

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

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

УСМОНОВА НОДИРАХОН АКРАМОВНА

**«СУВ ОМБОРЛАРИ ҚУВУРЛАРИДАГИ ПУЛЬСАЦИЯ ВА КАВИТАЦИЯНИНГ
ШАКЛЛАНИШИ ДИНАМИКАСИНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ»**

05.09.07 – Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси

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

Тошкент – 2021

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

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

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

Усмонова Нодирахон Акрамовна

Сув омборлари қувурларидаги пульсация ва кавитациянинг
шаклланиши динамикасини моделлаштириш..... 3

Усмонова Нодирахон Акрамовна

Моделирование динамики формирования пульсации и кавитации в
трубопроводах водохранилищ..... 21

Usmonova Nodiraxon Akramovna

Modeling the dynamics of the formation of pulsation and cavitation in
reservoirs..... 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

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

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

ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

УСМОНОВА НОДИРАХОН АКРАМОВНА

**«СУВ ОМБОРЛАРИ ҚУВУРЛАРИДАГИ ПУЛЬСАЦИЯ ВА
КАВИТАЦИЯНИНГ ШАКЛЛАНИШИ ДИНАМИКАСИНИ
МОДЕЛЛАШТИРИШ»**

05.09.07 – Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси

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

Тошкент – 2021

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясини маъноси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №В2020.2.PhD\T1757 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Фаргона политехника институтинда бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (resumes)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tiasho.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Худайкулов Сават Ишмакулович
техника фанлари доктори, профессор.

Расмий ошловчилар:

Эшен Собир Саматович
техника фанлари доктори, профессор.

Шахматов Фаррух Шоакбарович
техника фанлари номоуди, доцент.

Етказчи ташкилот:

Ўзбекистон Фанлар Академияси
Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги
институтини

Диссертация ҳимояси Тошкент ирригация ва кишлук хўжалиғини механизациялаш муҳандислари институтини ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.10.02 рақамли илмий кенгашнинг "13" октябр 2021 йил соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтган (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Нисий кўчаси, 39-уй.Тел: (99871) 237-09-71; Факс: (99871) 237-54-79, e-mail: adptil@tiasho.uz).

Диссертация билан Тошкент ирригация ва кишлук хўжалиғини механизациялаш муҳандислари институтини Ахборот-ресурс марказида таништириш мумкин (194 рақамли билан рўйхатга олинган.) (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Нисий кўчаси, 39-уй. Тел: (99871) 237-19-45).

Диссертация автореферати 2021 йил «14» октябр кунин тарқатилади.
(2021 йил «14» октябр даги 194 рақамли реостр баённомаси)



Т.Э.Султонов
Илмий кенгашнинг берувчи илмий
котиби, т.ф.д., профессор

Ф.А.Гашиаров
Илмий кенгашнинг берувчи илмий
котиби, т.ф.д., профессор

Д.Р.Базаров
Илмий кенгашнинг берувчи илмий
котиби, т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сув омборлари, муҳандислик коммуникацияларидан ишончли фойдаланиш имконини берадиган технологиялар ва воситаларни қўллаш етакчи ўринлардан бирини эгалламоқда. Дунё миқёсида ушбу йўналишда, ривожланган давлатларда сув омборлар, гидроэлектростанциялар, гидроузеллар ҳамда сув чиқариш қувурларида кавитация ва пульсация натижасидаги бузилишнинг олдини оладиган иншоотларни лойиҳалашнинг самарали усуллари такомиллаштириш ва амалиётга жорий этишни тақозо этади. Шу жиҳатдан, гидроиншоотлар қувурларидаги содир бўладиган эрозия, деформациянинг олдини олиш ва уларнинг ишончли эксплуатациясини таъминлаш имконини берадиган технологиялар, усуллар ва воситаларни қўллаш муҳим аҳамиятга эга ҳисобланади.

Жаҳонда гидротехника иншоотларининг автоматик бошқаришни моделлаштириш қурилма, иншоотлари эксплуатацияси натижасида вужудга келадиган ва иншоотлар элементларига салбий таъсир этувчи кавитацион кучланишлар, тебраниш жараёнларини бартараф этиш бўйича илмий асосланган ҳисоблаш услубларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда жумладан, гидроиншоотлар қувурларидаги кавитация ва пульсациянинг шаклланиши динамикасини моделлаштириш, хавфсиз ишлашини таъминлаш учун босим пасайиши зоналарини башоратлаш орқали сув ўтиш жараёнини бошқариш технологияларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланади. Бу борада муҳандислик қувурларидаги кавитация ва пульсация жараёнларининг шаклланиш динамикасини ўрганиш, унга информацион технологияларни қўллаш, фойдаланишга йўналтирилган тадқиқотларга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда сув хўжалиги ва энергетика соҳасининг гидротехника иншоотларида кавитация ва пульсация жараёнларини бошқариш, ахборотлаш имконини яратувчи гидравлик ҳисоблашларнинг янги усуллари яратишга доир чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “Муҳандислик-коммуникация ва инфратузилмаларни ривожлантириш ҳамда модернизация қилиш бўйича мақсадли дастурларни амалга ошириш”¹ бўйича муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда, муҳандислик коммуникацияси ва сув омборлари қувурларидаги кавитация ва пульсациянинг шаклланиши динамикасини моделлаштириш, ҳисоблашнинг илмий ва амалий аҳамиятга эга бўлган назарий асослари ва усуллари ишлаб чиқишга қаратилган илмий тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

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

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 25 сентябрдаги ПҚ-3286-сонли “Сув объектларини муҳофаза қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлар тўғрисида”ги, 2019 йил 9 октябрдаги ПҚ-4486-сон “Сув ресурсларини бошқариш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг V. “Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф муҳит муҳофазаси” устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кавитация жараёнини муҳандислик ва гидротехник иншоотларга таъсирини тадқиқот қилиш Н.П.Розанов, С.М.Слисский, И.С.Новикова, А.Г.Журавлев, А.Т.Ниеткалиев, А.В.Ефимовлар томонидан ўрганилган. Ўзбекистонлик олимлар Файзуллаев Ж.Ф., Латипов К.Ш., Хамидов А.А., Умаров А.И., Хужаёров Б.Х., Худайкулов С.И., Хўжаев И.К., Маликов З.М. ва бошқа бир қатор олимлар томонидан назарий ва амалий тадқиқотлар олиб борилган.

Қувурли муҳандислик коммуникациялари ва сув омборлари сув ўтказиш қувурлари, сув ташлаш иншоотларининг техник ҳолатини тадқиқ қилиш, сув чиқарувчи муҳандислик иншоотларининг техник ҳужжатлари билан танишишларнинг кўрсатишича, кавитация жараёни туфайли иншоотда тебраниш юзага келади. Бу тебранишлар оқим тезлигининг ортиши орқали суюқликдаги босимнинг буғ босимидан ҳам камайиб бориши оқибатида келиб чиқади. Оқибатда муҳандислик қурилмаларининг умумий ҳолатига ҳалокатли таъсир кўрсатади ва уларнинг мустаҳкамлик тавсифи камайиши юзага келади. Ушбу ҳолатларнинг олдини олиш ва конструктив ечимларини яратиш албатта зарурдир.

Ҳозирги вақтда муҳандислик коммуникациялари ва сув омборлари сув чиқариш тизими иншоотларида кавитация ҳосил бўлиши жараёнларини, дисперс аралашмаларнинг ўзаро аралашувчан ҳаракати ва кавитацион ҳодисаларни ахборотлаш усуллари бўйича тадқиқотлар ўтказиш зарурияти пайдо бўлади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ирригация ва сув муаммолари илмий тадқиқот институтининг илмий-тадқиқотлари режасининг ҚХ-А-ҚХ-2018-291 “Юқори босимли тўғонлардаги туташувчи оқимлар конструкциясини такомиллаштириш ва ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқиш” амалий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Каркидон сув омбори сув ўтказиш қувурлари ҳамда сув ташлаш иншоотларининг турли конструкцияли қисмларида

кавитация ва пульсациянинг шаклланишини математик моделлаштириш орқали такомиллаштиришдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

Каркидон сув омбори ва муҳандислик коммуникациялари сув ўтказувчи иншоотлари затворидаги резина зичлагичлардан катта тезликда чиқувчи оқимлар таъсирида кавитациянинг келиб чиқиш шартларини аниқлаш;

Каркидон сув омбори сув чиқариш тизимида кавитация бошланишини критик параметрлар усули бўйича башоратлаш тизимини яратиш, босим ва тезликнинг чегаравий мослигини энг мақбул усулларини топиш;

кўп фазали оқимда кавитация пайдо бўлишининг бошланғич интерваллари ва чегарасини ўрнатиш усулини ишлаб чиқиш;

сув омборларидаги юқори босимли уч фазали (сув, сузиб юрувчи элементлар ва ҳаволи оқим) оқимидан чиқувчи иншоотга ва гидроузелдаги сув ўтказгич йўналиши бўйича сиқилган кавитацион зонагача ҳаракатланишининг динамик моделини тузиш.

Тадқиқот объектлари сифатида Каркидон сув омбори ва фойдаланилаётган муҳандислик коммуникациялари қувурлари сув ташлаш иншоотларидаги кавитация ва пульсация жараёнлари олинган.

