таъсир қилувчи сувнинг гидростатик босими;  $\rho_o$  - сувнинг зичлиги,  $(h-x_2)$  - тўғоннинг босимли юзаси нуқтасини сув сатҳидан чуқурлигини билдиради;  $\vec{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}$  - тўғон нуқталарининг кўчиш вектори компонентлари;  $\vec{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$  - тўғон нуқталарининг координаталари; текис масалани ечишда  $i, j$  индекслар  $i, j=1, 2$  га тенг бўлади.

Ушбу текис модель ёрдамида ифодаланган, статик кучлар  $\vec{f}$  ва  $\vec{p}$  таъсири остида бўлган ва (2) чегаравий шартларни ҳисобга олиб, (1)-вариацион тенглама ва (3), (4) муносабатларни ихтиёрий мумкин бўлган кўчиш  $\delta\vec{u}$  ларда қаноатлантирувчи системанинг ихтиёрий нуқталарида ҳосил бўладиган кўчиш, деформация ва кучланиш тензорларини топиш талаб қилинади.

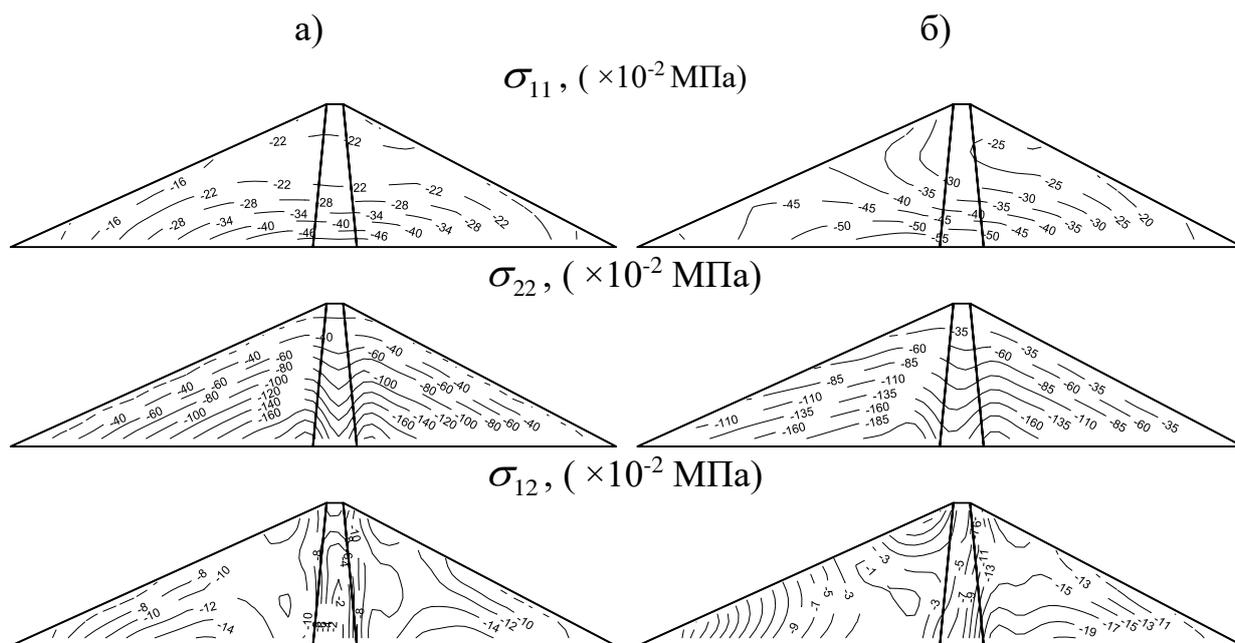
Юқоридаги математик модель орқали ифодаланган бир жинссиз текис система учун қўйилган статик масалани ечиш учун чекли элементлар усулини қўллаймиз.

Қўйилган мураккаб вариацион масалани ечиш учун чекли элементлар усули (ЧЭУ) процедурасини қўллаш натижасида текис система эгаллаган соҳалар учун (1) - (4) вариацион тенглама ва муносабатлардан юқоридаги математик моделга эквивалент бўлган юқори тартибли бир жинссиз алгебраик тенгламалар ситемасига келтирилади:

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

Бу ерда,  $[K]$  - қаралаётган система учун бикрлик матрицаси;  $\{u\}$  - тугунлардаги изланаётган кўчишлар;  $\{P\}$  - чекли элементлар тугунларига таъсир қилувчи ташқи кучлар (масса кучлари, сувнинг гидростатик босими ва ҳ.к.). (б) тенгламалар системаси Гаусс усули ёрдамида ечилади.

Юқорида келтирилган математик модель, ҳисоблаш усули ва алгоритмидан фойдаланиб, Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларнинг хусусий оғирлиги ва сув омборининг турли сатҳларда тўлдирилишидан ҳосил бўладиган гидростатик босим таъсиридаги деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатлари тадқиқ қилинди. Қаралаётган тўғонларнинг таналарида ҳосил бўладиган  $u_1$ ,  $u_2$  кўчишлар ва кучланиш тензорлари  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  нинг қийматлари аниқланиб, тегишли изочизиклари курилди (2-расм).



**2-расм. Ҳисорак грунтли тўғонининг хусусий оғирлиги (а) ва сув омборини тўла (б) тўлдирилиши таъсиридаги кучланганлик ҳолатининг тенг тақсимланиш изочизиклари**

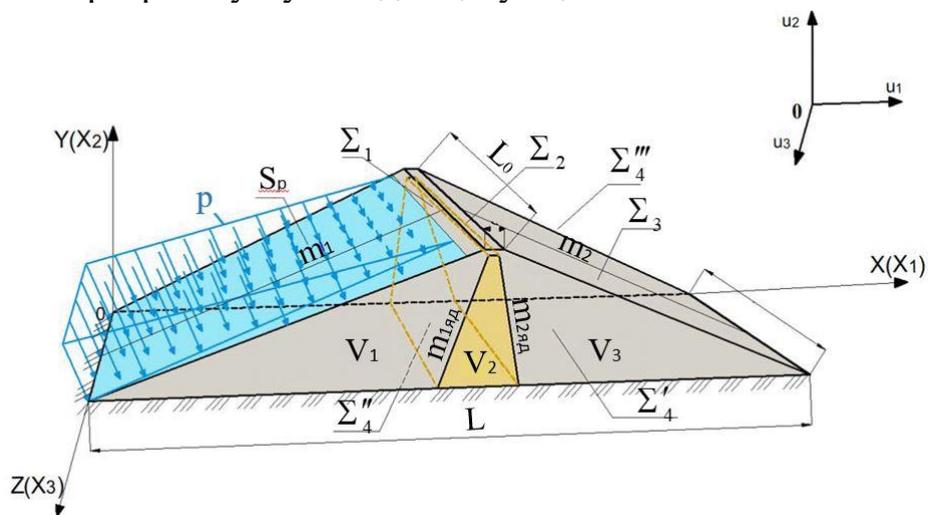
Олинган натижалар таҳлилига кўра, статик кучлар таъсирида грунтли тўғонлар танасидаги  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  нормал кучланишлар тўғон ядросининг марказига нисбатан деярли симметрик характерга эга бўлиши ва унинг қиймати тўғоннинг юқори қисмидан асосига қараб ортиб бориши, ҳамда  $\sigma_{22}$  вертикал кучланишнинг қиймати ядро ва унинг атрофида камайиши аниқланди.

Сувнинг гидростатик босими тўғондаги  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  ва  $\sigma_{12}$  кучланишларни тўғон танаси бўйича тақсимланиш характерини мутлоқ ўзгартириб, кучланишларнинг деярли симметрик тақсимланиш кўринишини тўла йўқолишига олиб келади. Бу ҳолатда тўғондаги  $\sigma_{11}$  кучланишлар қиймати 1.5-2 баробаргача ортиши кузатилади, вертикал  $\sigma_{22}$  кучланишларнинг қиймати эса юқори таянч призмада нишабликка яқин жойлашган қисмларида 2 баробаргача ошиши ва унинг қиймати ядро ва унинг атрофида камайиб “арка

самараси” ни пайдо қилиши аниқланди. Сувнинг гидростатик босими таъсирида бўлган грунтли тўғон танасининг кучланганлик ҳолати сув омборининг тўлдирилиш даражасига боғлиқ бўлиб, сув омбори нормал димланган сатҳда тўлдирилганда энг катта таъсир этиши кўрсатилди.

Диссертация ишининг “Статик кучлар таъсирида грунтли тўғонларнинг фазовий кучланганлик-деформацияланиш ҳолатларини баҳолаш” деб номланган иккинчи бобда, тадқиқот объекти сифатида олинган Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларининг кучланганлик – деформацияланиш ҳолатларини уларнинг хусусий оғирлиги ва сув омборидаги сувнинг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда фазовий ҳолатда баҳолаш бўйича тадқиқот ишлари амалга оширилди. Олинган натижалар асосида ҳар бир тўғоннинг деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатлари баҳоланиб, 1-бобда текис модель ёрдамида олинган натижалар билан ўзаро солиштириш асосида ҳар бир тўғон учун ҳисоб моделини танлаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқилди.

Қўйилган масала учун фазовий (уч ўлчовли) ҳолатда бир жинсиз системанинг математик моделини тузишда сув омборидаги сув билан ўзаро таъсирда бўлган ва  $V=V_1+V_2+V_3$  ҳажми эгаллаган деформацияланувчи жисми қараймиз (3-расм). Бу  $V$  ҳажми эгаллаган бир жинсиз система грунтли тўғоннинг моделини ўзида акс эттиради. Математик моделни тузишда албатта бу фазовий системанинг мураккаб геометрик тузилишини ва конструктив бир жинсизлик хусусиятларини инобатга олиш талаб қилинади. Бу ерда,  $V_1$ ,  $V_3$  тўғоннинг таянч призмалари,  $V_2$  тўғон ядроси. Бу ҳажмларнинг ҳар бирининг материаллари турли механик характеристикаларга эга бўлган ягона бир жинсиз деформацияланувчи системани ташкил қилади. Қаралаётган системанинг асоси  $\Sigma_4$  абсолют қаттиқ асосга қўзғалмас қилиб маҳкамланган. Системанинг  $\Sigma_1$  – юқори бьефи юзасининг  $S_p$  қисми сувнинг гидростатик босими  $\vec{p}$  остида бўлиб,  $\Sigma_2$  – тўғон юқори қисми (гребн) ва  $\Sigma_3$  – тўғон пастки бьефи юзалари кучланишлардан холи ҳолатда.  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  ҳажмларни ўзаро ажратиб турувчи юзаларда кўчиш компонент векторлари ва кучланиш тензорларини узлуксиз деб қабул қиламиз.



3-расм. Бир жинсиз деформацияланувчи фазовий система модели

Бунда ҳам статик кучлар  $\vec{p}$  ва  $\vec{f}$  таъсири остида бўлган бир жинссиз фазовий система  $V$  да содир бўладиган кўчиш, деформация ва кучланиш майдонини аниқлаш талаб қилинади. Бу системанинг  $\Sigma_4^{\cdot}$ ,  $\Sigma_4^{\ddot{\cdot}}$  - юзалари тўғоннинг қоя билан бириккан юзаси,  $L_0$ - тўғон юқори қисмининг узунлиги;  $L$  - кўндаланг кесим бўйича тўғон асосининг узунлиги;  $b$  - тўғон гребни кенглиги;  $B_0$  – тўғон асосининг бўйлама узунлиги;  $m_1, m_2$  – юқори ва қуйи бьефлар қиялиги;  $m_{1\text{яд}}, m_{2\text{яд}}$  – тўғон ядросининг қияликларини ифодалайди.

Уч ўлчовлик системада содир бўладиган жараёнларни баҳолаш учун мумкин бўлган кўчиш принципага асосланган, қуйидаги вариацион тенглама ва кинематик чегаравий шартдан фойдаланамиз:

$$\delta A = - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \quad (7)$$

$$+ \int_V \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0.$$

$$\vec{x} \in \Sigma_4^{\cdot} + \Sigma_4^{\ddot{\cdot}} + \Sigma_4^{\text{'''}}: \quad \vec{u} = 0. \quad (8)$$

Фазовий ҳолатда математик моделни тўла ифодалаш учун бу тенгламаларга умумлашган Гук қонуни ва Коши муносабатларини қўшамиз, яъни:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{11} & \sigma_{12} &= \mu \varepsilon_{12}, \\ \sigma_{22} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{22}, & \sigma_{23} &= \mu \varepsilon_{23}, \\ \sigma_{33} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{33}, & \sigma_{31} &= \mu \varepsilon_{31}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\theta = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}, \quad \lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial u_1}{\partial x_1}, & \varepsilon_{12} &= \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1}, \\ \varepsilon_{22} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_2}, & \varepsilon_{23} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2}, \\ \varepsilon_{33} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_3}, & \varepsilon_{31} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_3}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Бу ерда  $\lambda$  ва  $\mu$  – Ламэ доимийлари;  $\theta = \varepsilon_{kk}$  - ҳажмий деформация;  $\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}$  - кўчиш вектори компонентлари;  $\vec{x} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$  - тўғон нуқталарининг координаталари; фазовий масалани ечишда  $i, j, k$  индекслар  $i, j, k=1, 2, 3$  га тенг бўлади.

Юқоридаги математик модель орқали ифодаланган бир жинссиз фазовий система учун қўйилган статик масалани ечиш учун чекли элементлар усулидан фойдаланамиз. Бунда эркинлик даражаси 12 га тенг бўлган тетраэдр элементи қўлланилади.