Тадқиқот предметини сув омборлари, муҳандислик қувурларида юзага келадиган пульсацияли ва кавитацияли оқимларнинг математик моделлари ташкил қилади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида назарий ва экспериментал тадқиқотларни амалга ошириш бўйича гидравлика, математик моделлаштириш усуллари, гидромеханика қонунлари асосида гидравлик моделлар тузиш ва уларни сонли ҳисоблаш усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Навье-Стокс тенгламаси орқали сув омбори сув ўтказувчи иншоотлар затворидаги резина зичлагичлардан катта тезликда чиқувчи оқимлар таъсирида кавитацион жараённинг пайдо бўлишини аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

сув омбори ва муҳандислик коммуникацияси қувурларидаги босим ва тезликни мос келиш чегараларини аниқлашнинг такомиллаштирилган усули Рейнольдс ва Фруд критерийлари асосида ишлаб чиқилган;

сув омборлари сув ўтказувчи қувурларидаги критик параметрларни ҳисобга олган ҳолда кавитация бошланишини башоратлаш усули ишлаб чиқилган;

сув ўтказувчи қувур конуссимон затворидаги оқим тезлигининг ўзгариши ўрганилиб, гидравлик параметрларни топиш учун аналитик ечим олинган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

назарий ва экспериментал тадқиқотлар натижалари асосида критик параметрлар усули бўйича Каркидон сув омбори сув ўтказувчи қувурларида кавитация бошланишининг алгоритми ва аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

сув омборлари сув ўтказиш, сув чиқариш, сув ташлаш тоннеллари ва иншоотлари, тошқин шароитидаги сув ташлагичлардаги суюқликнинг ҳаракат тенгламаси олиниб, аналитик ечими ишлаб чиқилди;

Кавитация назарияларини қўллаш орқали сув омборлари ва муҳандислик қувурлардаги хавфли ҳудудлар аниқланиб, алмашилиб турувчи режимлардаги, тошқин вақтидаги сувни ташлаб юборишда хавфли ҳудудлардаги кавитация жараёнлари ривожланадиган жойларини аниқлаш бўйича илмий асосланган тавсиялар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги кавитация бошланишини ахборотлаш бўйича фойдаланилган тенгламалар критик параметрлар усули бўйича масса, импульс ва энергиянинг сақланиши қонунлари асосида тузиб чиқилди. Олинган назарий натижаларни амалга оширилган экспериментал ва амалда ўтказилган тадқиқот натижалари билан таққосланганлиги ва тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти критик параметрлар усули бўйича кавитация бошланишининг алгоритми ишлаб чиқилди. Сув чиқариш, сув ўтказиш тоннеллари ва тошқин шароитидаги сув ташлагичларнинг суюқлик ҳаракати динамикасига мослиги аниқланиб, алгоритмини қурилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти Каркидон сув омбори сув чиқариш қувуридаги ҳудудлар аниқланиб, алмашилиб турувчи режимлардаги, тошқин вақтидаги сувни ташлаб юбориш, хавфли ҳудудлардаги, кавитация жараёнлари ривожланадиган қисмлари аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сув омборлари қувурларидаги пульсация ва кавитациянинг шаклланиши динамикасини моделлаштириш бўйича олинган натижалар асосида:

сув омбори затворларидаги резина зичлагичлардан сизиб турувчи оқимлардан кавитациялар пайдо бўлишини аниқлаш усули Каркидон сув омборида жорий этилган (Сув хўжалиги Вазирлигининг 2021 йил 28 январь № 04/20-326 сонли маълумотнома). Натижада, сув омбори сув ўтказгич қувурларида ҳосил бўладиган кавитация жараёнларини 1,2 мартага камайтириш имконияти яратилган;

сув омбори ва муҳандислик коммуникацияси қувурларидаги босим ва тезликнинг мос келиш чегараларини аниқлашнинг такомиллаштирилган усули Каркидон сув омборида жорий этилган (Сув хўжалиги Вазирлигининг 2021 йил 28 январь № 04/20-326 сонли маълумотнома). Натижада, сув омбори сув ўтказгич қувурларидан ишончли фойдаланиш имкони яратилган;

сув омборлари сув ўтказгич қувурларидаги критик параметрларни ҳисобга олган ҳолда кавитация бошланишини башоратлаш усули Каркидон сув омборида жорий этилган (Сув хўжалиги Вазирлигининг 2021 йил 28 январь № 04/20-326 сонли маълумотнома). Натижада, сув омбори сув ўтказгич қувурларида ҳосил бўладиган кавитация жараёнларини эрта аниқлаш ва уларнинг олдини олиш имконияти яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 5 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича 16 та илмий ишлар чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 9 та мақола, жумладан 7 таси Республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 саҳифани ташкил қилган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

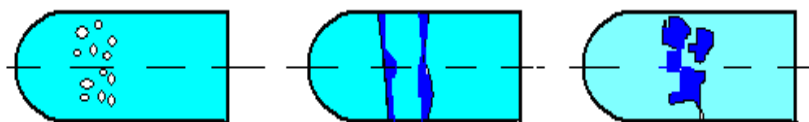
Диссертациянинг кириш қисмида Ўзбекистон Республикасида ва жаҳонда ўтказилган илмий тадқиқот ишлари асосида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асослаб берилган. Илмий ишнинг мақсади ва мақсадга эришиш учун асосий вазифалари шакллантирилган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган. Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, ишнинг илмий янгилиги ва асосий амалий натижалари баён қилинган. Олинган натижаларнинг ишончилиги, илмий ва амалий аҳамияти ёритилган. Тадқиқот натижаларининг жорий қилинганлиги ва диссертация тузилишига доир қисқа маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Муҳандислик коммуникациялари ва сув омборлари сув чиқариш тизими қувурларида пайдо бўладиган кавитацион жараёнларга доир адабиётлар шарҳи»** деб номланган биринчи бобида дисперс аралашмаларнинг ўзаро киришувчан ҳаракати ва кавитацион жараёнларни ахборотлаш усуллари берилган. Кавитацияни вужудга келтирувчи ғоваклашувнинг ривожланиш шакллари, босқич ва турларининг таснифи келтирилган.

Суюқликнинг ғоваклашуви ҳодисаси XIX асрдаёқ олимларнинг ишларида намоён бўла бошлаган. Эътиборни тортгани шу бўлганки, кемаларнинг тезлиги муайян айланишлар сонидан кейин, паррақларнинг катта ёки кичиклигига қарамасдан, тезлик ортмай қолаверган, винтлар (паррақлар) тез айлангани билан тезлик ортмаслиги ўйланишга мажбур қилган. Кавитация типлари келтирилган, кавитацияни келтириб чиқарувчи сабаблар бўйича бўлимлаштирилди. Шундан келиб чиқиб, кавитацияни гидродинамик ва акустик турларга ажратилди.

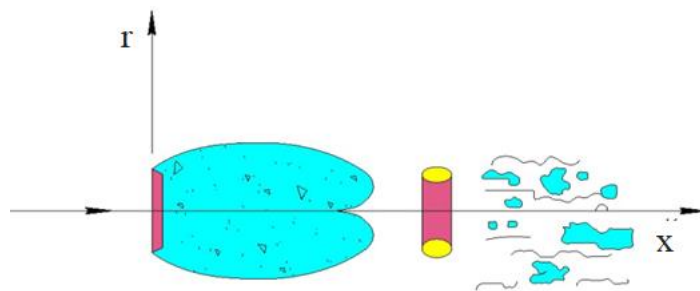
Суюқликлар ҳаракати ва акустика (товушларнинг таъсири) муҳандислик ечимларини қабул қилишда жуда муҳим ўрин эгаллайди. Биринчи ҳолда босим камайиши критик нуқтадан ўтгач, тезлик векторига нисбатан ҳаракат йўналиши ва шакли ўзгаради. Иккинчи ҳолда кавитация ҳосил бўлишига суюқликка тебрантирувчи таъсирлар сабаб бўлиб, буни гидроакустик станциялар иши мисолида тасаввур қилиш мумкин.

Айланувчи жисмнинг олд қисмида кавитациянинг ривожланиши олд (бурун) томонининг ўтмаслашган цилиндрсимон шаклига киришишидан аниқланади. Пуфаксимон кавитация цилиндрик ва шарсимон сиртлар устидаги максимал бўшлиқларга мос келадиган худудда келиб чиқади. Пўстсимон юпқа қатлам кавитацияси эса, оқим бўйича бир оз куйидан шаклланади. Баъзан юпқа қатламдаги пардасимон ягона белбоғчали каверна бир қатор доғчаларга ажралиб кетади (1-расм).



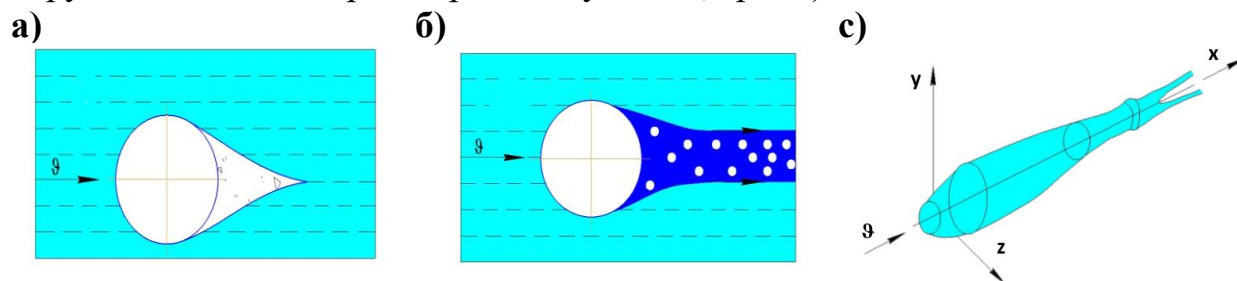
1-расм. Суюқликда айланувчи жисмни олд қисмида кавитациянинг ривожланиши

Айланувчи жисмнинг орт қисмидаги ривожланган кавитацияли оқимни эса оқимга кўндаланг ўрнатилган дискдан оқиб ўтувчи оқим ортида ҳосил бўлган майда пуфакчалар мисолида намоён қилиш мумкин. (2-расм).



2-расм. Айланувчи жисмни орт қисмидаги ривожланган кавитацияли оқимнинг вужудга келиши

Суюқликда ғовакликлар пайдо бўлиши ва ривожланишига унга газни йўналтириш (пуфлаш) билан ҳам амалга ошириш мумкин. Шунинг учун табиий ва сунъий кавитацияни ташқи таъсир остида ҳосил бўлувчи, яъни суюқлик билан ўзаро ҳаракатга киришувчи қаттиқ жисм орқали, сунъий оқимнинг айрим нуқталарига мажбуран йўналтириладиган газ таъсирида юз берувчи кавитацияларга ажратиш мумкин (3-расм).



3-расм. Кавитациянинг турлари:

а, б - ўткирлашиб борувчи нуқтали каверналар, с- кўндаланг уюрмали чилвир усулида газни тортиб олувчи каверналар

Назариядан маълумки, стационар оқим худудлардаги оширилган босимли оқимлардаги каверналарнинг ўлчамлари, оқиб турган оқим

худудидаги кавернларнинг ўлчамларидан фарқли бўлади. Бундай оқимлар қатламларида ҳосил бўлган каверналар ўткирлашиб борувчи нуқтали каверналар деб номланади. (3-(а,б) расм). Сунъий кавитация шароитида оқимга юборилган газ уюрмали кавернани тортиб кетиши туфайли, каверналарнинг шакли ўзгариб, 3-(с) расмдагидек кўндаланг уюрмали струя шаклига келиб, вақт ўтиши билан парчаланиб кетади.

Баъзи ҳолларда суюқликка газ аппарати киритилиб, қисман кавитация каверналарнинг оқим ортидан оқиши ҳаракатдаги газ аппаратининг маълум қисмида юз беради: корпусида эса, тизиллаб отилувчи суюқлик кўзга ташланади. Каверна оқим қайталанувчи струяли оқимга ўхшаб кетади (3-(с) расм). Тўғри, қайтувчи струяли оқимнинг геометрияси ва ўлчамлари турли кўринишда бўлиши мумкин. Оқимнинг оқимдаги айланувчи ёки кўзғолмас жисмни айланиб оқиши натижасида кавитациянинг уюрмали шакли вужудга келади. Уюрмали шакл айланувчи жисм ҳаракати катта бурчак остидаги (15...20⁰С) хужумланиш натижасида юз беради, бунда оқим билан бирга ҳаракатланаётган жисмдан интенсив уюрмалар узилиб чиқади.

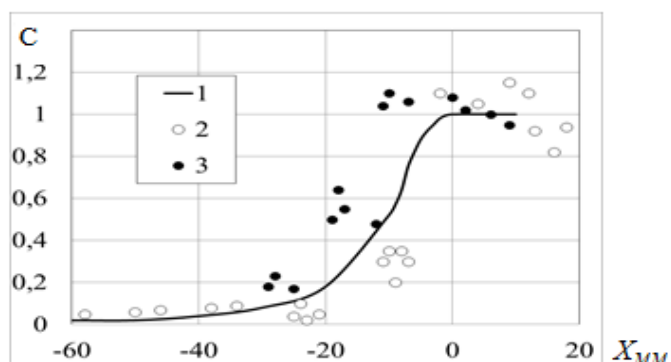
Олиб борилган тадқиқотлар таҳлили асосида суюқликлардаги кавитация ходисаси бир фазали суюқликларда юз беради деб қаралган.

Диссертацияда биринчи маротаба реал шароитдаги суюқлик кўп фазали деб олиниб, яъни сувда нанослар, ҳар-хил тузлар қатнашиши ҳисобга олиниб, муҳандислик коммуникациялари ва сув омборларининг сув чиқариш тизими қувурларидан ишончли, яъни кавитациясиз фойдаланиш бўйича илмий изланишлар олиб бориш зарурлиги келтирилган.

Диссертациянинг **«Кўп фазали оқимларда пульсация ва кавитация пайдо бўлишининг бошланғич ораликлари ва чегараларини аниқлаш усуллари»** деб номланган иккинчи бобида ривожланган оқимнинг текисликдаги масаласи, абсолют босим усули бўйича оқимда кавитация бошланишини ахборотлаш, оқимда кавитация пайдо бўлиш жараёнини тезлик ва босим ўзгариши чегараси орқали топиш усуллари келтирилган.

Маълумки, аралашма оқими сув ва ҳаво аралашмасидан иборат бўлади. Оқимга ҳавонинг кириб бориши, асосан бўшлиқли юзалар орқали амалга ошиб, қатламлашув ҳосил бўлиши натижасида оқимнинг мунтазамлиги йўқолади, бу йўқолиш ҳаво қатламлари пайдо бўлиши оқибатида юз беради. Оқимда аэрациялашув бошланишининг мезони Рейнольдс, Фруд ва Вебер сонлари орқали аниқланади.

Аэрацияли оқим қувур затворидан оқаётган оқимнинг сиқилиши натижасида тезлик ва босимнинг ўзгариши, ҳавонинг паст босимли соҳага сўрилиши оқибатида ҳам пайдо бўлади.



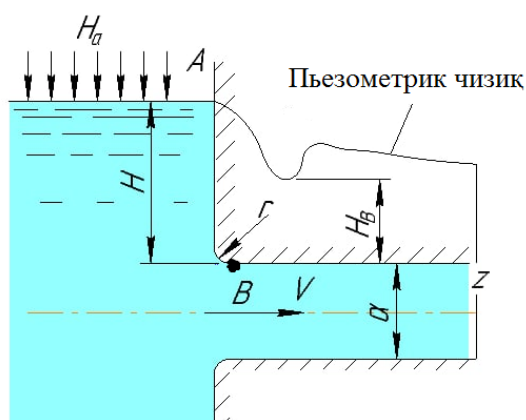
4-расм. Затворни сиқилиш оралиғидаги босим тушиш коэффициентининг ўзгариши

4-расмда қувур затворининг сиқилиш оралиғидаги оқимда босим тушиш коэффициентининг ўзгариши натижасида кавитацион оқимнинг вужудга келишини белгиловчи чизиклар келтирилган бўлиб, бу чизиклар, 1- назарий ечимнинг чизиғи, яъни:

$$C = \frac{(p_1 - p_2) - p}{p_1 - p_2} = \left(\frac{h}{F}\right)^2 - \frac{p_2}{p_1 - p_2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{x^2}{2Rh}\right)^2} - \frac{p_2}{p_1 - p_2} \quad (1)$$

(1) тенгламанинг ечими орқали олинган; 2 ва 3-экспериментал чизиклар эса, мос равишда $C_{\text{макс}}$ қувурнинг бош қисмига тўғри келувчи сиртдаги ва текис тубидаги босим коэффициентлари бўлиб, оқимнинг қувур бош қисми сиртидан ажралиш нуқтасига мос келади.

Сув чиқариш қувури бош қисмида кавитациянинг пайдо бўлишини ЎзФА Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва Фарғона политехника институти “Гидравлика” лабораторияси қурилмаларида олиб борилган тадқиқот натижалар орқали синаб кўрилган. Тадқиқот натижаларига асосан кавитацион жараёнлар Каркидон сув омбори сув ташлаш тизимидаги цилиндрик қувурнинг юқори қисмида жойлашган B нуқтасида вужудга келиши аниқланди (5-расм,6-расм).



5-расм. Чуқурлашган сув ташлаш қувурининг бошланиш схемаси

Сув ўтказувчи цилиндрик қувири бош қисми деворининг юқори қисмидаги босимни максимал тушиш C_{\max} - коэффициентининг қиймати $\frac{r}{a}$ - параметрга боғлиқ равишда ўзгаради. У ҳолда 5- расмга мувофиқ, $\frac{r}{a} = 1, C_{\max} = 1,87$ шартда ҳаракат тенгламасидан ва $H_{\text{хар}}$ - напор ва $\mathcal{G}_{\text{хар}}$ - тезликни олиш усулидан фойдаланиб, оқимнинг узлуксизлиги туфайли эгри чизикли қувур бош кириш қисмининг B - нуқтасида кавитация пайдо бўлиши қуйидаги шартнинг бажарилиши орқали содир бўлишини топамиз: (5-расм)

$$H' + H_a - \frac{g^2}{2g} - \zeta_{\text{ex}} \frac{g^2}{2g} - C_{\text{цб}} \frac{g^2}{2g} - C_{\text{турб}} \frac{g^2}{2g} \leq 0 \quad (2)$$

бу ерда: \mathcal{G} - оқимнинг қувурдаги ўртача тезлиги, ζ_{ex} - оқимнинг қувурга киришидаги қаршилик коэффициенти, $C_{\text{цб}}$ - марказдан қочма кучлар таъсирида босим камайиш коэффициенти.

Критик ҳолат учун (2) тенгсизликни қуйидаги кўринишга келтираемиз:

$$H' + H_a - (1 + \zeta_{\text{ex}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}}) \frac{g^2}{2g} \leq 0$$

ёки:

$$H' + H_a - K_{\text{кр}} \frac{g^2}{2g} \leq 0 \quad K_{\text{кр}} = (1 + \zeta_{\text{ex}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}}) \quad (3)$$

бу ерда: H_a - атмосфера босим; $K_{\text{кр}}$ - кавитациянинг критик қиймати.

Напор ўзгаришининг кинетик энергияга нисбатини қуйидагича белгилаймиз:

$$K = \frac{H' + H_a}{\frac{g^2}{2g}} \quad (4)$$

У ҳолда кавитациянинг бошланишини характерловчи шартларни киритиб:

$$H' = H_{\text{кав}} \text{ ва } \mathcal{G} = \mathcal{G}_{\text{хар}}, \quad (5)$$

қуйидаги тенгсизликка келамиз:

$$\frac{H' + H_a}{\frac{g^2}{2g}} = K \leq K_{\text{кр}} = 1 + \zeta_{\text{ex}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}}$$

Бу тенгсизликни қуйидагича ёзишимиз мумкин:

$$H' + H_a - C_{\max} \frac{g^2}{2g} \leq 0 \quad (6)$$

(5) тенглик ва юқоридаги шартлардан оқимнинг қувурдаги ўртача тезлиги учун қуйидаги формулага келамиз:

$$v = \mu \sqrt{2g \left(H' + \frac{a}{2} \right)}$$

босим ўзгаришини текшираамиз:

$$H' + H_a + C_{\max} \mu^2 \left(H' + \frac{a}{2} \right) \leq 0 \quad (7)$$

Агар, $\frac{a}{2} \ll H'$ бўлса амалий масалалар $H' > 20\text{м}$ маънога эга бўлади, босим ўзгариши қуйидаги тенгсизлик орқали аниқланади:

$$H' (1 - C_{\max} \mu^2) + H_a \leq 0 \quad (8)$$

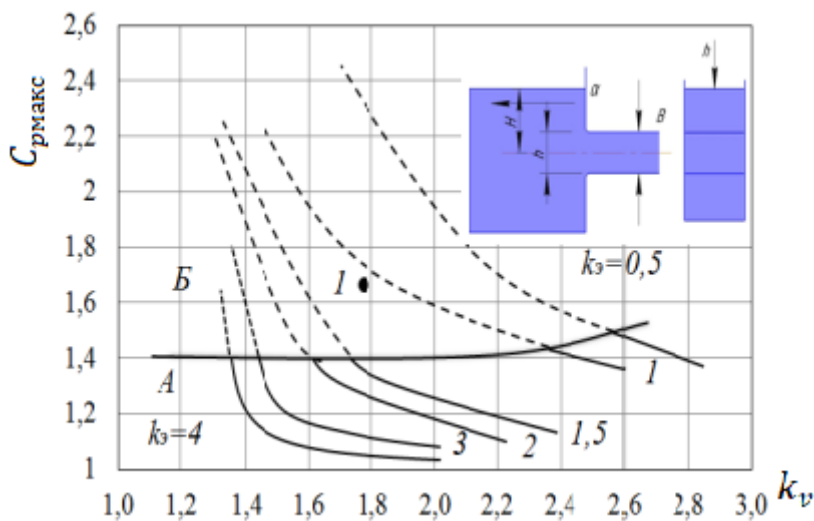
ёки

$$H' \leq \frac{H_a}{1 - C_{\max} \mu^2}$$

(8) тенгсизлик $H' > 0$ шартда маънога эга бўлади ва қуйидагича ёзилади:

$$(1 - C_{\max} \mu^2) \leq 0 \quad \text{ёки} \quad (C_{\max} \mu^2) > 1 \quad (9)$$

Бу (9) тенгсизлик C_{\max} - босим пасайиши коэффициентини ва μ - динамик ёпишқоқлик коэффициентига боғлиқ бўлиб, Каркидон сув омбори сув ташлаш қувури бош қисмида кавитация бошланишини ёки турли напорда ҳам бошланмаслигини ифодалайди (6-расм).