Чекли элементлар процедурасини қўллаш натижасида текис ва фазовий система эгаллаган соҳалар учун (7)-(10) вариацион тенглама ва

муносабатлардан юқоридаги математик моделга эквивалент бўлган юқори тартибли бир жинссиз алгебраик тенгламалар ситемасига келтирилди:

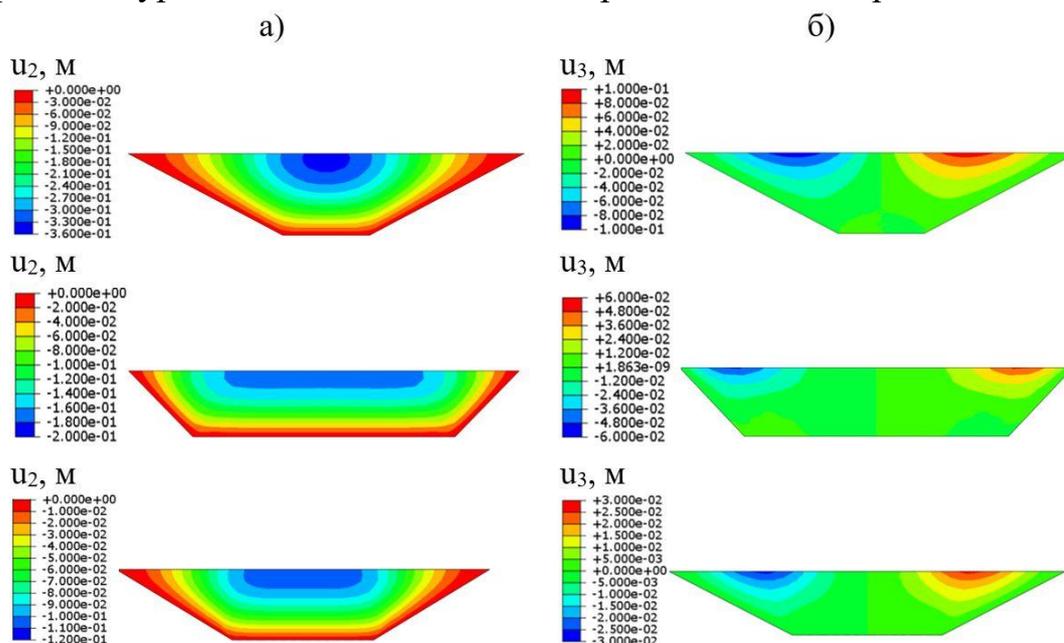
$$[K]\{u\} = \{P\} \quad (11)$$

Бу ерда,  $[K]$  - бикрлик матрицаси;  $\{u\}$  - элемент тугунларидаги изланаётган кўчишлар;  $\{P\}$  - чекли элементлар тугунларига таъсир қилувчи ташқи кучлар.

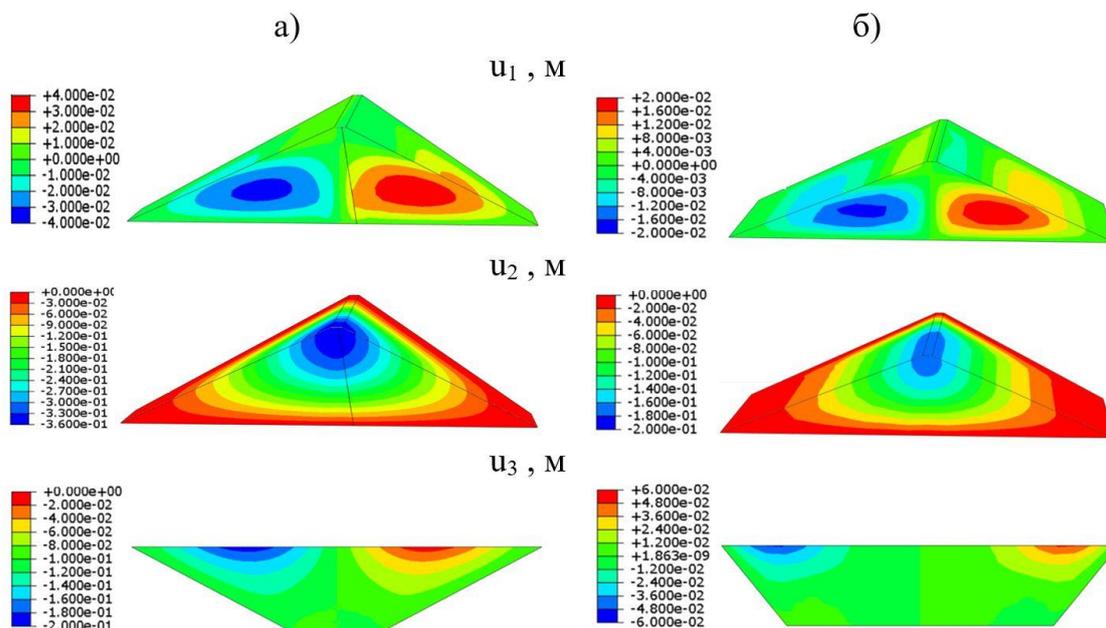
Текис ва фазовий масалаларни ечишда муаллиф томонидан ишлаб чиқилган ЭХМ дастури ва жаҳон миқёсида қўлланиб келинаётган лицензияланган ABAQUS дастурий таъминотидан фойдаланилди.

Юқорида келтирилган математик модель ва ABACUS дастурий таъминотидан фойдаланиб Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларининг хусусий оғирлиги ва сувнинг гидростатик босими таъсиридаги деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатлари фазовий модель ёрдамида текширилди. Тадқиқотлар икки вариантда: яъни, биринчи вариантда - сув омбори бўш бўлган ҳолат учун ва иккинчи вариантда эса – сув омбори тўла тўлдирилган ҳолат учун амалга оширилди.

Грунтли тўғонларда хусусий оғирлик кучи ва гидростатик босим таъсирида пайдо бўладиган  $u_1, u_2, u_3$ -кўчишлар, деформация  $\epsilon_{11}, \epsilon_{22}, \epsilon_{33}, \epsilon_{12}=\epsilon_{21}, \epsilon_{23}=\epsilon_{32}, \epsilon_{31}=\epsilon_{13}$  ва кучланиш компонентлари  $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}=\sigma_{21}, \sigma_{23}=\sigma_{32}, \sigma_{31}=\sigma_{13}$  аниқланди ҳамда уларнинг тўғон танаси бўйича тенг тақсимланиш изомайдонлари қурилди (4 - б-расмлар) ва натижалар таҳлил этилиб, текис деформация кўринишда олинган натижалар билан солиштирилди.



**4-расм. Ҳисорак (тепада), Сох (ўртада) ва Пачкамар (пастда) тўғонларининг бўйлама кесимларида хусусий оғирлик таъсирида фазовий ҳолатда ҳосил бўладиган  $u_2$  вертикал (а) ва  $u_3$  бўйлама (б) кўчишларнинг изомайдонлари**



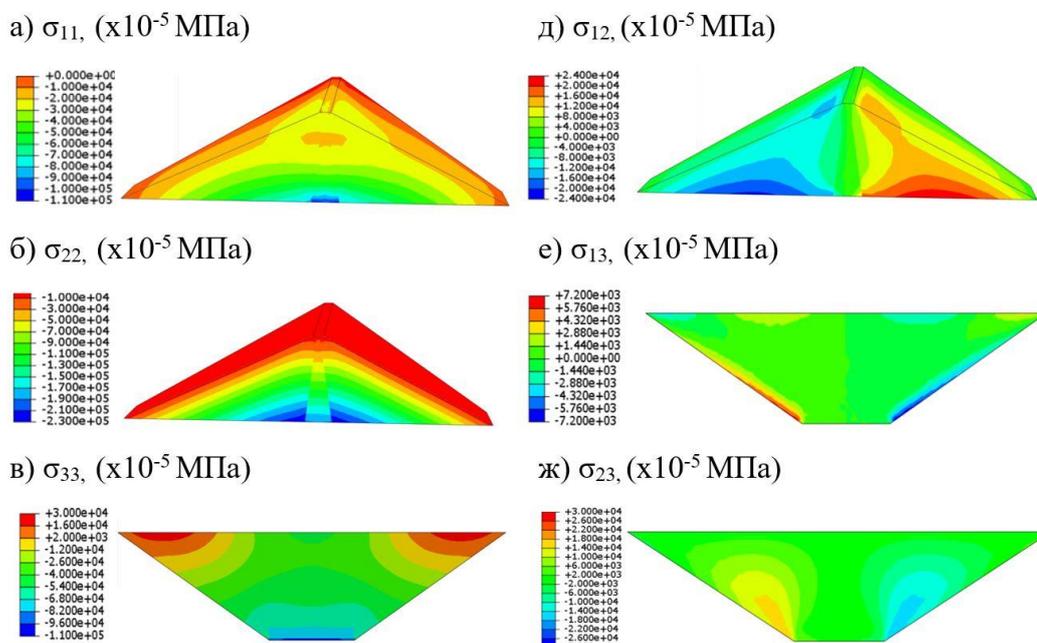
**5-расм. Хусусий оғирлик таъсиридаги Ҳисорак (а) ва Сох (б) тўғонларининг ўрта кўндаланг ва бўйлама кесимларидаги фазовий деформацияланиш ҳолатидаги кўчиш изомайдонларни тақсимланиши:  $u_1$  - кўндаланг,  $u_2$  – вертикал ва  $u_3$  – бўйлама кўчишлар**

Олинган натижаларга кўра, Ҳисорак тўғонининг бўйлама кесимидаги вертикал  $u_2$  - кўчишнинг кесим бўйича тақсимланиши, Сох ва Пачкамар тўғонларига нисбатан бошқача характерда бўлиши кузатилди (4-расм). Барча тўғонларда  $u_2$  - кўчишларнинг қиймати тўғон асосидан тепага қараб ортиб бориши ва уларнинг қиймати тўғонларнинг баландлигига боғлиқ бўлиши аниқланди. Ҳисорак тўғонида кўчишларни тўғон ўртасидан чап ва ўнг қирғоқларга томон кескин ўзгариши кузатилди. Барча тўғонларнинг чап ва ўнг қирғоқлари атрофида бўйлама кўчишларнинг қийматлари кескин ортиб боради.

Фазовий ва текис кўринишлардаги деформацияланиш ҳолатлари солиштирилганда Ҳисорак тўғонида  $u_1$  - кўчишларнинг тўғоннинг ўрта кўндаланг кесимида тақсимланиш қонунияти бир-биридан катта фарқ қилиши аниқланди (5-расм). Текис ҳолатда тўғоннинг юқори қисми нишабликларидаги катта миқдорда пайдо бўладиган кўчишлар фазовий ҳолатда кузатилмайди. Вертикал  $u_2$  кўчишларнинг кўндаланг кесим бўйича тақсимланиш қонунияти бир-бирига яқин бўлиб, миқдор жиҳатидан фазовий ҳолатда 10 фоизгача камайиши кузатилди. Ҳисорак тўғонининг ўртасида  $u_3$  кўчишларнинг қиймати деярли нолга тенг бўлиб, чап ва ўнг қирғоқ томон уларнинг қиймати катталашиб боради. Бу ҳолатни Ҳисорак тўғони тор ўзанда жойлашганлиги ва ўнг ва чап қирғоқларни тўғон ўрта кўндаланг кесимининг деформацияланиш ҳолатига фаол таъсир этиши билан изоҳланади.

Олинган натижаларга кўра, фазовий ҳолатда тадқиқот олиб борилганда Ҳисорак тўғони танасида (6-расм) ҳосил бўлувчи  $\sigma_{11}$  кучланишлар қийматини тўғоннинг ўрта кўндаланг кесимидаги тақсимланишидаги тахминан

симметрик характери сақланиб қолсада, унинг қиймати 35 фоизгача ошишига,  $\sigma_{22}$  вертикал кучланишда эса тақсимланиш характери бир-бирига ўхшаш бўлиши, қиймати 8-10 фоизгача камайиши кузатилади. Сох ва Пачкамар тўғонларида эса  $\sigma_{11}$  кучланишларнинг қиймати 8-10 фоизгача ошиши,  $\sigma_{22}$  кучланишлар қийматлари 3-5 фоизгача камаяди.  $\sigma_{33}$  - кучланишларнинг бўйлама кесим бўйича тақсимланиши Ҳисорак тўғони ўртасида қиймати асосидан тепага қараб камайиб боради ва сиқилиш характерига эга бўлади. Тўғон ўртасидан чап ва ўнг қирғоқлар томон  $\sigma_{33}$  нинг қиймати кескин ортиб боради ва қирғоққа яқин жойларида оз миқдорда чўзилиш ҳолати кузатилади. Сох ва Пачкамар тўғонларида эса  $\sigma_{33}$  нинг қиймати тўғонларнинг ўрта қисмида баландлик ўлчамидан 2-3 марта каттароқ масофада бир хил қийматларга эга бўлиши кузатилади. Ҳисорак тўғонини фазовий модел ёрдамида кучланганлик ҳолати текширилганда, бўйлама  $x_3$  ўқи йўналишига боғлиқ  $\sigma_{33}$ - бўйлама нормал,  $\sigma_{13}$ - ва  $\sigma_{23}$ - уринма кучланишларнинг тўғон танаси бўйича тақсимланиш характери ва қийматларига боғлиқ кўплаб янги механик эффектларни аниқлаш имконияти яратилди. Бу каби механик ҳодисаларни текис модель ёрдамида аниқлаб бўлмайди.

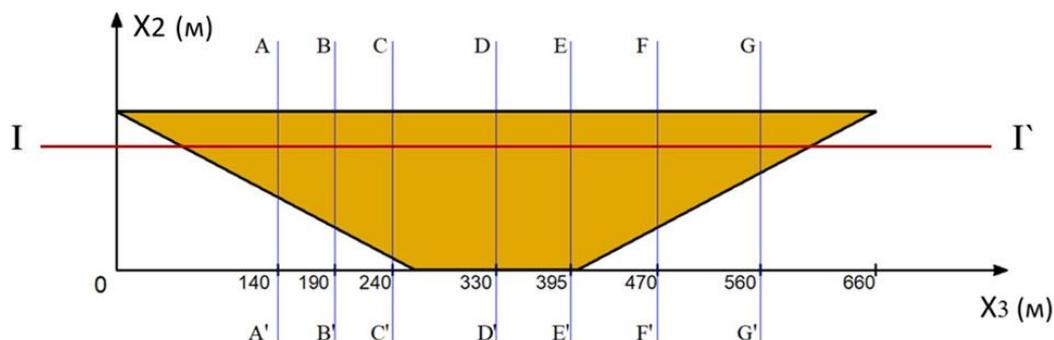


**6-расм. Хусусий оғирлиги таъсиридаги Ҳисорак тўғонининг фазовий ҳолатидаги кучланиш компонентларининг тўғон танаси бўйича тақсимланиш изомайдонлари.**

Грунтли тўғонларнинг хусусий оғирлик таъсирида фазовий кучланганлик-деформацияланиш ҳолатини чуқур ўрганиш мақсадида Ҳисорак ва Сох тўғонларининг турли “А-А” – “G-G” кўндаланг ва “I-I” бўйлама кесимларда ҳосил бўладиган нисбий деформация ва кучланиш компонентлари учун тенг тақсимланиш изомайдонлари қурилди.

Ҳисорак тўғони бўйича фазовий ва текис ҳолатларда олинган натижалар ўзаро солиштирилганда,  $\varepsilon_{22}$  нисбий деформациянинг кўндаланг кесим бўйича тақсимланиш характери тўғоннинг чап ва ўнг қирғоқлари атрофида бир-

бирига ўхшаш бўлиши, ўрта кўндаланг кесими ва унинг атрофида эса сезиларли тарзда бир-биридан фарқ қилишини кўрсатди.



**7-расм. Ҳисорак тўғонининг фазовий кучланганлик-деформацияланиш ҳолатлари ўрганилган кўндаланг ва бўйлама кесимларни тўғон танасида жойлашув схемаси**

Сув омборидаги сувнинг гидростатик босими грунтли тўғонларнинг юқори таянч призмасидаги кучланганлик ҳолатини 1.5-2 барабаргача ошишига ва тўғоннинг ўнг ва чап қирғоқлари нишабликлари атрофида  $\sigma_{23}$  кучланишлар қийматларини 1.3 баробаргача ортишига олиб келади.

Диссертация ишининг “**Грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини текис ва фазовий ҳолатларда олинган натижалар орқали баҳолаш**” деб номланган учинчи бобида, Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларининг хусусий оғирлиги таъсирида мустаҳкамлигини баҳолаш бўйича тадқиқотлар олиб борилди.

Қаралаётган грунтли тўғонларнинг текис ва фазовий кўринишларда мустаҳкамлигини баҳолашда деформациянинг потенциал энергиясига асосланган механиканинг тўртинчи мустаҳкамлик назариясидан фойдаланилди.

Бунда, эквивалент кучланишларнинг қийматлари фазовий ҳолат учун

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2]} . \quad (12)$$

ва текис деформация ҳолати учун

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{11} - \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22}))^2 + (\sigma_{22} - \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22}))^2 + 6\sigma_{12}^2} \quad (13)$$

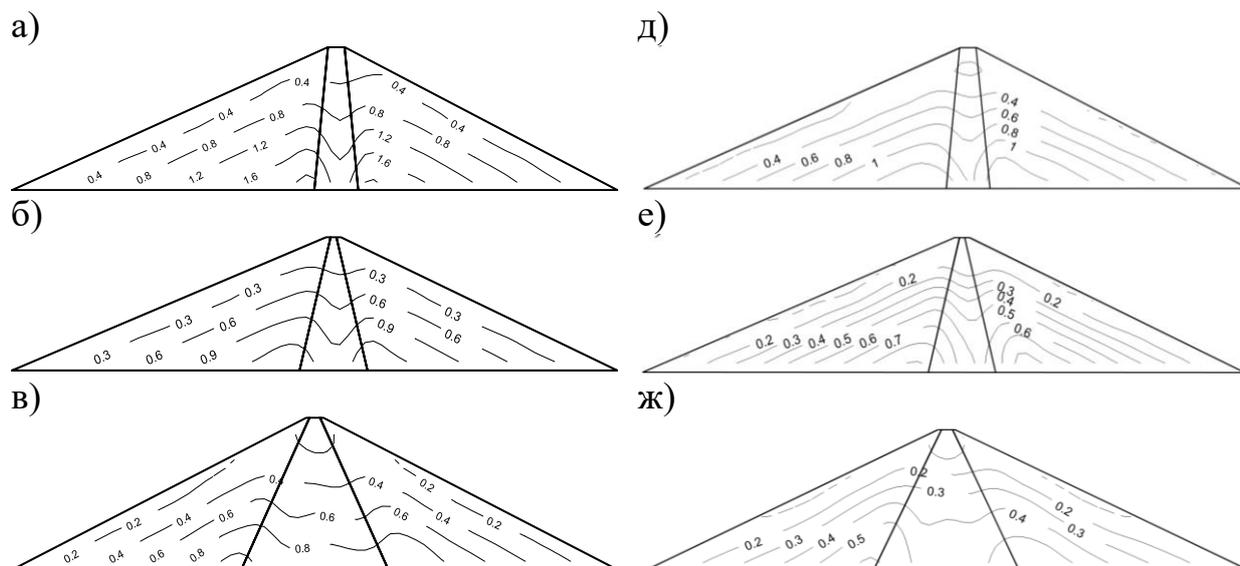
ифодалар ёрдамида аниқланади.

Энергетик назария талаби бўйича грунтли тўғон мустаҳкам бўлиши учун унинг барча нуқталарида қуйидаги шарт бажарилиши талаб этилади:

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq [\sigma] \quad (14)$$

Тўғонларнинг мустаҳкамлигини фазовий ва текис ҳолатларда баҳолаш учун уларнинг танасида ҳисобланган эквивалент кучланишлар  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  нинг қийматлари тўғонда ишлатилган турли грунтлар учун рухсат этилган кучланиш  $[\sigma]$  билан (14) шарт ёрдамида таққосланди (8-расм). Бунда, агар (14)

шарт бажарилса, тўғоннинг мазкур қисми мустаҳкам деб, акс ҳолда эса тўғоннинг ушбу қисмининг мустаҳкамлиги таъминланмаган деб ҳисобланади.



**8-расм. Ҳисорак (а, д), Сох (б, е) ва Пачкамар (в, ж) тўғонларининг фазовий ва текис ҳолатларда мустаҳкамлигини баҳолашда  $\sigma_{\text{экв}}$  (МПа) кучланишларнинг тўғон танасида тақсимланиш изочизиқлари**

Ҳисорак, Сох ва Пачкамар тўғонлари учун юқори ва пастки таянч призмалари ҳамда ядросида аниқланган эквивалент кучланишлар  $\sigma_{\text{экв}}$  нинг энг катта қийматлари мазкур грунтлар учун рухсат этилган кучланиш  $[\sigma_c]$  лар қийматлари билан солиштирилганда, тўғонларнинг барча қисмларида (14) мустаҳкамлик шarti тўла бажарилаётганлигини кўрсатди. Бу эса хусусий оғирлиги таъсирида бўлган барча тўғонларнинг мустаҳкамлиги таъминланганлигини кўрсатади.

Диссертация ишининг “Грунтли тўғонларнинг фазовий ва текис ҳолатлардаги динамик характеристикаларини баҳолаш” деб номланган тўртинчи боби, Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларининг текис ва фазовий ҳолатлардаги динамик характеристикаларини (хусусий тебраниш частота ва формаларини) тадқиқ қилишга бағишланди. Ҳисоблаш жараёнида ушбу тўғонларнинг конструктив хусусиятлари, ҳақиқий геометрик ўлчамлари ва грунтларнинг физик-механик хусусиятлари ҳисобга олинди, ҳамда сув омборининг гидростатик босимини тўғонларнинг хусусий частоталари ва тебраниш формаларига таъсири ўрганилди.

Қаралаётган фазовий системада (3-расм) хусусий тебранишни моделлаштириш учун Даламбер принципига асосланган Лагранжнинг вариацион тенгламаси ва кинематик чегаравий шартдан фойдаланилди:

$$\delta A = - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_1} \rho_1 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \int_{V_2} \rho_2 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \int_{V_3} \rho_3 \ddot{u} \delta \bar{u} dV + \int_{S_p} \bar{p} \delta \bar{u} dS = 0. \quad (15)$$

$$\vec{x} \in \Sigma_4^{\cdot} + \Sigma_4^{\ddot{}} + \Sigma_4^{\ddot{\ddot{}}}: \quad \vec{u} = 0. \quad (16)$$

Масалани математик қўйиш учун умумлашган Гук қонуни (9), Коши муносабатлари (10) ва сувнинг гидростатик босими (5) формула ёрдамида аниқланади.

Қаралаётган система (3-расм) учун хусусий тебранишини (15) вариацион тенгламани нетривиал ечими сифатида қаралади, яъни:

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}^*(\vec{x}) e^{-i\omega t}, \quad (17)$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}, \quad \vec{x} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$$

Бу ерда,  $\omega = 2\pi \cdot f$  ва  $\vec{u}^*$  - қаралаётган системанинг хусусий тебраниш частота ва формалари.

Грунтли тўғонларнинг (3-расм) динамик характеристикалари, яъни, хусусий частота ва тебраниш формаларини аниқлаш учун чекли элементлар усули ёрдамида (15) вариацион тенглама қуйидаги бир жинсли юқори тартибли алгебраик тенгламалар системасига келтирилади:

$$([K] - \omega^2 [M]) \{\vec{u}\} = 0. \quad (18)$$

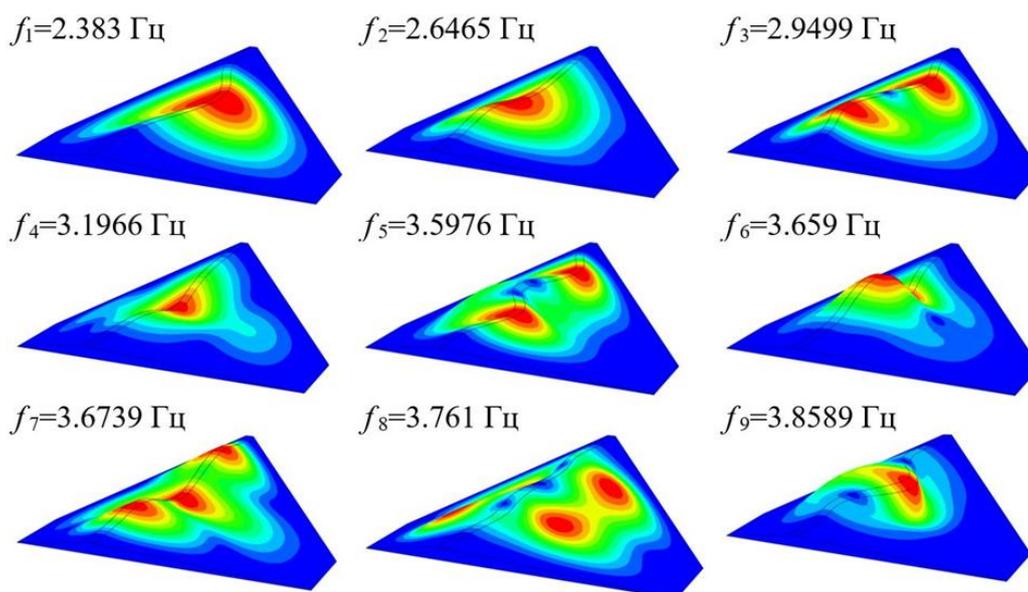
Бу ерда:  $[K], [M]$ - қаралаётган система учун бикрилик ва масса матрицалари;  $\omega, \{\vec{u}\}$ - қаралаётган системанинг топилиши керак бўлган хусусий тебраниш частота ва формалари.

Юқори тартибли (18) тенгламалар системасини ABAQUS дастури ёрдамида ечилади. Муайян масалаларни ечишда бу тенгламадаги номаълумлар сони 50 000 гача етади.

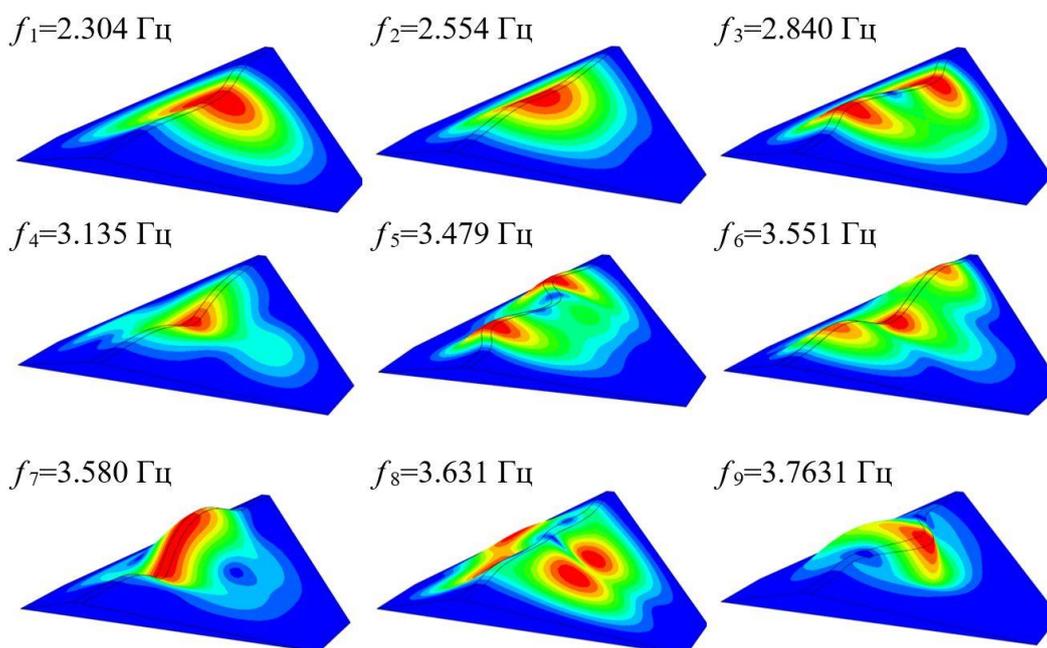
Ҳисорак, Сох ва Пачкамар грунтли тўғонларининг лойихавий параметрлари ҳамда, сув омборининг гидростатик босимини инобатга олинган ва олинмаган ҳолатлар учун текис ва фазовий моделлар ёрдамида хусусий тебраниш частоталари аниқланиб, тегишли тебраниш формалари қурилди (9-10-расмлар). Шунингдек, ҳар бир тўғон учун ҳисоб моделини танлаш мақсадида текис ёки фазовий ҳолатларда олинган натижалар ўзаро солиштирилиб, тегишли хулосалар берилди.