6-расм. Қувур бош қисмида кавитациянинг бошланиш схемаси

Қаралаётган масала, яъни Каркидон сув омбори сув ташлаш қувурининг бош қисмидаги оқими учун қуйидаги қийматга келинди:

$$C_{\max} \mu^2 = 1,87(0,72)^2 = 1,08 > 1$$

Демак, Каркидон сув омбори сув ташлаш қувурининг бош қисми оқимида кавитация жараёни пайдо бўлиши мумкин. Кавитация пайдо бўлиши учун зарур напор топилди:

$$H' + H_a - C_{\max} \mu^2 \left(H' + \frac{a}{2} \right) = H' + 10,3 - 1,87 \cdot 0,76^2 (H' + 2) \leq 0$$

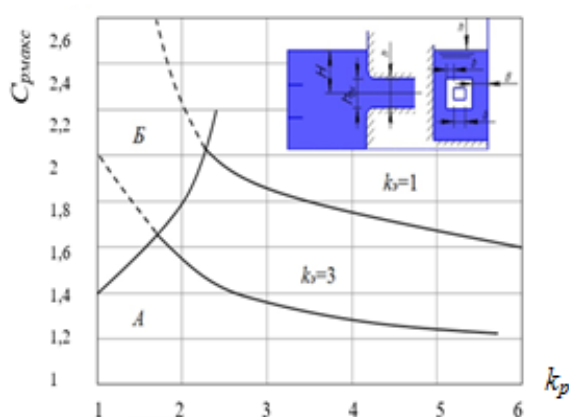
Бу тенгсизликдан кавитацияни пайдо қилувчи напорнинг қиймати аниқланди:

$$H' \geq 68\text{м}$$

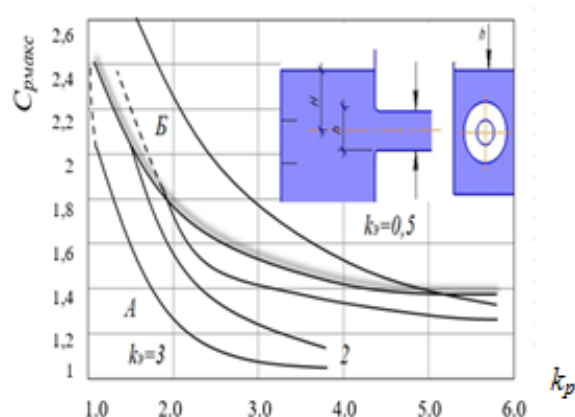
Бундан ташқари муҳандислик коммуникацияларидаги сув узатиш тизимида кавитация бошланишини ахборотлашнинг бошқа усуллари ҳам келтириш мумкин. Кавитация жараёни бошланишини бошқариш ва ахборотлашнинг энг муҳим усулларида бири критик параметрлар усули ҳисобланиб, бу усулда кавитация параметрининг критик қиймати орқали кавитациянинг бошланиш жараёни баҳоланади ва кавитация жараёнининг бошланмаслиги (3) ва (4) тенгсизликлар орқали текширилади.

Агар $H_{\text{хар}}$ характерли босим ва характерли тезлик $\mathcal{G}_{\text{хар}}$ тўғри олинса, кавитация параметри $K_{\text{кр}}$ асосан муҳитнинг қаттиқ чегарасига боғлиқ равишда ўзгаради. Агар муҳитнинг қаттиқ чегарасида кавитациянинг пайдо бўлиши учун шароит яратилса, кавитация параметри $K_{\text{кр}}$ турли қийматларни қабул қилади. Кавитация сони $K_{\text{кр}}$ нинг бу қийматлари сув ташлаш иншооти конструкциясини мослашга хизмат қилади ва муҳандислик ҳисобларини соддалаштиришга асос бўлади. Сув ташлаш иншоотининг ҳар бир элементи учун мос келувчи $H_{\text{хар}}$ ва $\mathcal{G}_{\text{хар}}$ оптимал қийматларни топиш (7) формула орқали амалга оширилиб, алгоритми тузилди. Кавитация қувурдаги маълум нуктадаги босим буғ босимидан кам бўлган B нуктада содир бўлиб, (5) тенгсизлик орқали топилди. 7-расмда Каркидон сув омбори қувури бош қисмига киришдаги айланма оқимда босим пасайишининг максимал коэффицентини тўғри бурчакли ва доиравий қувурлардаги ишчи ҳолати келтирилди.

а)



б)



7-расм. Каркидон сув омбори қувури бош қисмига киришда $C_{p,\max}=f(k_p, k_3)$ функциянинг ўзгариши:

а - тўғри бурчакли қувурларда, б - доиравий қувурларда

Келтирилган усуллар натижасини сув омборлари юқори босимли сув чиқариш қувурларидаги уч фазли суюқликларнинг динамик ҳаракатига ҳам қўллаш мумкин бўлади.

Диссертациянинг «Сув омборлари ва муҳандислик коммуникациялари сув ташлаш қувурларидаги юқори босимли уч фазали суюқликларнинг динамик ҳаракати модели» деб номланган учинчи бобида текис затворлар пазидаги оқимнинг кинематик структураси ўрганилди. Пазнинг юқори a қовурғасидан пастга қараб уюрмали оқим массаси оқиб тушади. Оқиб тушаётган бу оқим массаси чегарадаги транзит ва пазда стационар бўлган бир неча дискрет уюрмаларга бўлиниб кетади. Уюрмалар массаси ҳаракати давомида ва ташқаридан суюқликнинг кириб келиши ҳисобига ўз қалинлигини оширади. Уюрма трубканинг диаметри d_τ , тезланиши a_τ , тезлиги \mathcal{G} ва координатаси x_τ : бирор τ - моментдаги уюрма трубка оғирлик марказининг ҳаракати қуйидаги тенгламалар системаси орқали ёзилади:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_\tau = d_n + 0,12\mathcal{G}\tau; \\ a_\tau = 0,216\mathcal{G} \frac{d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)^3}; \\ \mathcal{G}_\tau = \mathcal{G} \left[1 - \frac{0,9d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)^2} \right]; \\ x_\tau = \mathcal{G}\tau + \frac{7,5d_n^2}{(d_n + 0,12\mathcal{G}\tau)} - 7,5d_n; \\ x_\tau = 7,5d_n \left[1,11 \left(\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}} - 1 \right) + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}}} - 1 \right] \end{array} \right. \quad (10)$$

бу ерда: \mathcal{G} - оқимнинг сув ўтказгичдаги ўртача тезлиги; a_n - уюрмали оқимнинг қалинлиги бўлиб, пазнинг юқори қисмидан ажралиш вақтидаги қалинлигига тенг бўлади. Агар тезликни оширсак, кавитация сонининг катталиги чегаравий қатламнинг δ - қалинлигига тенг бўлади. a_n - қиймати оқим тубига яқин қисмидан ҳисобланиб, юқори қовурғадан ажралиш нуқтасидан олинади. Уюрмали оқимнинг олд томони транзит оқим билан тутшиб, \mathcal{G} тезликнинг горизонтал ташкил этувчисини ташкил этиб, массаси стационар уюрманинг массасига тенг бўлади. Стационар массага тенг бўлган нуқтадаги тезлиги $0,2\mathcal{G}$ га тенг бўлади.

Кавитациянинг қалинлашиш ҳажми эса, пастки қовурғадан ортиб бориб, маълум чегарагача ўзгаради ва пазнинг ичкари қисмида ҳеч қандай ўзгариш сезилмайди. Лекин бирор моментдан сўнг кавитацион булут

стационар уюрманни чегараловчи транзит струя орқали пазда ҳосил бўлади. Кавитациянинг кейинги ортиб бориши ҳисобига паздаги кавитацион булутнинг зичлиги ортиб боради. Агар пастки қовурғани силлиқ оқиб ўтувчи қилинса, бунинг ҳисобига оқимнинг узилишига эришилса, кавитация уюрманнинг оқимида аввалроқ пайдо бўлади. Пайдо бўлган уюрма юқори қовурғадан оқиб тушади.

Затвор пазларидаги кавитация параметрларини (3) формула орқали ҳисоблашда: $H_{II} = H_{кав}$, деб қабул қилинади, яъни паздаги босим сув ўтказувчи қувур қирқимининг пьезометрик босимига тенг деб олинади ва пазнинг шу қирқимида жойлашади. Паз босимининг H_{II} таъсири ҳисобга олинмайди ва $Q_{хар} = Q$ - тезлик сув ўтказгичдаги ўртача тезликка тенг деб олинади. Затворнинг бошқа элементларига боғлиқ бўлмаган пазининг критик параметрлари, қуйидаги тенгламалар орқали ҳисобланади:

Пазнинг юқори қобирғаси учун:

$$K_{кр.в.} = K_y K_d \left[1 + 0,65 \left(\frac{l_{II}}{h_{II}} - 1 \right) \right] \quad (11)$$

бу ерда:

$K_{кр.в.}$ - оқим пазга яқинлашуви олдидаги чегаравий қатламнинг δ - қалинлигига таъсир этувчи коэффициент:

$$K_y = \begin{cases} 1 & \text{агар } \delta \leq 0,12l_{II} \\ 0,12l_{II} & \text{агар } \delta > 12l_{II} \end{cases} \quad (12)$$

Пастки қовурғанинг пасайиш коэффициенти:

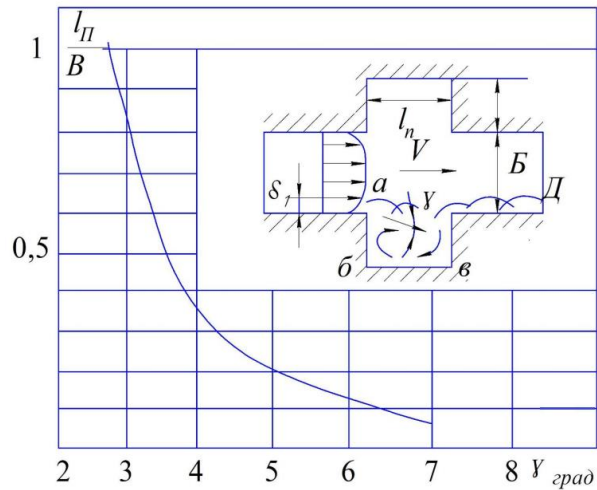
$$K = \begin{cases} 0,6 + 3,3 \frac{d}{l_{II}} \\ 1, \notin \left(0,6 + 3,3 \frac{d}{l} \right) \end{cases} \quad (13)$$

Пазнинг пастки чегараси учун:

$$K_{кр.н.} = AK_l K_B \left[1 + 0,65 \left(\frac{l_{II}}{h_{II}} - 1 \right) \right] \quad (14)$$

бу ерда:

A - коэффициент; K_l - пазнинг нисбий кенглик коэффициенти; K_B - сув ташловчи иншоотнинг нисбий баландлиги. A , K_l , K_B - параметрлар пазнинг чизмаси орқали топилади (8-расм).



8-расм. Сув иншооти пазидаги уюрмалар тўпламининг кенгайиши

(6) ва (9) формулалар $1 \leq \frac{l_{\text{п}}}{h_{\text{п}}} \leq 3$, шарт бажарилганда маънога эга бўлади ва барча қаралаётган пазларнинг ўлчовларини беради. Демак, кавитациянинг қалинлашиш ҳажми пазнинг геометриясига, паздаги кавитацион булут зичлигига ва сув ўтказгич трактидаги лойиҳавий тўсиқлардан оқувчи суйри оқимининг динамик моделига боғлиқлиги аниқланди.

Диссертациянинг «**Каркидон сув омбори сув ўтказгич трактининг лойиҳавий тўсиқлар орқали суйри оқимининг динамик модели**» деб номланган бобида Каркидон сув омбори сув ўтказиш тракти сув ташлаш қувуридаги оқимнинг лойиҳавий тўсиқлардан айланиб оқиши натижасида кавитациянинг пайдо бўлиши, кавитацион эрозия ва унинг олдини олиш ёритилган.

Каркидон сув омбори сув ташлаш иншоотининг кавитацион ҳавфсизлигини таъминлашда кавитациянинг параметрларини аниқлаш усулини қўллаш кўриб чиқилди. Бунда Каркидон сув омбори сув ташламаларидан фойдаланиш амалиётида кавитация бошланишининг $\beta > 0,85$ босқичида ва оқим тезлиги 30 м/с гача бўлганда бетон қопламаларининг сиқилувчанлик мустаҳкамлиги $R \geq 30 \text{ МПа}$ бўлганда инкубацион давр давомийлиги ноаниқ муддатгача узоқ давом этиши мумкин. Бу ҳолат сув ташламадаги K кавитация сонининг ўзгариш оралиғига боғлиқ бўлиб, қуйидаги шарт орқали аниқланади:

$$K_{\text{эп}} < K < K_{\text{кр}} \quad (15)$$

бу ерда: $K_{\text{эп}}$ - ўлчовларнинг минимал қиймати, бунда кавитация кузатилади, емирилиш эса қайд этилмайди, (8) формула бўйича $K_{\text{эп}} = 0,85K_{\text{кр}}$ аниқлаш тавсия қилинади. Унда (15) шарт қуйидаги кўринишни олади

$$0,85K_{\text{кр}} < K < K_{\text{кр}} \quad (16)$$

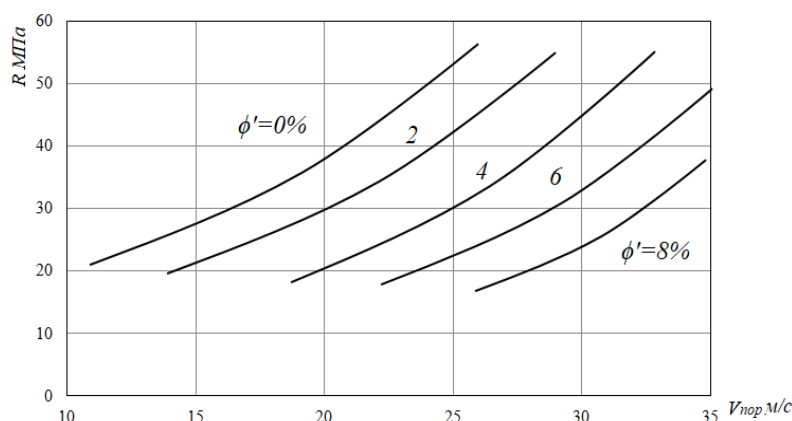
$K_{\text{эп}}$ нинг қиймати синовлар натижалари бўйича олинган бўлиб, кавитация шароитидаги емирилишнинг юз бермаслиги 2-3 суткадан ортмайди.

Иншоотда кавитация келиб чиқишини ахборотлашнинг дастлабки тезлик усули. Бу усулга кўра иншоотнинг кавитациясиз ишлаши оқимнинг сув кириш остонасидаги дастлабки - $\mathcal{G}_{ост}$ тезлигига боғлиқ бўлади. Остонадаги тезликнинг қиймати 48 соат давомида ҳар қандай шаклдаги кўзғатгичда кавитациянинг юзага келишига сабаб бўлиб, сув кириш остонасида емирилиш бўлмаслигини таъминловчи шарт орқали топилади. Гидроиншоотни сув тушиш остонасининг бетон - R қопламасида τ -соат мобайнида емирилиш бўлмаслиги тезликнинг $\mathcal{G}_{хар_{np}}$ остонадаги дастлабки қиймати орқали қуйидагича аниқланади:

$$\mathcal{G}_{хар_{np}} = \mathcal{G}_{пор} \left(\frac{48}{\tau} \right)^{\frac{1}{10}} \quad (17)$$

Бу усул аэрация даражасининг ортиши натижасида материалнинг ҳимоя қатлами хоссаларини сақланишига ва иншоотнинг узок муддат ишлашига имкон беради.

Дастлабки тезликнинг \mathcal{G} бетон қопламаси мустаҳкамлиги ва аэрация ϕ' %, даражасига боғлиқлиги қуйидаги $\phi' = \frac{Q_{хаво}}{Q_{суб}} \cdot 100$ формула орқали берилади.



9-расм. Дастлабки тезликнинг бетон -R қопламаси мустаҳкамлиги ва аэрация даражасига боғлиқлиги графиги

9-расмдаги маълумотлар кавитациянинг икки ўлчамли $a \times h = 26 \times 160 \text{ мм}$, диаметри $d = 28 \text{ мм}$ бўлган цилиндрик қопламага бўлган таъсири натижасидаги емирилиши тадқиқотлари бўйича олинган. Оқимнинг цилиндр орти чегарасида \mathcal{G}_d - тезликнинг оқиш вақтида характерли тезлик $\mathcal{G}_{хар}$ пайдо бўлиши ва гидроиншоотлар элементлари учун кавитацион емирилиш пайдо бўлишини кўрсатади.

Кавитация туфайли емирилмайдиган конструкцияларни қўллаш. Маълумки, суюқлик бевосита емирилатган юзага тегиб турган ёки унинг яқинидаги бир неча миллиметрли сув қатламларида пуфакчаларни чақиради. Уюрмали оқим зонасидаги оқимнинг суйриланиши натижасида оқимда

йиғилган кавитацион пуфакчалар қоплама юзаси билан ўзаро тегиб турмайди, яъни юза емирилмайди. Бу ҳолатлар эрозиясиз энергия сўндирувчилар деб аталади ва амалиётда қўлланилади.

Ҳозирги пайтда затворлар пўлат қопламалардан фойдаланилиб ясалмоқда. Пўлат қопламнинг энг самарали эрозиясиз қопламаси сунъий ғадир-будирлик билан қоплангани, пўлат учликлар барпо қилинганидир. Ғадир-будирлик элементлари бурчакларининг баландлиги $\Delta h = 0,1 - 0,2$ м га тенг қилиб олиниб, узунлиги $l_u = (5 - 6)\Delta h$ бўлади. Бундай ғадир-будирликларнинг қўлланилиши конструкциянинг туби ва деворлар юзасидаги тезликни камайтиради. Бевосита ҳар бир ғадир-будирликлар ортидаги узилишлар худуди яхши аэрацияни таъминлайди ва узилиш худудларида пўлат қопламалар билан контактлар бўлмаслигини кафолатлайди. Бундай конструкцияларни қўллашнинг афзаллиги – оқим кириш остонасида эрозиянинг содир бўлмаслиги туфайли емирилишлар камайишига олиб келади.

ХУЛОСАЛАР

«Сув омборлари қувурлардаги пульсация ва кавитациянинг шаклланиши динамикасини моделлаштириш» мавзусидаги фалсафа (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди.

1. Ёпишқоқ суюқликларнинг сиқилмайдиган аралашмаларини бурама оқимларида масаланинг таҳлилий ечимини олиш мақсадида Навье-Стокс тенгламаси келтирилди.

2. Оқим билан сувнинг эркин юзадаги ҳавони эгаллаш механизми икки хил тушунтиришларга эга бўлиши мумкин:

- оқимдан олинадиган сув томчисининг кинетик энергияси суюқлик юзадаги тортишиш ва оғирлик кучи ишидан кўп бўлганида, сув томчисининг эркин юзадан уюрмали ташлаш юз беради ва сув кавернанинг юзасидаги ҳавони сўриб чиқаради;

- ҳар иккала режимларда оқим буралишининг секинлашиши бошланғич участкада интенсив юз беради.

3. Турли режимлар учун гидравлик йўқотишлар турлича ва буралмаларда гидравлик йўқотишларни кўпайиши унинг ортикча энергиясини самарали сўндиришга имкон беради.

4. Кавитация ҳосил бўлишининг олдини олиш мақсадида оқимларни мўътадиллаштириш учун уюрмали оқимлардан фойдаланиш мумкин.

5. Оқимнинг уюрмада айланишида ўтказиш имконини пасайиши юз беради, шунга қарамадан бунда шахтали уюрмали сув ташлагичларидан фойдаланилади, уларда муайян айланишни олган оқим ядро ўқида ҳам айланишни давом эттиради ва ҳаволи ядро шаклланади.

6. Турбулентлик режимидаги нисбий радиал тезлик ламинар тезликка нисбатан кам. Гидравлик параметрларнинг турли қийматларида оқимда босимларнинг тақсимланиши ва уларнинг энергиялари аниқланди.