Текис деформация ҳолатида аниқланган хусусий тебраниш частоталари ва тебраниш формаларининг таҳлили, баландлиги юқори бўлган Ҳисорак тўғонининг хусусий частоталари маълум зичликда нисбатан тор спектрда (2.023-4.498 Гц), баландлиги паст бўлган Сох ва Пачкамар тўғонларининг хусусий частоталари эса нисбатан кенг спектрда (мос ҳолда 3.026-7.296 Гц ва 3.569-8.081 Гц) жойлашиши кўрсатди. Тўғон баландлигининг пасайиши

билан мос келувчи тебраниш частоталари қийматларининг ортиши ва спектрларини кенгайтиши кузатилди.



**9-расм. Ҳисорак грунтли тўғонининг дастлабки 15 та хусусий тебраниш частота ва тебраниш шакллари (сувсиз ҳолат учун)**



**10-расм. Ҳисорак грунтли тўғонининг сувнинг гидростатик босими таъсиридаги хусусий тебраниш частоталари ва тебраниш шакллари**

Қаралаётган тўғонларнинг фазовий кўринишда аниқланган дастлабки 15 та хусусий частоталари ва тебраниш формалари қурилди ва биринчи частота бўйича текис ҳолатда олинган натижаларга нисбатан Ҳисорак тўғонида 18 фоизга, Пачкамар ва Сох тўғонларида эса мос ҳолда 5.3 ва 2.8 фоизга ошиши аниқланди.

Грунтли тўғонларнинг хусусий тебранишларини фазовий ҳолатда тадқиқ қилинганда текис ҳолатда аниқлаб бўлмайдиган, тўғонларнинг фазовий ишлаш ҳолатлари билан боғлиқ бўлган хусусий частоталари ва формаларини мавжуд бўлиши аниқланди.

## ХУЛОСА

**“Грунтли тўғонларнинг фазовий кучланганлик ҳолатлари ва динамик таъсифларини баҳолаш”** мавзусидаги фалсафа (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Республикамиз ҳудудида жойлашган Ҳисорак, Сох ва Пачкамар каби грунтли тўғонларнинг кучланганлик–деформацияланиш ҳолатларини хусусий оғирлик ва сув омборининг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда, текис ва фазовий моделлар ёрдамида баҳолаш учун математик моделлар ишлаб чиқилди, уни ҳал қилиш бўйича мавжуд методика такомиллаштирилиб, лицензияланган ABAQUS дастури ёрдамида сонли ҳисоблаш ишлари амалга оширилди, ҳамда тўғонларнинг деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатларини баҳолаш бўйича натижалари олинди.

2. Ишлаб чиқилган методика ва такомиллаштирилган математик моделнинг адекватлиги, ҳисоблаш усули ва алгоритмининг ишончилигини бир қатор тест масалаларнинг аниқ ва тақрибий ечимлари билан солиштириш орқали таъминланган.

3. Грунтли тўғонларнинг текис деформацияланиш ҳолатида уларнинг танасида статик кучлар таъсирида ҳосил бўладиган кўчиш ва кучланиш компоненталарини тақсимланиши бўйича қуйидагилар аниқланди:

-  $u_1$  горизонтал кўчишлар тўғон ядросининг марказига нисбатан тахминан симметрик характерга эга бўлиши, улар юқори ва пастки қияликлар томонга йўналганлигини кўрсатилди.  $u_2$  вертикал кўчишларнинг қийматлари эса тўғон асосидан юқorigа қараб ортиб бориши ва ядронинг юқори қисми ва унинг атрофидаги таянч призмаларда катта қийматга эришиши, ҳамда тўғон ядросининг марказига нисбатан тахминан симметрик характерга эга бўлишини кўрсатилди;

-  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  нормал кучланишлар тўғон ядросининг марказига нисбатан тахминан симметрик характерга эга бўлиши ва унинг қиймати тўғоннинг юқори қисмидан асосига қараб ортиб бориши, ҳамда  $\sigma_{22}$  вертикал кучланишнинг қиймати ядро ва унинг атрофида камайиб, “арка самараси” ни пайдо қилиши аниқланди. Бу механик ҳодисанинг пайдо бўлиши тўғон ядроси, ўтиш зонаси ва таянч призмаларини турли грунтлардан қурилганлиги билан изоҳланди

4. Грунтли тўғонларининг хусусий оғирлиги ва сув омборининг гидростатик босими таъсиридаги деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатларини баҳолаш учун фазовий кўринишда ҳисоблаш ишлари амалга оширилди, натижалар таҳлил этилиб, текис модел ёрдамида олинган

натижалар билан солиштирилди ва ҳар бир тўғон учун модель танлаш бўйича тегишли тавсиялар ишлаб чиқилди.

5. Сувнинг гидростатик босими тўғон ўрта кўндаланг кесимидаги  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  ва  $\sigma_{12}$  кучланишларни тўғон танаси бўйича қайта тақсимлаб, симметрик характери тўла йўқотишига олиб келади. Бу ҳолатда  $\sigma_{11}$  кучланишлар қиймати тўғон юқори призмасида 2.0 баробаргача, теппа қисмида эса 1.5 баробаргача ортиши кузатилди. Вертикал  $\sigma_{22}$  кучланишларнинг қийматлари эса юқори таянч призмада 1.3 баробаргача ошади.  $\sigma_{23}$  уринма кучланишлар қийматлари эса тўғонларнинг ўрталарида деярли нолга тенг бўлиши ва тўғоннинг чап ва ўнг қирғоқлар билан туташган жойларида катта қийматга эга бўлиши кўрсатиб берилди. Шунингдек, сувнинг гидростатик босими Ҳисорак тўғони бўйлама кесимидаги  $x_3$  - ўқи йўналиши бўйича  $u_3$  бўйлама кўчиш қийматларини тўғоннинг чап ва ўнг қирғоқ нишабликларининг юқори қисмида 10 фоизгача ошириб юбориши аниқланди. Мазкур аниқланган механик жараёнлар, тўғоннинг ушбу қисмида жойлашган грунтнинг мураккаб деформацияланиш ҳолатида ишлашидан далолат беради.

6. Ҳисорак тўғонини хусусий оғирлиги ва сув омборининг гидростатик босими таъсиридаги деформацияланиш ва кучланганлик ҳолатларини баҳолашда текис (икки ўлчовлик) модель, тўғонда содир бўладиган жараёнларни аниқ баҳолаш имкониятига эга эмаслиги аниқланди. Геометрияси Ҳисорак тўғонига ўхшаган иншоотларни деформация ва кучланганлик ҳолатини баҳолашда фақат тадқиқот ишларини фазовий моделни қўллаш орқали амалга ошириш кераклиги кўрсатиб берилди. Сох ва Пачкамар тўғонлари каби кенг ўзанда жойлашган тўғонларда эса текис (икки ўлчовли) моделдан ҳам фойдаланиш мумкинлиги аниқланди.

7. Грунтли тўғонларнинг хусусий тебранишларини фазовий ҳолатда тадқиқ қилинганда текис ҳолатда аниқлаб бўлмайдиган, тўғонларнинг фазовий ишлаш ҳолатлари билан боғлиқ бўлган хусусий частоталари ва формаларини мавжудлиги кўрсатилди. Грунтли тўғонларни лойиҳалашда уларнинг ҳар бирига алоҳида ёндашган ҳолда текис ёки фазовий моделни танлаш, тўғонларнинг конструктив хусусиятлари, ҳақиқий геометрик ўлчамлари, грунтларнинг физик-механик хусусиятлари ҳамда сув омборининг гидростатик босимини ҳисобга олган ҳолда тадқиқотларни олиб бориш муҳимлиги кўрсатиб берилди.

8. Диссертация иши бўйича олинган натижалар “Гидропроект” АЖда (2022 йил 20-июнда), “Respublika muhandislik qidiruvlari va laboratoriya tadqiqot markazi” МЧЖда (2022 йил 12-апрел), “Қашқадарё вилояти Сув омборларидан фойдаланиш бошқармаси”да (2022 йил 10-август) ва “Ҳисорак ГЭС” унитар корхонасида (2022 йил 11-август) грунтли тўғонларни лойиҳалаш жараёнларида фойдаланиш учун қабул қилинган.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПРИ НАУЧНОМ СОВЕТЕ  
DSC. 03/30.12.2019.Т.10.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
“ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА”**

---

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**ЖУРАЕВ ДОНИЁР ПАХРИДИН УГЛИ**

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ  
И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН**

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

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
доктора философии (phd) по техническим наукам**

**Ташкент – 2022**

**Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована Высшей аттестационной комиссией при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2022.4.PhD/T3006**

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете “Ташкентский институт 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))

**Научные руководители:**

**Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович**

доктор технических наук, профессор, академик АНРУ.

**Султанов Тахиржан Закирович**

доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Янгиев Асрор Абдихамидович**

доктор технических наук, профессор

**Сафаров Исмоил Иброхимович**

доктор физико-математических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Ташкентский архитектурно-строительный институт**

Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании Разового научного совета при Научном совете DSC. 03/30.12.2019.Т.10.02 при Национальном исследовательском университете “Ташкентский институт 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.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального исследовательского университета “Ташкентский институт 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.

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года

(реестр протокола рассылки № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года)

**А.Т.Салоҳиддинов**

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.

**М.Р.Бакиев**

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 с целью использования водных ресурсов построены многочисленные водохранилища. Особое внимание при этом уделяется прочности, устойчивости и нахождению инженерных решений для грунтовых плотин с последующим внедрением в практику. Причём, при моделировании процесса деформирования, не допускается существенно упрощать модели, а необходимо учитывать и реальные процессы при оценке НДС грунтовых плотин.

В мире проводятся научно-исследовательские работы, посвящённые анализу физико-механических свойств грунтов, оценке деформирования их динамического поведения с учётом собственного веса, гидростатического давления воды и созданию математических моделей по данному направлению, особое внимание уделяется развитию методов оценки деформирования конструктивной неоднородности материала грунтов, НДС грунтовых плотин. Поэтому требуется совершенствование методов исследования по прочности и сейсмостойкости грунтовых плотин. Для реализации поставленной задачи, важное актуальное значение имеет создание методов оценки и разработки алгоритмов.

В Республике Узбекистан для создания грунтовых плотин проведены широкомасштабные исследования по оценке НДС, динамического поведения и прочности грунтовых плотин с целью повышения их прочности и сейсмостойкости с учётом гидростатического давления и динамического воздействия, и получены необходимые результаты. В концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы намечены задачи “обеспечения безопасного и надежного функционирования водных и селевых водохранилищ и других водных объектов”.

Реализация поставленной задачи, в том числе и обеспечение прочности и сейсмостойкости водохранилища грунтовой плотины с учетом структурной неоднородности, реальной геометрии и воздействия гидростатического давления является актуальной задачей. Законы Республики Узбекистан от 20 августа 1999 года “О безопасности гидротехнических сооружений”, от 13 сентября 2021 года “Об обеспечении безопасности жителей Республики Узбекистан”, а также Указ Президента Республики Узбекистан от 30 мая 2022 года и другие нормативно-правовые документы, принятые в данной сфере позволили частично выполнить задачи, которые поставлены и решены в данной диссертационной работе.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан 4 “математика, механика и информатика”

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № УП-6024 “Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы”

8 “наука о земле (геология, геофизика, сейсмология переработка минерального сырья)”.

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время проблеме напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости, а также оценке надёжности грунтовых плотин посвящены исследования М.Мирсаидов, К.С.Султанова, М.Р.Бакиева, Б.Марданова, П.Ж.Маткаримова, Б.Э.Хусанова, К.Д.Салямовой, А.А.Янгиева, Т.З.Султанова, Н.Д.Красникова, Ю.К.Зарецкого, И.И.И.Иваличенко, В.М.Лянтера, Я.Н., В.М.Сеймова, Б.Н.Островера, Е.И.Ермоленко, В.А.Вражево, А.В.Илясенко, Я.М.Айзенберга, Д.В.Мишина, Sh.Shayan, A.T.Carla, C.Deat, Jiancheng Cai и других ученых.

Процесс напряженно-деформированного состояния прочности и надёжности с помощью программы на ЭВМ изучены в работах М.Мирсаидова, К.С.Султанова, Б.Э.Хусанова, А.С.Хасанова, Н.А.Цытивича, Д.В.Миша, Х.А.Рахматуллина, В.М.Ляхова, И.А.Константинова, В.Н.Ломбардо, М.Ахмад, Р.Мостафа, К.Арман, Sh.Muhammad, T.Kargari, Sh.Shayan, T.D.Smit, C.Francesco, L.Pelcanos, Y.Parish, A.Masoud, m.sadek, R.MAhmad, Z.R.Mustafa, V.Behrang, I.Shahrouz и получены положительные результаты.