7. Оқимнинг ламинар ва турбулент ҳаракатидаги оқимда уюрманинг айланиши сўниши жуда интенсив ўтади. Бошланғич участкадаги тангенциал тезликнинг кўпайиши билан оқим тезлиги ортади ва тоннел деворининг кавитацион хавфсизлиги таъминланади.

8. Илмий тадқиқот иши натижалари Каркидон сув омбори сув чиқариш ва сув ташлаш қувирида вужудга келган кавитация ҳодисасини аниқлашда ҳамда сув омборидан хавфсиз ва самарали фойдаланишда ишлатилмоқда (Фарғона вилояти сув омборларидан фойдаланиш бошқармасининг 2020 йил 30 июлда тузилган далолатномаси);

9. Диссертация бўйича бажарилган тадқиқотнинг илмий натижаларидан Фарғона политехника институти «Насослар», «Суюқлик ва газлар механикаси» фанлари бўйича ўқув дастурини, маъруза матнини тайёрлашда ва ўқув услубий мажмуани ишлаб чиқишда фойдаланилди (26.08.2020 йил далолатнома тузилган).

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

ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УСМОНОВА НОДИРАХОН АКРАМОВНА

**«МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЛЬСАЦИИ
И КАВИТАЦИИ В ТРУБОПРОВОДАХ ВОДОХРАНИЛИЩ»**

05.09.07 – Гидравлика и инженерная гидрология

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В 2020.2.PhD/T1757

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте
Аннотация диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.tiame.uz) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:	Худайкулов Совет Ишанкулович доктор технических наук, профессор.
Официальные оппоненты:	Эшик Собир Саматович доктор технических наук, профессор. Шайхон Фаррух Шайхбарович кандидат технических наук, доцент
Ведущая организация:	Институт механики и себестоимости сооружений АН РУУ.

Защита диссертации состоится «29» октября 2021 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета ДSc 27.06.2017.Т.10.02 при Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кара Никий, 39, (99871) 237-09-71; факс: (99871) 237-54-79, e-mail: admin@tiame.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер 194) Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кара Никий, 39, Тел. (99871) 237-19-45; e-mail: admin@tiame.uz).

Аннотация диссертации размещена «14» октября 2021 года
(реостр протокола рассылки № 194 от «14» октября 2021 года.)



Т.З. Султонов
Президент Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Ф.А. Ганшаров
Ученый секретарь научного
совета по присуждению ученых
степеней, д.т.н., доцент

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

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Одной из актуальных задач в мире является изучение динамики формирования процессов кавитации и пульсации происходящих в трубопроводах инженерных коммуникаций и водохранилищах, применение к ним информационных технологий. Во многих развитых странах мира, особое внимание уделяют разработке эффективных методов проектирования сооружений с учетом кавитации и пульсации в гидроэлектростанциях, гидроузлах, а также водовыпускных трубопроводах, предотвращению эрозии, деформации формирующейся в трубопроводах, обеспечению их надежной эксплуатации и совершенствованию гидравлических расчетов. В связи с этим, особое значение имеет моделирование динамики формирования кавитации и пульсации в трубопроводах гидросооружений, разработка методов расчета основанных на информационных технологиях определения начальных промежутков и границ возникновения пульсации и кавитации в многофазных потоках.

По всему миру особое внимание уделяется проведению целенаправленных научно-исследовательских работ по предотвращению кавитационных напряжений, вибрационных процессов, возникающих в результате эксплуатации сооружений, которые отрицательно влияют на элементы сооружений устройств автоматического управления гидротехническими сооружениями. Наряду с этим, огромное значение уделяется проведению целевых научно-исследовательских работ направленных на изучение динамики формирования кавитационных и пульсационных процессов в инженерных трубах, и применение к ним информационных технологий и эксплуатацию.

В Республике осуществляются мероприятия касательно создания новых методов гидравлических расчетов создающих возможность информирования, управления процессами кавитации и пульсации на гидротехнических сооружениях в сфере водного хозяйства и энергетики. В Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи по «...Реализации целевых программ по развитию, а также модернизации инженерных коммуникаций и инфраструктуры»¹. Исходя из данных задач, одной из важных является проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку теоретических основ и методов, имеющих научное и практическое значение моделирования и расчета динамики формирования кавитации и пульсации в инженерных коммуникациях и трубопроводах водохранилищ.

Данное диссертационное исследование в определенной степени повлияло на выполнение задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан от 25 сентября 2017 года за № ПП-3286

¹ Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. УП-4947 «Стратегия действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

«О мерах по дальнейшему совершенствованию системы охраны водных объектов», от 9 октября 2019 года за № ПП-4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами», а также в других нормативно-правовых документах, касающиеся этой деятельности.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данные исследования выполнены в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии Республики V. “Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды”.

Степень изученности проблемы. Согласно обзору литературы, научно-технические исследования по влиянию кавитации на инженерные и гидротехнические сооружения проводились Н.П.Розановыми, С.М.Слисский, И.С.Новиковой, А.Г.Журавлевым, А.Т.Ниеткалиевым, А.В.Ефимовым, узбекскими учеными Ж.Ф.Файзуллаевым, К.Ш.Латиповым, А.А.Хамидовым, А.И.Умаровым, Б.Х.Хужаёровым, С.И.Худайкуловым, И.К.Хужаевым, З.М.Маликовым и другими.

Как показывает исследование технического состояния проводящих трубопроводов инженерных коммуникаций и водохранилищ, водопроводящих трубопроводов и водосбросных сооружений, ознакомление с технической документацией водовыпускных инженерных коммуникаций, происходит колебание в сооружении в связи с кавитационным процессом. Эти колебания происходят в результате понижения давления жидкости ниже парового давления, за счет повышения скорости потока. В результате, вибрационный процесс разрушительно воздействует на общее состояние инженерного оборудования и происходит снижение их прочностных характеристик. Особое значение необходимо придать предотвращению данных ситуаций и конструктивное решения.

В связи с этим, возникает необходимость проведения исследований по методам информирования процессов формирования кавитации в инженерных коммуникациях и сооружениях системы водовыпусков водохранилища, взаимосмешиваемого движения дисперсной смеси и кавитационных явлений.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими планами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем по теме КХ-А-КХ-2018-291 «Разработка методов расчета и совершенствование конструкций сопрягающих сооружений высоконапорных плотин».

Целью исследований является совершенствование метода информирования путем математического моделирования формирования кавитации и пульсации в различных конструктивных частях водопроводящих трубопроводов и водовыпускных сооружениях водохранилища.

Задачи исследований:

определены условия возникновения кавитации при протечках жидкости под оголовки резинного уплотнения высоконапорных затворов Каркидонского водохранилища и инженерных коммуникаций;

создание системы прогнозирования начала кавитации в водовыпускной системе Каркидонского водохранилища по методу критических параметров, определение наиболее оптимального метода граничной совместимости давления и скорости;

разработка метода установления начальных интервалов и границ появления кавитации в многофазном потоке;

создание динамической модели движения высоконапорного трехфазного потока в водохранилище (вода, плавающие элементы и воздушный поток) выходящего к кавитационной зоне, сжатой по направлению к сооружению и водопроводящей части гидроузла.

Объектами исследований являются процессы кавитации и пульсации в водосбросных сооружениях трубопроводов инженерных коммуникаций Каркидонского водохранилища.

Предметом исследований являются математические модели пульсационных и кавитационных потоков происходящих в водохранилищах, инженерных трубопроводах.

Методы исследований. В процессе исследования для выполнения теоретических и экспериментальных исследований использованы методы гидравлики, математического моделирования, построения гидравлических моделей на основе законов гидромеханики и их численного расчета.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

на основе уравнения Навье-Стокса разработаны условия образования кавитации потоков из резиновых уплотнений под затворами барьеров высокого давления водохранилища;

на основе критерий Рейнольдса и Фруда усовершенствованы соответствия пределов давления и скорости в водохранилищах и трубопроводах инженерных коммуникаций;

разработан метод прогнозирования возникновения кавитации с использованием формулы критических параметров;

создана динамическая модель конического затвора в водопроводящем трубопроводе и протекания потока через расчетные преграды.

Практические результаты исследований заключаются в следующем:

по результатам теоретических и экспериментальных исследований разработан алгоритм инициирования кавитации по методу критических параметров;

выявлено, что работа рассматриваемых проектных вариаций соответствует реальной динамике жидкости водосбросов условия водовыпуска, строительных тоннелей и паводка.

Используя теорию кавитации, были изучены опасные зоны в строительном тоннеле, а также разработаны научно-обоснованные

рекомендации, основанные на чередующихся режимах, сброса воды во время паводков, т.е. опасных зонах, где развиваются процессы кавитации.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов основана на уравнениях, используемые для информирования о возникновении кавитации, основанным законов сохранения массы, импульса и энергии метод критических параметров. Сопоставлением полученных результатов с результатами экспериментальных исследований, а также внедрением результатов исследований в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследований разъясняется разработками алгоритма начала кавитации по методу критических параметров. Построен алгоритм определения совместимости водовыпуска, водопроводимых туннелей и водосбросов в условиях наводнения с динамикой движения жидкости.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что при выявлении участков в водовыпускном трубопроводе выявлены участки паводковых водосбросов при переменных режимах, при которых развиваются кавитационные процессы в опасных зонах Каркидонского водохранилища.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по моделированию динамики формирования пульсаций и кавитации в трубопроводах водохранилищ:

метод определения возникновения кавитации потоков фильтрующихся через резиновые уплотнители затворов водохранилища внедрен на Каркидонском водохранилище (Справка Министерства водного хозяйства № 04/20-326 от 28 января 2021 года). В результате создана возможность снижения кавитационного процесса возникающего в водопроводящих трубопроводах водохранилища в 1,2 раза;

усовершенствованный метод определения соответствующих пределов давления и скорости в трубопроводах водохранилища и инженерных коммуникаций внедрен на Каркидонском водохранилище (Справка Министерства водного хозяйства № 04/20-326 от 28 января 2021 года). В результате создана возможность надежной эксплуатации водопроводящих трубопроводов водохранилища;

метод прогнозирования возникновения кавитации с учетом критических параметров в водопроводящих трубопроводах водохранилища внедрен на Каркидонском водохранилище (Справка Министерства водного хозяйства № 04/20-326 от 28 января 2021 года). В результате создана возможность раннего обнаружения и предотвращения возникающих кавитационных процессов в водопроводящих трубопроводах водохранилища.