Анализ существующих работ показывает, что в настоящее время напряженно-деформированное состояние и оценка прочности грунтовых плотин недостаточно изучены.

**Связь диссертационной темы с планами научных работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Национального исследовательского университета “Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства” по теме ФЗ-20200929327 «Разработка теории и методов оценки прочности и надёжности грунтовых плотин с учетом увлажнения грунта и нелинейной фильтрации» и Финансируется Фондом поддержки сейсмологии, сейсмостойкости сооружений и сейсмобезопасности при Кабинете Министров Республики Узбекистан, осуществляется на основе грантов по темам №29/2022-«Оценка сейсмостойкости земляных плотин с учетом распространения неустойчивого фильтрационного процесса по телу плотины» (2022-2023 гг.) .

**Цель исследования** - выбор пространственной расчетной модели для оценки напряженно-деформационного состояния и динамических характеристик грунтовых плотин, разработка методики исследования, создание алгоритмов и путем сопоставления результатов, полученных с использованием пространственной и плоской моделей, разработка рекомендации по выбору моделей расчета плотин.

**Задачи исследований:**

- усовершенствование плоских и пространственных математических моделей для оценки их напряженно-деформированного состояния и

прочности с учетом реальной геометрии и структурной неоднородности грунтовых плотин ;

- усовершенствование метода и алгоритма расчета напряженно-деформированного состояния, динамического поведения и прочности грунтовых плотин с использованием плоских и пространственных математических моделей в программе Abaqus CAE;

- выбор грунтовых плотин, отличающихся друг от друга по конструктивному строению, геометрическим размерам и оценка их напряженно-деформированного состояния и прочности по плоским и пространственным моделям с учетом собственного веса сооружения и гидростатического давления воды в водохранилище;

- выбор оптимальной (плоской или пространственной) модели расчета напряженно-деформированного состояния и прочности грунтовых плотин;

- разработать основы оценки прочности грунтовых плотин с использованием энергетической теории прочности;

- определение динамических характеристик грунтовых плотин с помощью плоских и пространственных моделей;

- анализ полученных результатов и выявление новых механических эффектов.

**Объектом исследования** являются построенные в Республике грунтовые плотины Гиссаракская, Сохская и Пачкамарская.

**Предметом исследований.** Использовались общие законы механики, представляющие процессы деформирования, происходящие в грунтовых плотинах под действием статических сил, вариационное уравнение Лагранжа основанное на принципе возможных перемещений, принцип Даламбера и метод конечных элементов, методы решения однородных и неоднородных алгебраических уравнений.

**Методы исследований.** В работе использовались общие законы механики, описывающие деформационные процессы, математические модели, основанные на принципе возможных перемещений, метод конечных элементов (МКЭ) и методы решения систем однородных и неоднородных алгебраических уравнений.

**Научная новизна исследований заключается в следующем:**

- усовершенствованы плоские и пространственные математические модели позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние и прочность сооружения при воздействии различных сил с учетом конструктивной неоднородности грунтовых плотин водохранилища, а также разработаны методика и алгоритм расчета в программном обеспечении Abaqus CAE;

- оценено напряженно-деформированное состояние трех грунтовых плотин с различными конструктивными особенностями, с учетом собственного веса и гидростатического давления воды в плоской и пространственной постановках;

- при оценке напряженно-деформированного состояния и прочности грунтовых плотин предлагается оптимальный вариант расчета либо в плоской или пространственной модели, постановка с учетом их конструктивного строения и геометрических размеров;

- по размерам продольных и поперечных сечений грунтовых плотин установлено, что при отношении среднего значения длины  $L_{cp} = (L_o + B_o)/2$  на высоту плотины  $H$ ,  $\frac{L_{cp}}{H} < 4$  необходимо использовать в расчетах пространственной модели, а при  $\frac{L_{cp}}{H} \geq 4$  можно использовать плоскую модель;

- с помощью пространственной модели получены динамические характеристики различных плотин, и с помощью энергетической теории прочности выявлены слабые места плотины;

- на основе пространственной модели определены деформации растяжения, которые могут возникать в отдельных местах тела плотины при оценке напряженного состояния под действиям объемных сил.

**Практические результаты исследований** заключаются в следующем:

- создана возможность получения результатов с высокой степенью точности при оценке напряженно-деформированного состояния и прочности грунтовых плотин в пространственной модели, с помощью программы Abaqus CAE;

- разработаны рекомендации по оценке напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин в плоской и пространственной постановках под действием собственного веса и гидростатического давления воды, по выбору расчетной модели для каждой плотины;

- даны рекомендации по выполнению расчетов по плоской или пространственной моделях для каждой грунтовой плотины с учетом конструктивных особенностей плотин, реальных геометрических размеров, физико-механических свойств грунтов и гидростатического давления воды;

- для более точной оценки прочности грунтовых плотин рекомендуется использовать энергетическую теорию прочности.

**Достоверность результатов исследований.** Адекватность усовершенствованной математической модели, численные методы и программы на ЭВМ сопоставлены и подтверждены решением ряда тестовых задач.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов исследований, используемых в настоящее время грунтовых плотин, заключается в разработке усовершенствованной математической модели с учётом реальный геометрии, конструктивной неоднородности с учётом гидростатического давления, а также в проведении оценки плоскости.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что разработанные методы для оценки грунтовых сооружений под действием статических и динамических воздействий на основе энергетической теории

прочности установлены и это позволяет заранее определить участки с пониженной прочностью.

**Внедрение результатов исследований.** Результаты разработки методов оценки пространственного напряжённого состояния и динамики грунтовых плотин изложены:

- методы расчёта по оценке для грунтовых плотин внедрены унитарной “Хисорак ГЭС” (свидетельство Министерства водного хозяйства от 20 августа 2022 года). В результате научных исследований появилась возможность оценки прочности и деформации грунтовых плотин;

- разработанные математические модели и методы вычисления внедрены в “Управление по использованию водохранилищ Кашкадарьинской области”(свидетельство Министерства водного хозяйства от 20 августа 2022 года). В результате появилась возможность оценки прочности грунтовых плотин;

- разработанные математические модели по определению собственных частот и формы колебаний внедрены в ОО «Гидропроект» (свидетельство Министерства водного хозяйства от 20 августа 2022 года) в результате появилась возможность оценки напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин.

**Апробация результатов исследований.** Результаты данных исследований обсуждены и одобрены на 3 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 статьи рекомендованы высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии, из них два в зарубежных журналах.

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

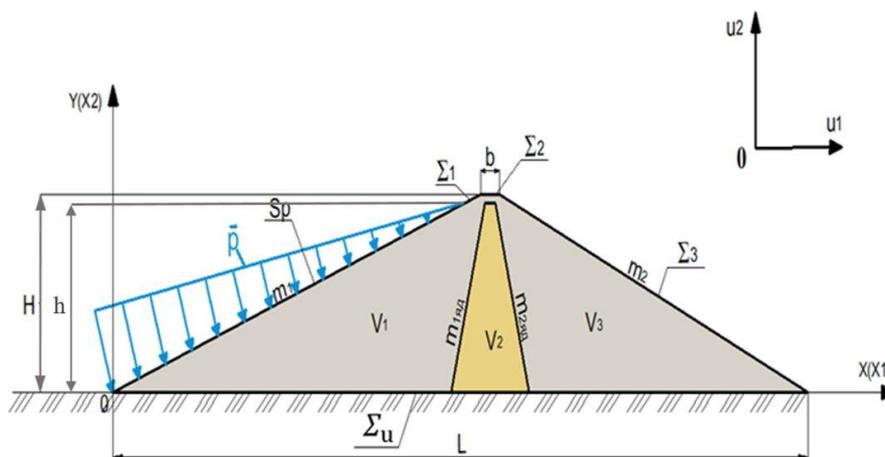
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

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

**В первой главе** диссертации “Оценка плоского напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин под действием статических сил” рассмотрены на примере грунтовых плотин Гиссаракской,

Сохской и Пачкамарской грунтовых плотин, расположенных на территории Республики Узбекистан. Исследованы их напряженно-деформированное состояние с учётом их собственного веса и под действием гидростатического давления, а также оценено плоское напряжённое состояние. Приведены расчётные схемы, математические модели и их реализация. С помощью тестовых примеров математической модели проверена достоверность разработанных методов расчёта алгоритма решения.

Для математической модели грунтовых плотин, в качестве расчётной схемы принята схема, проведённая на рис. 1. Для плоского деформированного состояния плотина рассматривается как неоднородное твёрдое тело находящееся в равновесии, сооружение занимает объём  $V=V_1+V_2+V_3$  ограниченный поверхностью  $\Sigma_1$ . Предполагается что на части поверхности  $\Sigma_u$  действуют заданные поверхностные силы, а на части  $S_p$  действует гидростатическое давление воды водохранилища. Верхняя  $\Sigma_2$  и боковые стороны сооружения  $\Sigma_3$  свободны от напряжения, а нижняя часть  $\Sigma_u$  жёстко закреплена.



**Рис.1. Расчетная схема.**

$V_1, V_3$  - упорные призмы,  $V_2$  - ядро плотины

Требуется определить перемещение, деформацию и напряжение неоднородности плоской системы под действием статических сил  $P$  и  $f$ . Здесь  $L$  - длина сечения основания плотины;  $H$  - высота плотины;  $h$  - уровень воды;  $b$  - ширина гребня плотины;  $m_1, m_2$  - наклоны в верхней и нижней части сферы плотины;  $m_{1\text{яд}}, m_{2\text{яд}}$  уклоны от ядра.

Для моделирования процесса деформирования грунтовых плотин используется вариационное уравнение принципа возможных перемещений и климатические граничные условия.

$$\delta A = - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_1 - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_2 - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV_3 + \int_{V_1} \vec{f} \delta \vec{u} dV_1 + \int_{V_2} \vec{f} \delta \vec{u} dV_2 + \int_{V_3} \vec{f} \delta \vec{u} dV_3 + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j = 1, 2 \quad (1)$$

$$\bar{x} \in \sum u: \quad \bar{u} = 0; \quad \delta \bar{u} = 0, \quad (2)$$

Для вариационного уравнения связь между компонентами тензора напряжений и деформации на основе обобщенного закона Гука можно представить в виде

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

Связь между компонентами тензора деформаций и вектором перемещений описывается линейными соотношениями Коши

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}; \quad \varepsilon_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \quad (4)$$

Гидростатическое давление воды на плотину определяется по формуле

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

Здесь  $\bar{u}$ ,  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}$  - соответственно вектор перемещений компоненты тензора деформаций и напряжений,  $\delta \bar{u}$ ,  $\delta \varepsilon_{ij}$  изохронные вариации вектора перемещений и деформацией;  $E_n$  - модули Юнга;  $\nu_n$  - коэффициент Пуассона;  $\vec{f}$  - вектор массовых сил;  $\vec{p}$  - гидростатическое давление воды в водохранилище;  $\rho_o$  - плотность воды;  $(h-x_2)$  - глубина точки на напорной грани плотины;  $\bar{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}$  - компоненты вектора перемещений;  $\bar{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$  - координаты точек плотины; при решении плоской задачи индексы  $i, j$  равны  $i, j=1, 2$ .

Целью поставленной задачей является определение, для произвольной точки сооружения, перемещения, деформаций и напряжений под действием массовых сил и с учётом гидростатического давления с учётом (1), (3), (4), точка для произвольного принципа возможных перемещений  $\delta \bar{u}$ .

Для решения этой задачи используем метод конечных элементов.

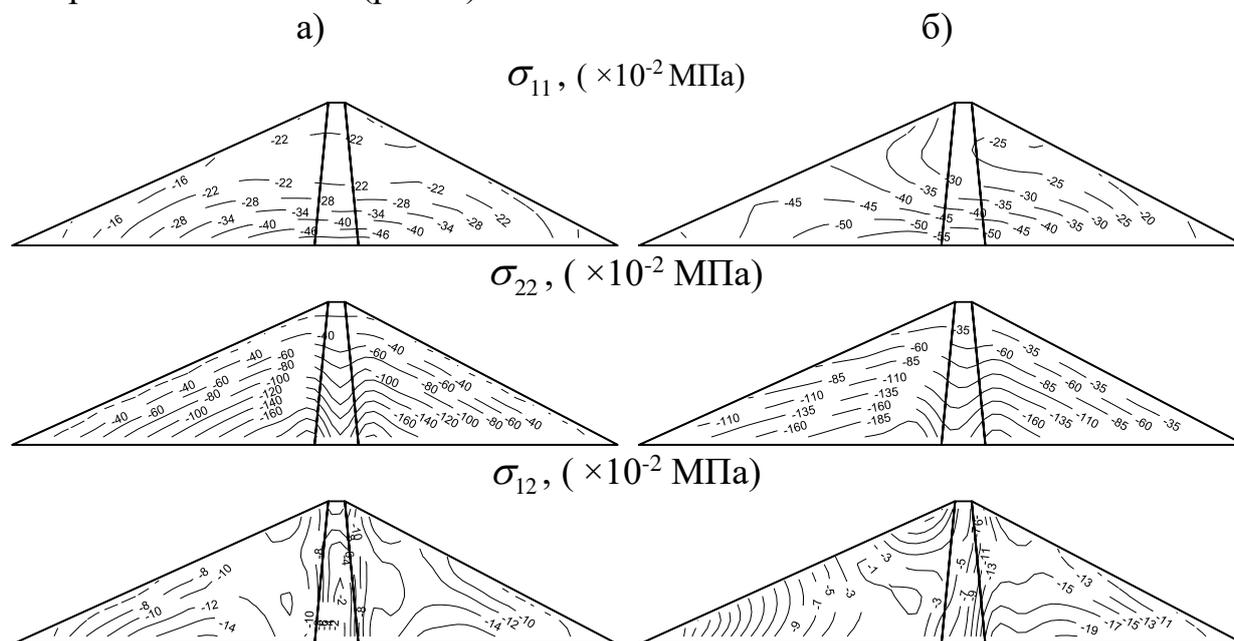
При этом поставленная задача с помощью метода конечных элементов вариационная задача (1) с учётом (1) - (4) сводится к системе линейных алгебраических уравнений.

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

Здесь,  $[K]$  - матрица жёсткости системы;  $\{u\}$  - вектор узловых перемещений;  $\{P\}$  - вектор амплитуд внешних нагрузок (массовых сил гидродинамического давления воды и др). Алгебраическая система уравнений (6) решается методом Гаусса.

Используя вышеприведенную математическую модель, методы вычисления и алгоритмы для Гиссаракский, Сохский и Пачкамарский грунтовых плотин с учетом их собственного веса, уровня заполненности, а также под действием гидростатического давления, проведены исследования по определению НДС.

На основе выше приведенной методики, для рассматриваемых плотин определены перемещения  $u_1$ ,  $u_2$  и значения напряжений  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{12}$  построены изолинии (рис.2.).



**Рис.2.Изолинии распределения напряжённого состояния для Гиссаракской грунтовой плотины с учетом собственного веса (а) и под действием полного заполнения водохранилища (б)**

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что под действием статических сил нормальные напряжения  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  носят симметричной характер относительно оси ядра. Причем значение  $\sigma_{11}$  увеличивается в сторону основания. При этом значение вертикального напряжения  $\sigma_{22}$  вокруг ядра уменьшается. Изолинии  $\sigma_{11}$  существенно отличаются от  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  нормального напряжения, причём изолинии напряжения  $\sigma_{22}$  становятся почти симметричными относительно вертикальной оси.

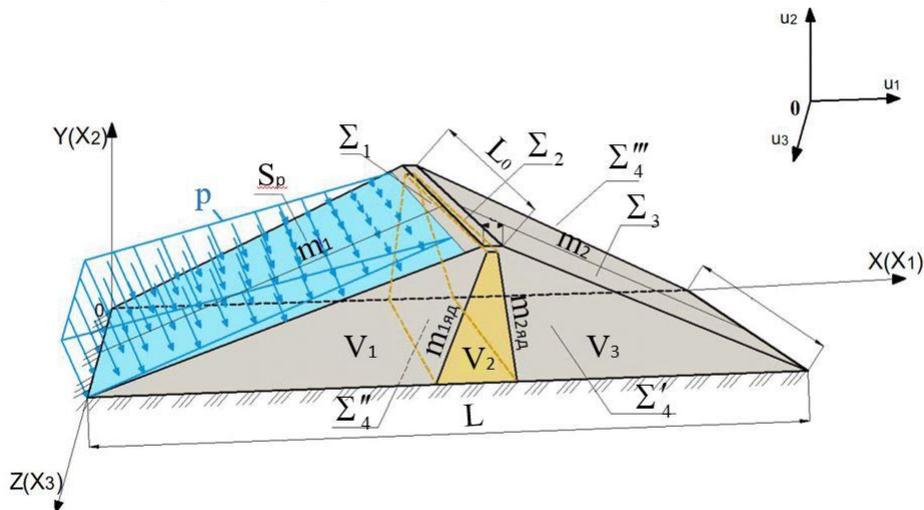
Гидростатическое давление воды существенно измеряет характер распределения напряжений точек  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  и  $\sigma_{12}$  вдоль плотины, в этом случае значение  $\sigma_{11}$  увеличивается 1,5-2 раза, а значение вертикального напряжения  $\sigma_{22}$  в 2 раза. При этом в ядре и вокруг ядра уменьшается точка “эффект арка”. Существенное влияние НДС оказывает на действие гидростатического давления. При полном заполнении водохранилища, за счёт гидростатического давления наблюдается небольшое влияние интенсивности напряжения верхней части.

**Вторая глава диссертации под названием “Оценка пространственного напряженно-деформированного состояния грунтовых**

**плотин**” посвящена исследованию НДС грунтовых плотин с учётом собственного веса и под гидростатическим давлением на примере 3 грунтовых плотин: Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской. На основе полученных результатов оценено НДС каждой из трёх плотин. Полученные в первой главе результаты в плоском случае, сравнимы для каждой плотины и подготовлены рекомендации по выбору расчётной модели.

Для математической модели, в качестве расчётной схемы принята схема, приведенная на рис.3. для пространственного деформированного состояния плотина рассматривается как неоднородное твёрдое тело, находящееся в равновесии, сооружение занимает объём  $V=V_1+V_2+V_3$ . При построении математической модели необходимо учитывать неоднородность материала со сплошной геометрией. Здесь  $V_1$ ,  $V_3$  соответственно опоры призмы плотины,  $V_2$  ядро плотины. Каждая часть этих объёмов имеет разные механические характеристики. В общем случае они составляют единую неоднородную деформируемую механическую систему.

Основание рассматриваемой системы закреплено на абсолютно жестком основании  $\Sigma_4$ .  $\Sigma_1$  – верхняя часть поверхности системы  $S_p$  находится под гидростатическим давлением  $\vec{p}$  воды, а  $\Sigma_2$  – верхняя часть плотины (гребень) и  $\Sigma_3$  – нижняя поверхность плотины находятся под напряжением -свободно. Будем считать, что векторы компонент перемещений и тензоры напряжений непрерывны на поверхностях, разделяющих объемы  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ .



**Рис.3 Модель пространственной неоднородной системы деформирования.**

Здесь также требуется определить, возникающие в пространственной неоднородной системе  $V$  перемещения, деформацию и напряжения под действием статических сил  $\vec{p}$  и  $\vec{f}$ . При этом площади  $\Sigma_4$ ,  $\Sigma_4$  - характеризуют поверхность плотины, соединенной со скалой,  $L_0$  - длина верхней части плотины;  $L$  - длина поперечного основания плотины;  $b$  - ширина гребня плотины;  $V_0$  - длина основания плотины;  $m_1$ ,  $m_2$  -наклонность верхнего и нижнего объёмов;  $m_{1яд}$ ,  $m_{2яд}$  - характеризует наклонность ядра плотины.

Для оценки процесса деформирования в трёхмерной системе на основе принципа возможных перемещений используем вариационное уравнение с климатическими граничными условиями:

$$\begin{aligned} \delta A = & - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV + \\ & + \int_V \vec{f} \delta \vec{u} dV + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\vec{x} \in \Sigma_4^{\cdot} + \Sigma_4^{\cdot\cdot} + \Sigma_4^{\cdot\cdot\cdot}: \quad \vec{u} = 0. \quad (8)$$

Для полного математического моделирования в пространственном случае к (7) добавим обобщенные законы Гука и соотношения Коши.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{11} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{11} & \sigma_{12} &= \mu \varepsilon_{12}, \\ \sigma_{22} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{22}, & \sigma_{23} &= \mu \varepsilon_{23}, \\ \sigma_{33} &= \lambda \theta + 2\mu \varepsilon_{33}, & \sigma_{31} &= \mu \varepsilon_{31}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\theta = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}, \quad \lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{\partial u_1}{\partial x_1}, & \varepsilon_{12} &= \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1}, \\ \varepsilon_{22} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_2}, & \varepsilon_{23} &= \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2}, \\ \varepsilon_{33} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_3}, & \varepsilon_{31} &= \frac{\partial u_3}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_3}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Здесь  $\lambda$  и  $\mu$  - коэффициенты Ляме;  $\theta = \varepsilon_{kk}$  - пространственные деформации;  $\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}$  - компоненты вектора перемещений;  $\vec{x} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$  - координаты точек плотины. При решении пространственных задач индексы  $i, j, k$  принимают значения  $i, j, k=1, 2, 3$ .

Для решения поставленной пространственной неоднородной системы используем метод конечных элементов. В этом случае в качестве конечного элемента принимаем тетраэдр с двенадцатью степенями свободы.

Далее с помощью процедуры метода конечных элементов рассматриваемая задача (7)-(10) для сооружения (рис.3) сводится к системе линейных алгебраических уравнений:

$$[K]\{u\} = \{P\} \quad (11)$$

Здесь  $[K]$  - матрица жёсткости системы;  $\{u\}$  - вектор узловых перемещений;  $\{P\}$  - вектор точка внешних нагрузок (массовых сил гидростатического давления воды и др).

Для решения пространственной и плоской задачи использована программа расчёта на ЭВМ, а также применён программный продукт Abaquss.

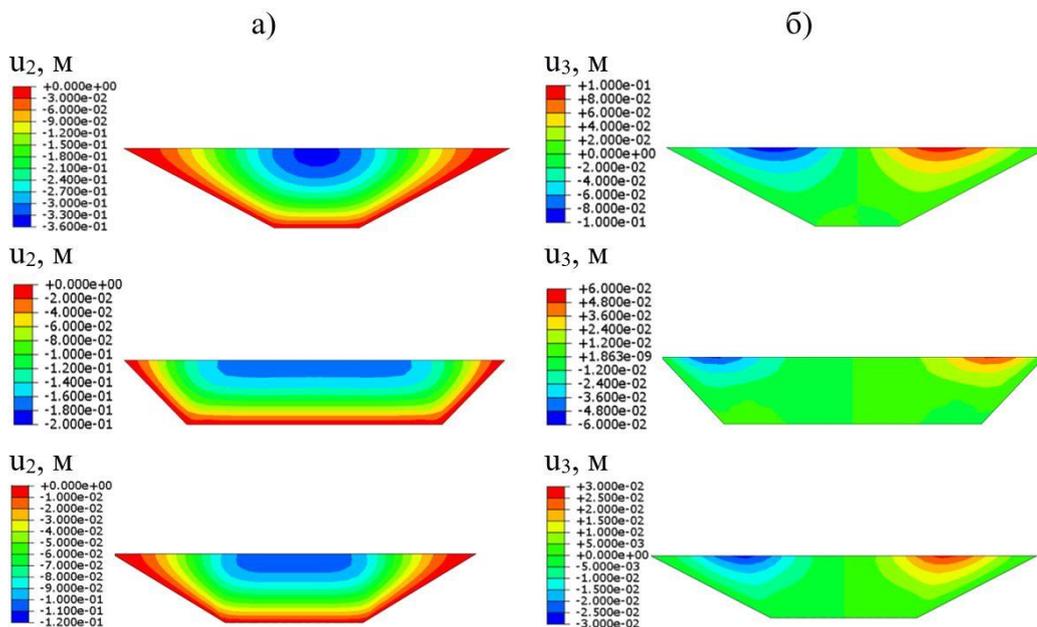
Используя вышеприведенной математический модуль с применением системы Abaqus проведена оценка НДС трех грунтовых плотин: Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской с учётом собственного веса, а также под действием гидростатического давления. Исследования были проведены для двух вариантов: в первом варианте в случае пустого водохранилища, во втором в случае полностью заполненного водой.

Определены  $u_1, u_2, u_3$ -перемещения, деформации  $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}, \varepsilon_{12}=\varepsilon_{21}, \varepsilon_{23}=\varepsilon_{32}, \varepsilon_{31}=\varepsilon_{13}$  и компоненты напряжения  $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}=\sigma_{21}, \sigma_{23}=\sigma_{32}, \sigma_{31}=\sigma_{13}$  грунтовых плотин под действием собственного веса и гидростатического давления. При этом построены их изолинии и равномерное распределение вдоль тела плотины (рис.4 и 6). Полученные результаты сопоставлены с результатами, полученными при плоском напряжённом состоянии.

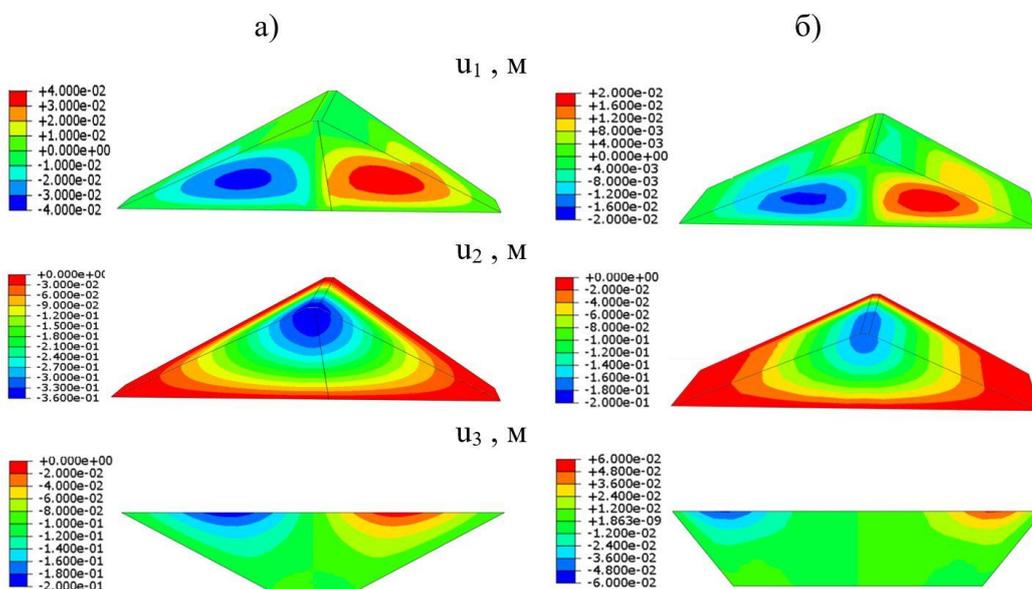
На основе полученных результатов установлено, что (рис.4) распределение  $u_2$  вертикального перемещения продольного сечения Гиссаракской плотины отлично по сравнению с Сохской и Пачкамарской плотинами. Во всех плотинах величины перемещений  $u_2$  от основания к вершине увеличиваются и зависят от высоты плотины. Обнаружено что резкое изменение перемещений происходит в Гиссаракской плотине от срединной части влево и вправо. Также выявлено, что во всех плотинах продольные перемещения резко увеличиваются.