Апробация результатов исследования. Теоритические и практические аспекты диссертации обсуждены и одобрены на международных, республиканских конференциях и на научном совете института, в том числе 5 статей на международных и 2 на республиканских научно-технических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме исследования опубликовано 16 научных работ. Из них 9 статей в научных изданиях в том числе 7 в республиканских и 2 в зарубежных журналах рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций доктора философии (PhD).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении диссертации на основе исследований, проведенных в Республике Узбекистан и в мире, обоснованы актуальность и востребованность темы. Определены цели и задачи исследования для достижения цели, а также объект и предметы исследования, и соответствие исследования приоритетным направлением развития науки и технологии Республики Узбекистан, излагается научная новизна и основные практические результаты исследований. Освещены достоверность полученных результатов исследований, научное и практическое значение. Приведены сведения о внедрении результатов исследований, представлены краткие данные по структуре и объему диссертации.

В первой главе диссертации **«Литературный обзор по кавитационным процессам, происходящим в трубах инженерных коммуникаций и водовыпускных системах водохранилищ»** приведено взаимодействие дисперсных смесей и способы информирования кавитационных явлениях. Приведена классификация форм, стадий и типов развития пористости, вызывающих кавитацию.

Явление пористости жидкости привлекло практическое внимание в работах ученых еще в XIX веке. Примечательно, что скорость судов после определенного количества оборотов, независимо от размеров плавающих лопастей гребного винта, не увеличивалась, тем самым привлекло в заблуждение то, что скорость не увеличивалась при быстром вращении винтов (лопастей).

Приведены типы кавитации, и известно, что кавитация подразделяется в зависимости от причин, вызывающих ее. Исходя из этого кавитацию подразделяют на гидродинамическую и акустическую.

Движение жидкости и акустика (воздействие звуков) играет очень важную роль в принятии инженерных решений. В первом случае после прохождения перепада давления критической точки направление и форма движения относительно вектора скорости изменяются. Во втором случае причиной образования кавитации являются колебательные воздействия на жидкость, что можно представить на примере работы гидроакустических станций.

Развитие кавитации в передней части вращающегося тела, передняя (носовая) сторона объясняется комбинацией носовой стороны тисненого цилиндрического корпуса. Пузыристая кавитация возникает в области, соответствующей максимальному зазору на цилиндрических и сферических поверхностях. Немного ниже кавитационного потока образуется тонкий слой корки. Иногда тонкий слой завесы представляет собой однополосную каверну, разделенную на ряд пятен (рис.1).



Рис. 1. Развитие кавитации в передней части тела, вращающегося в жидкости

Можно визуально продемонстрировать развитый кавитационный поток в задней части вращающегося тела на примере дисковых салазков, установленных поперечно потоку (рис. 2).

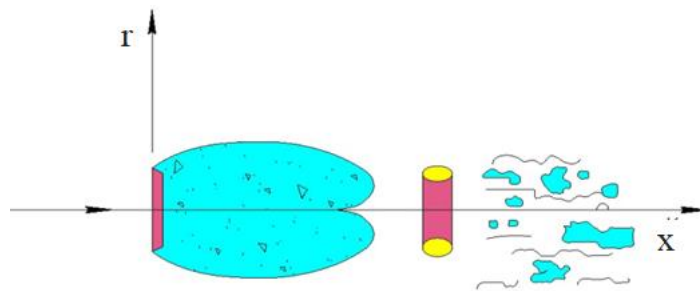


Рис. 2. Формирование развитого кавитационного потока в задней части вращающегося тела

Образование и развитие пор в жидкости может осуществляться путем направления (вдувания) в нее газа. Поэтому, возникающую кавитацию можно разделить на естественную кавитацию и искусственную кавитацию, которая образуется под воздействием внешнего воздействия, то есть твердого тела, взаимодействующего с жидкостью, в том числе искусственного, принудительно направленного газа к определенным точкам потока (рис.3)

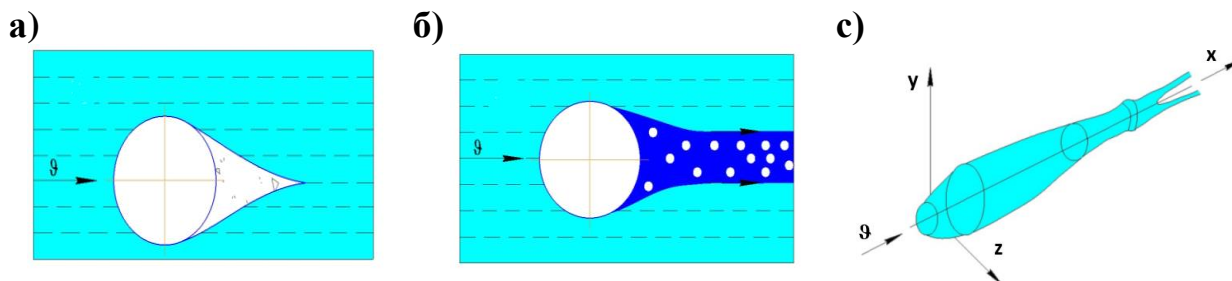


Рис. 3. Типы кавитации:

а,б - каверны с точками заострения, с - отводящие газ каверны методом поперечного вихревого шнура

Помимо упомянутых в условиях искусственной кавитации, помимо отвода газа из вихревой каверны, существуют и другие механизмы, особенно

возможно использование механизма (практики) отвода (абсорбции) газа по методу поперечного вихревого шнура (рис. 3 а,б). Как известно из теории, различаются увеличенные напорные потоки на стационарных участках, имеющиеся возможные исходные размеры, возможности сравниваемые с напором потока. Такие каверны (слои) называются каверны с точками заострения (рис.3 с). При увеличении расхода пенообразного газа такие каверны дробятся и наблюдается состояние, пульсирующей струи уноса газа со стороны кормовой части.

В условиях частичной кавитации в определенной части движущегося аппарата: в корпусе, в пульсирующей струе жидкости ведется наблюдение за каверной. Поток в основном похож на повторяющуюся пульсирующую струю рассмотренную выше (рис. 3-с). Действительно, можно избежать выбора геометрии и размера возвратного бьющего потока. В условиях вращающегося тела также можно наблюдать вихревую форму кавитации. Движение вращающегося тела вихревой формы происходит под настулением большого угла ($15...20^{\circ}$), в этом случае интенсивные вихри отрываются от тела.

Исследования многих авторов по процессам кавитации в жидкостях проводились в однофазной постановке. Где нет возможности учета межфазных взаимодействия и взаимопроникновения.

В настоящей диссертационной работе впервые рассматривается межфазное взаимодействие между фазами, так как реальная жидкость это многофазный, состоящий из наносов, минеральных солей и т.д. Каждая участвующая фаза имеют свои свойства. Знание свойств течений многофазных жидкостей позволят безопасной эксплуатации инженерных коммуникации и водопроводящих систем водохранилищ.

Во второй главе диссертации **«Определения начальных интервалов и граничных условий возникновения кавитации и пульсации в многофазных жидкостях»** приводятся методы решения задачи развитой кавитации в плоскости, прогнозирование начала кавитации по методу абсолютного давления и определение формирования кавитации в течение методом изменение скорости и напора. Известно, что поток смеси состоит из смеси воды и воздуха.

Приток воздуха в поток, в основном, происходит через полые поверхности, при этом регулярность потока в местах формирования наслаивания теряется, эта потеря происходит в результате образования слоев воздуха. Критерий начала аэрации определяется числами Рейнольдса, Фруда и Вебера.

Аэрационное течение формируется сжатием потока проходящей через затвор трубопровода. Как известно при сжатие потока скорость течения увеличивается, при этом давление падает. Поток большой скорости высасывает воздух и в зоне с низким давлением образуется аэрированный поток. В рисунке 4 показана график изменение коэффициента максимального падения давления при обтекании затвора трубопровода и формирование кавитационного течения.

Кривая линия, приведенная на рисунке 4. показывает изменение $C_{\text{макс}}$ - коэффициент понижения давления в окрестности уплотнения затвора и является линией теоретического решения, полученной путем решения уравнения:

$$C = \frac{(p_1 - p_2) - p}{p_1 - p_2} = \left(\frac{h}{F}\right)^2 - \frac{p_2}{p_1 - p_2} = \frac{1}{\left(1 + \frac{x^2}{2Rh}\right)^2} - \frac{p_2}{p_1 - p_2} \quad (1)$$

А точки 2 и 3-экспериментальные значения $C_{\text{макс}}$ на поверхности оголовка и в плоскости дна соответствующие коэффициенту давления; 4 - точка отрыва потока от поверхности оголовка.

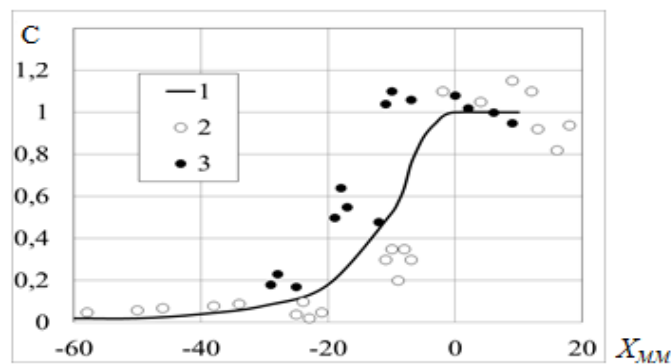


Рис. 4.Изменение коэффициента понижения давления промежуточного сжатия затвора

Появление кавитации в главной части водовыпускного трубопровода также прошла испытания по результатам лабораторных исследований института “Механики и сейсмостойкости сооружений” АН РУз.и на кафедре “Гидравлики” Ферганского политехнического института. По результатам исследования кавитация возникает в точке В - расположенной в верхней части цилиндрического трубопровода водосбросной системы Каркидонского водохранилища (рис.5., рис.6).