При сравнении состояния деформирования в пространственном и плоском видах установлено, что картина распределения  $u_1$  - перемещений в среднем сечении Гиссаракской плотины существенно отличаются друг от друга (рис. 5). Обнаруженные, при плоском состоянии на наклонной верхней части, в большом количестве перемещения, в пространственном случае не обнаружены. Закон распределения вертикального перемещения  $u_2$  к поперечному сечению находится вблизи друг от друга. В пространственном случае они уменьшаются на 10%. В середине Гиссаракской плотины перемещения  $u_3$  практически обращаются в нуль. Влево и вправо от берега значения перемещений увеличиваются.

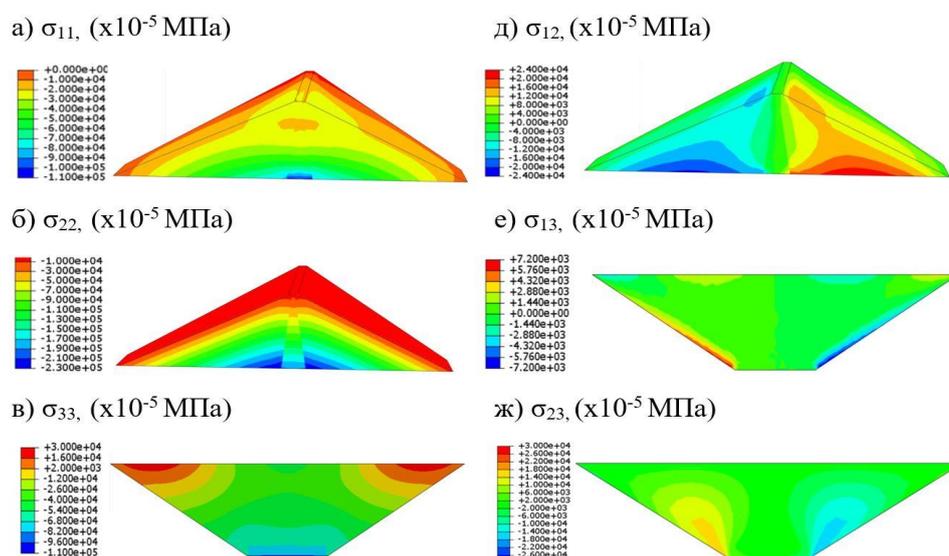
В пространственном деформированном состоянии обнаружено, что напряжение в теле Гиссаракской плотины величина напряжения  $\sigma_{11}$ , несмотря на то, что она имеет симметричный характер относительно распределения средней поперечной части, увеличивается на 35%, а вертикальное напряжение  $\sigma_{22}$  тоже имеет подобный характер, оно уменьшается на 8-10%. В Сохской и Пачкамарской плотинах  $\sigma_{11}$  увеличивается на 8-10%, в то же время  $\sigma_{22}$  уменьшается на 3-5%. Распределение напряжения  $\sigma_{33}$  на продольном сечении Гиссаракской плотины уменьшается с увеличением высоты и имеет характер сжатия. Вправо и влево от срединной части плотины  $\sigma_{13}$ - и  $\sigma_{23}$  увеличивается резко и вблизи от берега обнаруживается процесс удлинения. Такие механические явления нельзя определить с помощью плоской модели.



**Рис. 4. Изополя вертикальных перемещений  $u_2$  (а) и продольных  $u_3$  (б), вызванных удельным весом, в продольных разрезах плотин Гиссарак (вверху), Сох (в центре) и Пачкамар (внизу)**

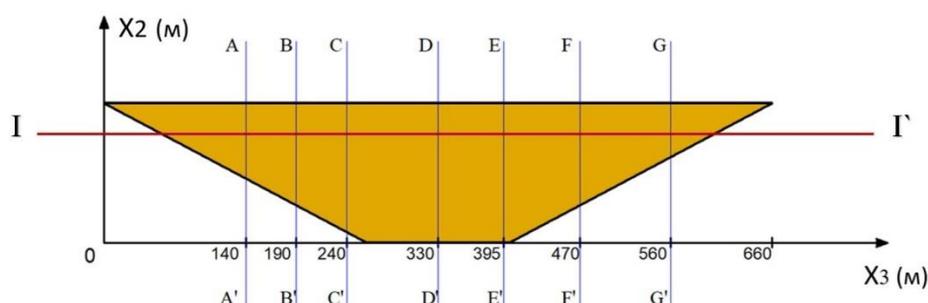


**Рис.5. Изополя распределения пространственной деформации среднего поперечного и продольного сечения Гиссаракской (а) и Сохской (б) плотин под действием собственного веса:  $u_1$ -поперечные,  $u_2$ -вертикальные и  $u_3$ -продольные перемещения**



**Рис.6. Изополя распределения составляющих напряжений в пространственном положении Гиссаракской плотины под действием собственного веса на тело плотины**

Для глубокого изучения НДС грунтовых плотин с учётом собственного веса в разных поперечных “А-А” – “G-G” сечениях Гиссаракской, Сохской плотин, а также продольного сечения “I-I” строятся изолинии компонентов относительной деформации напряжения.



**Рис.7. Схема расположения поперечного и продольного сечения пространственного НДС Гиссаракской плотины**

Сравнительная точка показывает, что пространственное и плоское деформированное состояние, характер распределения поперечного сечения относительно деформации будут подобными на левом и правом берегах. В средней части поперечного сечения распределение деформации отличаются.

Учет гидростатического давления воды приводит к увеличению напряжённого состояния верхней части призмы в 1,5-2 раза и на откосах левого и правого берегов величина напряжения увеличивается в 1,3 раза.

**В третьей главе диссертации “Оценка прочности грунтовых плотин на основе полученных результатов плоского пространственного деформированного состояния”** сделана оценка прочности Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской плотин под действием собственного веса.

На основе потенциальной энергии четвертой теории прочности для оценки грунтовых плотин (плоской и пространственной в случаях)

использована методика потенциальной энергии при деформирований, полученных на основе четвертой теории прочности.

В этом случае эквивалентное соотношение в разовом деформировании вычисляется формулой при пространственном

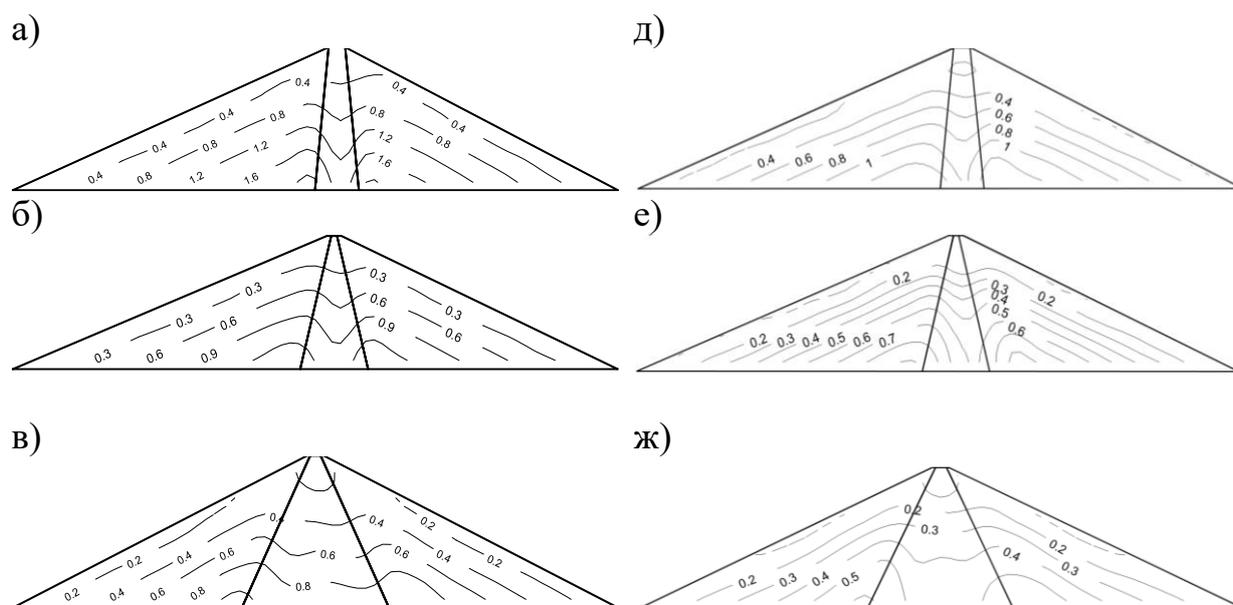
$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2]} . \quad (12)$$

и плоском случае формула вычисления эквивалентного напряжённого состояния определяется соотношением.

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{11} - \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22}))^2 + (\sigma_{22} - \nu(\sigma_{11} + \sigma_{22}))^2 + 6\sigma_{12}^2} \quad (13)$$

По требованию теории энергетике для прочности каждой точки грунтовых плотин должно выполняться условие

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq [\sigma] \quad (14)$$



**Рис.8. Изолинии оценки эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  (МПа) в плоском и пространственном напряжённом состоянии для Гиссаракской (а, д), Сохской (б, е) и Пачкамарской (в, ж) плотин**

Для оценки прочности плотин в плоском и пространственном случаях деформирования по всему телу эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ , для различных грунтов, должно выполняться условие (14) (рис.8). Если выполняется условие (14), то считается что рассматриваемая часть прочным, иначе для данной части условия прочности не обеспечен.

Сравнение эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{ЭКВ}}$  показывает, что в верхней и нижней частях призм Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской плотин условие (14) обеспечивается во всех точках этих плотин. Это означает что условия прочности во всех плотинах выполнены. Это показывает, что прочность всех плотин под действием собственного веса обеспечена.

**Четвертая глава диссертации “Оценка динамических характеристик грунтовых плотин в плоском и пространственном состоянии” посвящена определению динамических характеристик**

(собственные колебания, частота и форма колебаний) Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской плотин в плоской и пространственной постановках. При вычислениях учтены конструктивные особенности, реальная геометрия, физико-механические свойства факторы, а также влияние гидростатического давления на собственные частоты и формы колебаний.

Для моделирования собственных колебаний системы (рис.3) используется точка уравнения Лагранжа с кинематическими граничными условиями, основанными на принципе Даламбера:

$$\delta A = - \int_{V_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dV - \int_{V_1} \rho_1 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \quad (15)$$

$$- \int_{V_2} \rho_2 \ddot{u} \delta \bar{u} dV - \int_{V_3} \rho_3 \ddot{u} \delta \bar{u} dV + \int_{S_p} \bar{p} \delta \bar{u} dS = 0.$$

$$\vec{x} \in \Sigma_4^{\cdot} + \Sigma_4^{\cdot\cdot} + \Sigma_4^{\cdot\cdot\cdot}: \quad \vec{u} = 0. \quad (16)$$

При постановке математической задачи связь между напряжением и деформацией принимаем в виде обобщенного закона Гука (9), соотношение Коши (10) и гидростатического давления воды (5).

Для рассматриваемой задачи (рис.3) предполагается, что собственные частоты являются нетривиальным решением уравнения (15).

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}^*(\vec{x}) e^{-i \omega t}, \quad (17)$$

$$\vec{u} = \{u_1, u_2, u_3\} = \{u, v, w\}, \quad \vec{x} = \{x_1, x_2, x_3\} = \{x, y, z\}$$

Здесь  $\omega = 2\pi \cdot f$  и  $\vec{u}^*$  соответственно частоты и формы собственных колебаний.

Для определения динамических характеристик грунтовых плотин (рис.3) вариационная задача (15) с помощью метода конечных элементов сводится к следующей системе однородных алгебраических уравнений.

$$([K] - \omega^2 [M]) \{\vec{u}\} = 0 \quad (18)$$

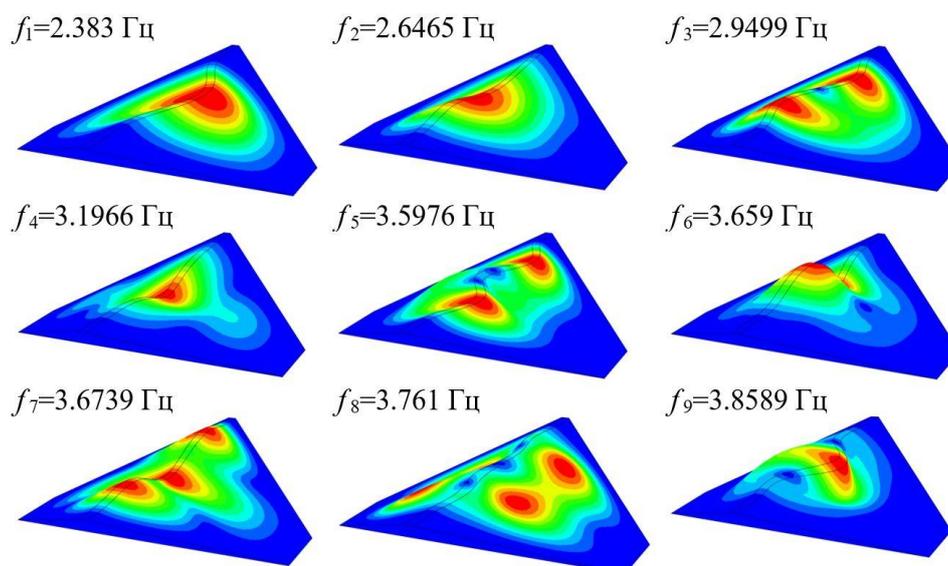
Здесь  $[K], [M]$  - соответственно матрицы жёсткости и массы,  $\omega, \{\vec{u}\}$  собственные частота, точка вектора собственных колебаний.

Решение системы (18) выполняется с помощью программного комплекса Abaqus. Для рассматриваемой задачи количество неизвестных достигается 50.000

Для Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской плотин с учетом параметров проектирования, гидростатического давления и без учета давления при плоской и пространственной постановках определены собственные частоты и формы колебаний, которые приведены на рис.9-10. Также приведены заключения на основе сравнения моделей вычисления в плоском и пространственном состояниях.

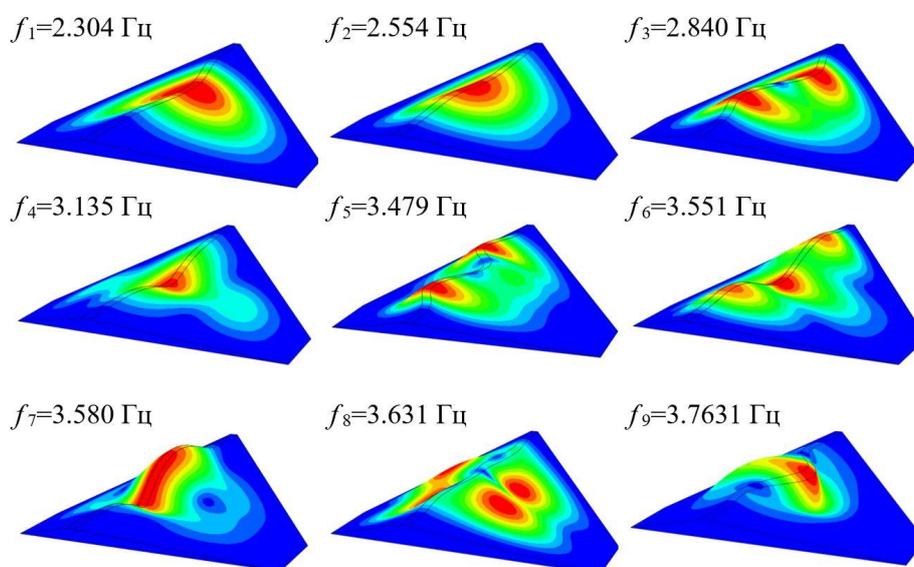
Если плотина имеет большую высоту например, Гиссаракская, частоты плотины находятся в плотном спектре (2.023-4.498Гц), а плотины невысокого

размера, например Сохская и Пачкамарская, частоты находятся в относительно широком спектре (соответственно 3.026-7.296Гц и 3.569-8.081Гц). Уменьшение высоты плотины приводит к повышению значения частоты и расширению спектра.



**Рис.9. Частоты и формы колебаний первых 15 частот Гиссаракской грунтовой плотины (без воды).**

Построены первые 15 частот и формы колебаний рассматриваемых плотин в пространственной постановке. Установлено, что полученные результаты относительно первой частоты показывают, что при плоском состоянии частоты колебаний для Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской плотин соответственно увеличены на 18%, 5,3% и 2,8%.



**Рис.10. Виды собственных частот колебаний и колебаний Гиссаракской плотины с учётом гидростатического давления воды**

При изучении собственных колебаний земляных плотин в пространственном состоянии было установлено, что существуют собственные частоты и формы, связанные с пространственным состоянием плотин, которые невозможно определить в плоском состоянии.

## ВЫВОДЫ.

На основании проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему **“Оценка пространственного напряженного состояния и динамических характеристик грунтовых плотин”** представлены следующие выводы:

1. На основе оценки напряженно-деформированного состояния Гиссаракской, Сохской и Пачкамарской грунтовых плотин, расположенных в Республике, под действием собственного веса и гидростатического давления с помощью плоской и пространственной модели разработана математическая модель для решения поставленной задачи, усовершенствована методика расчёта и использована лицензированная программа Abaqus. Полученные результаты позволяют оценить НДС плотин.

2. Достоверность результатов разработанных моделей, методики, алгоритмов сопоставлены с решением ряда тестовых задач и с решением известных приближённых моделей.

3. Распределение компонент перемещений и напряжений, создаваемых статическими силами в теле земляных плотин при плоском деформировании, определялось следующим образом:

- показано, что горизонтальные смещения  $u_1$  имеют примерно симметричный характер относительно центра ядра плотины и направлены в сторону верхнего и нижнего откосов. Показано, что значения вертикальных перемещений  $u_2$  возрастают от основания плотины вверх и достигают большой величины в верхней части ядра и базисных призм вокруг него, и имеют примерно симметричный характер относительно центра ядра плотины;

- установлено, что нормальные напряжения  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  примерно симметричны по отношению к центру ядра плотины, и их величина возрастает от вершины плотины к основанию, а величина вертикального напряжения  $\sigma_{22}$  уменьшается в ядре и его окружении, вызывая «эффект арка». Возникновение этого механического явления объяснялось сооружением ядра плотины, переходной зоны и опорных призм из разных грунтов.

4. Для оценки напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин под действием собственного веса и гидростатического давления водохранилища были проведены расчетные работы в пространственном ракурсе, результаты проанализированы и сопоставлены с результатами, полученными с использованием плоской модели, разработаны соответствующие рекомендации по выбору модели каждой плотины.

5. Гидростатическое давление воды перераспределяет напряжения  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$  и  $\sigma_{12}$  в среднем сечении плотины по телу плотины, в результате чего оно полностью теряет свой симметричный характер. При этом наблюдалось увеличение величины напряжений  $\sigma_{11}$  в верхней призме плотины до 2,0 раз, а

в верхней части до 1,5 раза. Значения вертикальных напряжений  $\sigma_{22}$  возрастают до 1,3 раза в верхней базовой призме. Показано, что значения испытательных напряжений  $\sigma_{23}$  практически равны нулю в середине плотины и имеют большое значение в местах примыкания к левому и правому берегам плотины. Также установлено, что гидростатическое давление воды увеличивает значения продольного смещения  $u_3$  в направлении оси  $u_3$  в продольном сечении Гиссаракской плотины до 10 процентов в верхней части слева и справа береговых откосов плотины. Выявленные механические процессы свидетельствуют о том, что грунт, расположенный в этой части плотины, работает в состоянии сложной деформации.

6. Выявлено, что плоская (двумерная) модель не имеет возможности точно оценить процессы, происходящие в плотине при оценке напряженно-деформированного состояния Гиссаракской плотины под действием собственного веса и гидростатического давления резервуара. Показано, что при оценке напряженно-деформированного состояния конструкций с геометрией Гиссаракской плотины следует проводить только исследовательские работы с использованием пространственной модели. Было установлено, что плоская (двумерная) модель также может быть использована в плотинах, расположенных в широком русле реки, таких как плотины Сох и Пачкамар.

7. При исследовании собственных колебаний грунтовых плотин в пространственном состоянии было показано, что существуют определенные частоты и формы, связанные с пространственным состоянием плотин, которые не могут быть определены в плоском состоянии. Показана важность выбора плоской или пространственной модели при проектировании грунтовых плотин с учетом конструктивных особенностей плотин, реальных геометрических размеров, физико-механических свойств грунта, гидростатического давления воды резервуара.

8. Результаты диссертационной работы представлены в АО «Гидропроект» (20 июня 2022 г.), ООО «Республиканский инженерно-исследовательский и лабораторно-исследовательский центр» для использования в процессах проектирования земляных плотин (12 апреля 2022 г.) «Кашкадарьинское Областное управление водопользования» (10 августа 2022 года) и УП «Гиссаракская ГЭС» (11 августа 2022 года).

**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” NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

---

**“TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS” NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY**

**JURAEV DONIYOR PAKHRIDIN UGLI**

**ASSESSMENT OF SPATIAL STRESS STATE AND DYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF EARTH DAMS**

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-2022**

**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 B2022.4.PhD/T3006**

The doctoral dissertation has been prepared at the “Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers” National research university.

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

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich</b> doctor of technical sciences, professor, academician ASRU
	<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>Safarov Ismoil Ibrokhimovich</b> doctor of physical and mathematical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Tashkent Institute of Architecture and Construction</b>

The defense will take place «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 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 agricultural mechanization engineers” National research university (Address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Tel: (99871) 237-22-67; Fax: (99871) 237-54-79, e-mail: admin@tiame.uz).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Centre of the “Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers” National research university (registered with № \_\_\_\_\_) at the address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Tel: (99871) 237-19-45

Abstract of dissertation was sent «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022  
(register of the distribution protocol № \_\_\_\_\_ from «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022)

**A.T.Salohiddinov**  
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

**M.R Bakiev**  
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 spatial stress state and dynamic characteristics of earth dams.

**The object of the research** is the Gissarak, Sokh and Pachkamar earth dams built in the Republic.

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

- improved a plane and spatial mathematical models allowing to assess the stress-strain state and strength of the structure under the influence of various forces, taking into account the structural non-homogeneous of the earth dams of the reservoir, and also developed a method and algorithm for calculating in the Abaqus CAE software;

- the stress-strain state of three earth dams with different design features were assessed, taking into account their own weight and hydrostatic pressure of reservoir water in a plane and in a spatial models;

- when assessing the stress-strain state and strength of earth dams, the optimal calculation option is proposed either in a plane or spatial model, setting it up taking into account their structural structure and geometric dimensions;

- according to the dimensions of the longitudinal and transverse sections of earth dams, it has been established that with a ratio of the average value of the length  $L_{mi} = (L_o + B_o)/2$  to the height of the dam  $H$ ,  $\frac{L_{mi}}{H} < 4$  must be used in the calculations of the spatial model, and with  $\frac{L_{mi}}{H} \geq 4$ , a plane model can be used;

- the dynamic characteristics of various dams, with the help of a spatial model, were obtained and the weak points of the dam were identified with the help of the energy theory of strength;

- based on a spatial model, tensile deformation are determined that can arise in certain places of the dam body when assessing the stress state under the action of the body forces.

### **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 assessment calculation methods for earth dams have been introduced by the unitary "Hisorak HES" (certificate of the Ministry of Water Resources dated August 20, 2022). As a result of scientific research, it became possible to assess the strength and deformation of earth dams;

the developed mathematical models and calculation methods are implemented in the "Department for the use of reservoirs of the Kashkadarya region" (certificate of the Ministry of Water Resources dated August 20, 2022). As a result, it became possible to assess the strength of earth dams;

the developed mathematical models for determining the natural frequencies and mode of vibrations are implemented in the joint-stock company "Gidroproekt" (certificate of the Ministry of Water Resources dated August 20, 2022), as a result, it became possible to assess the stress-strain state of earth dams

**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. Маткаримов П., Жўраев Д. Оценка напряженно-деформированного состояния и оценка прочности грунтовых сооружений под действием статических нагрузок //Ирригация ва мелиорация журнали. – Тошкент, 2022. - №2(28). – С. 32-37. (05.00.00; №22).

2. Маткаримов П., Жўраев Д., Уразмухамедова З. Определение собственных частот и форм колебаний плотин // Проблемы механики. Тошкент, 2022. -№1(31). – С. 25-31. (01.00.00; №4).

3. Mirsaidov M., Sultanov T., Abdugarimov R., Ishmatov A., Yuldoshev B., Toshmatov E., Juraev D. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects // Инженерно-строительный журнал. – Санкт-Петербург, 2018. -№1. Рр.101-111. doi: 10.18720/MSE.77.9. (01.00.00; №27)

4. Akhmedov M., Yarashov J., Juraev D. Damage and destruction of irrigation canals during earthquakes and recommendations for their strengthening // Lecture Notes in Civil Engineering, 182, 2021. pp. 419-427. DOI: 10.1007/978-3-030-85236-8\_38 (№24. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.48)

5. Mirsaidov M., Urazmukhamedova Z., Juraev D. Assessment of stress state and dynamic characteristics of plane and spatial structure // Journal of Physics: Conference Series ICAPSM 2021. doi:10.1088/1742-6596/2070/1/012156

6. Akhmedov M., Juraev D., Khazratkulov I. Earthquakes and seismic safety of waterworks facilities in the Central Asian region // Materials Science and Engineering CONMECHYDRO – 2020 . doi:10.1088/1757-899X/883/1/012027

**II бўлим(II часть; II part)**

7. Бакиев М., Жўраев Д. Жийдалисой сув омборига сув келтириш каналини техник ҳолатини яхшилаш бўйича чора-тадбирлар // Замонавий архитектура, биолар ва иншоотларнинг мустаҳкамлиги, ишончилиги ва сейсмик хавфсизлик муаммолари республика илмий-амалий конференцияси. Наманган шаҳри, 2-4 май, 2019 й Б. 163-166

8. Мингяшаров А., Жўраев Д. Ўзбекистон худудида грунтларни силикатлаш билан мустаҳкамлашни жадаллаштириш // Энергия тежамкор ва маҳаллий хом ашёлар асосида қурилиш материал-лари, буюмлари ва конбетукциялари-ни ишлаб чиқаришни ривожлантириш муаммолари” республика илмий-техникавий конференцияси Тошкент – 2018 йил, 14-15 декабрь Б. 163-166

9. Хошимов С., Жўраев Д. Чортоқ сув омборидаги тадқиқотлар таҳлили // Қашқадарё вилоятини инно-вацион ривожлантириш: муаммо ва ечимлар» мавзусида республика миқёсидаги Онлайн илмий-амалий анжумани. Қарши–2020. Б437-439.

10. Жўраев Д. Грунтли тўғонларнинг мустаҳкамлигини текис моделда олинган натижалар орқали баҳолаш // “Қишлоқ ва сув хўжалигининг замонавий муаммолари” мавзусида ги анъанавий ХХІ - ёш олимлар, магистрантлар ва иктидорли талабаларнинг илмий - амалий анжумани. Тошкент-2022 йил, 12-13 май. –Б.. 741-743

Автореферат «IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тилларидаги матнлари мослиги текширилди (30.11.2022 й.).

Босишга рухсат этилди: 01.12.2022 йил.  
Бичими 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>, «Times New Roman»  
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.  
Шартли босма табоғи: 3. Адади 100. Буюртма № 268.  
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