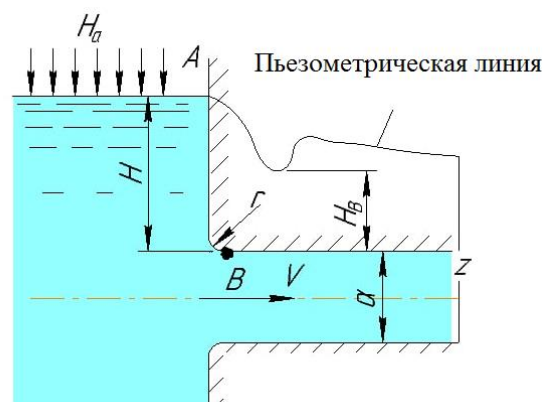


Рис. 5. Начальная схема углубленного водосбросного трубопровода

Величина давления $C_{\text{макс}}$ в верхней части стенки головки вращающегося оголовка водосбросного цилиндрического трубопровода

Каркидонского водохранилища зависит в основном от параметра $\frac{r}{a}$, показанного на рисунке 5. В этом случае, согласно рисунку 5, условие $\frac{r}{a} = 1, C_{\text{макс}} = 1,87$ рассмотрим методику выбор значений $H_{\text{хар}}$ и $\mathcal{G}_{\text{хар}}$ для входных оголовков напорных водоводов. При безотрывном обтекании входного оголовка криволинейного очертания (рис.5) кавитация возникает на его поверхности в точке минимального давления B , если выполняются условие

$$H' + H_a - \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - \zeta_{\text{вх}} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - C_{\text{цб}} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} - C_{\text{турб}} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0 \quad (2)$$

где \mathcal{G} — средняя с скорость в трубе, $\zeta_{\text{вх}}$ - коэффициент сопротивления на вход, $C_{\text{цб}}$ - коэффициент понижения давления от действия центробежных сил. $C_{\text{турб}}$ - коэффициент турбулентности. Следовательно, в критическом состоянии жидкости (2) неравенства приводим к виду:

$$H' + H_a - (1 + \zeta_{\text{вх}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}}) \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0$$

$$H' + H_a - K_{\text{кр}} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0 \quad K_{\text{кр}} = (1 + \zeta_{\text{вх}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}}) \quad (3)$$

где H_a - атмосферное давление; $K_{\text{кр}}$ - критический параметр кавитации.

Введем формально также обозначение

$$K = \frac{H' + H_a}{\frac{\mathcal{G}^2}{2g}}$$

Тогда начало кавитации охарактеризуется таким сочетанием

$$H' = H_{\text{кав}} \text{ и } \mathcal{G} = \mathcal{G}_{\text{хар}} \quad (4)$$

при которых справедливы выражения:

$$\frac{H' + H_a}{\frac{\mathcal{G}^2}{2g}} = K \leq K_{\text{кр}} = 1 + \zeta_{\text{вх}} + C_{\text{цб}} + C_{\text{турб}} \quad (5)$$

$$H' + H_a + C_{\text{макс}} \frac{\mathcal{G}^2}{2g} \leq 0 \quad (6)$$

Из неравнства (5) и из выше приведенных условий скорость потока определяется следующей формулой:

$$\mathcal{G} = \mu \sqrt{2g \left(H' + \frac{a}{2} \right)}$$

следовательно, изменение давления проверяется следующим образом:

$$H' + H_a + C_{\text{макс}} \mu^2 \left(H' + \frac{a}{2} \right) \leq 0 \quad (7)$$

Если $H' > 20\text{м}$, $\frac{a}{2} \ll H'$ то практические вопросы имеют следующий значение, а изменение давления оценивается следующим образом:

$$H' (1 - C_{\text{макс}} \mu^2) + H_a \leq 0 \quad (8)$$

или

$$H' \leq \frac{H_a}{1 - C_{\text{макс}} \mu^2}$$

Неравенство (8) при $H' > 0$ имеет условный смысл и записывается следующим образом:

$$(1 - C_{\text{макс}} \mu^2) \leq 0 \quad \text{или} \quad (C_{\text{макс}} \mu^2) > 1 \quad (9)$$

Полученное неравенства (2) характеризует отсутствие или начало кавитации водопроводящем трубопроводе Каркидонского водохранилища в зависимости от коэффициента максимального понижения давлений $C_{\text{макс}}$ и коэффициента динамической вязкости μ (рис.6).

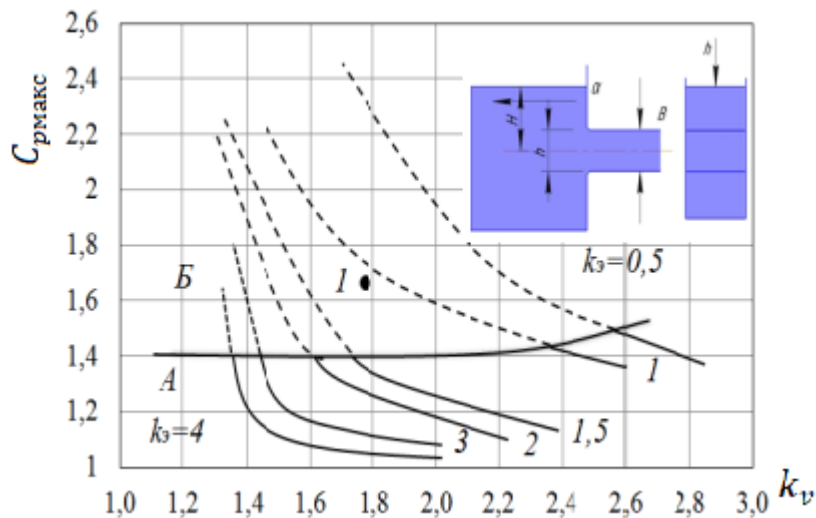


Рис.6. Схема начало кавитации в оголовке трубопровода

Рассматривая задачу имеем следующее значение для потока в оголовке водосбросного трубопровода Каркидонского водохранилища:

$$C_{\text{макс}} \mu^2 = 1,87(0,72)^2 = 1,08 > 1$$

Значит, в потоке оголовка водосбросного трубопровода Каркидонского водохранилища возможно появление кавитационного процесса.

Находим напор, необходимый для возникновения кавитации:

$$H' + H_a - C_{\text{макс}} \mu^2 \left(H' + \frac{a}{2} \right) = H' + 10,3 - 1,87 \cdot 0,76^2 (H' + 2) \leq 0$$

Отсюда

$$H' \geq 68\text{м}.$$

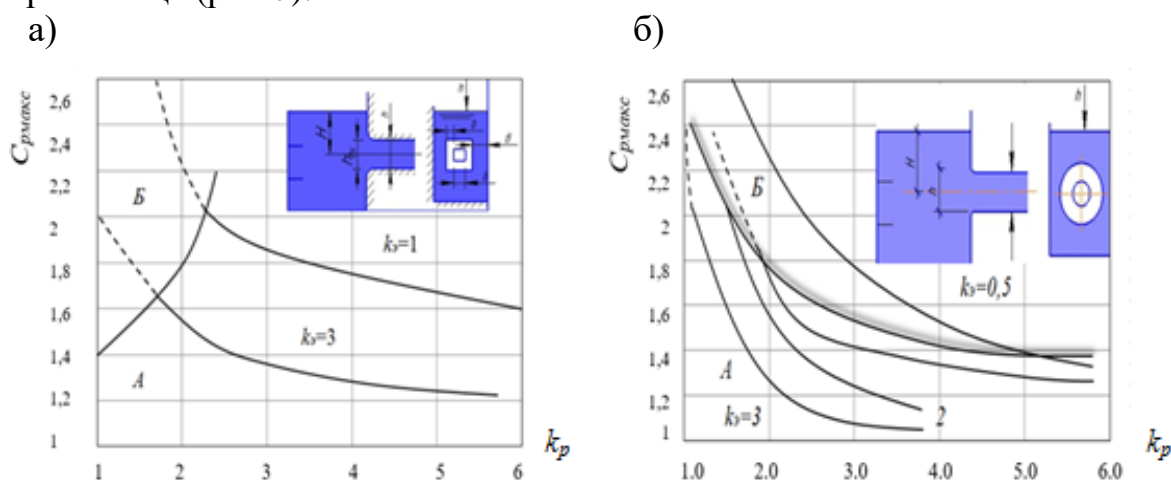
Кроме того, для прогноза и определения о начале кавитационного процесса в высоко напорных водопроводящих трубопроводах имеются другие методы, которые приводится в данной диссертационной работе. Одним из самых важных методов управления и информирования начала процесса кавитации считается метод критических параметров. В данном методе оценивается процесс начала кавитации при помощи критического значения кавитационного параметра и неравенствами (3) и (4)

Если правильно принять характерное давление $H_{хар}$ и характерную скорость $\mathcal{G}_{хар}$, то параметр кавитации $K_{кр}$, в основном, будет зависеть от твердой границы среды. В твердой границе среды создаются условия для достижения кавитации, при помощи данных условий принимаются различные значения параметров кавитации $K_{кр}$. Эти значения кавитационного числа $K_{кр}$ служат для адаптации конструкции водосбросного сооружения и служат причиной упрощения инженерных расчетов.

Предварительные расчетные работы проводятся для поиска оптимальных значений, соответствующих каждому элементу водосбросного сооружения и выбирается каждое подходящее значение $H_{хар}$ и $\mathcal{G}_{хар}$. Эти работы проводятся путем создания алгоритмов и методов оптимизации.

Информирование возникновение кавитационного процесса, который может произойти во входном оголовке напорных труб Каркидонского водохранилища.

Обозначим характерное давление $H_{хар}$ и характерную скорость $\mathcal{G}_{хар}$ для входных оголовков напорных водоводов Каркидонского водохранилища. Известно, что поток воды создает непрерывную среду. Поэтому рассмотрим, приведенные выше, характерное давление $H_{хар}$ и характерную скорость $\mathcal{G}_{хар}$ во входном напорном оголовке криволинейного очертания Каркидонского водохранилища (рис.7).



**Рис. 7. Изменение функции $C_{рmax}=f(k_p, k_2)$ для входного оголовка Каркидонского водохранилища:
а - прямоугольных, б - круглых**

В рис.7 приводится изменение коэффициента падение максимального давления во входной прямоугольной и круглой оголовке Каркидонского водохранилища.

Приведенные методы легко применяется для динамики трехфазных течений.

В третьей главе диссертации «**Динамическая модель трехфазных жидкостей высоко напорных водосбросных сооружениях водохранилищ и инженерных коммуникации**» рассматривается модель динамического движения высоконапорных трехфазных жидкостей в водосбросных сооружениях водохранилищ и инженерных коммуникаций. От верхнего ребра паза a в нижнюю часть стекает масса вихревого потока. Стекаемая масса потока разделяется на граничные транзиты и несколько стационарных дискретных вихрей в пазе. Вихревые массы по мере продвижения и по потоку за счет втекания жидкости извне увеличивают свою толщину. Диаметр вихревой трубки d_τ , ускорение a_τ , скорость \mathcal{G} и координата x_τ : движение центра тяжести вихревой трубки в момент времени τ - описывается следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} d_\tau &= d_n + 0,129\tau; \\ a_\tau &= 0,2169 \frac{d_n^2}{(d_n + 0,129\tau)^3}; \\ \mathcal{G}_\tau &= \mathcal{G} \left[1 - \frac{0,9d_n^2}{(d_n + 0,129\tau)^2} \right]; \\ x_\tau &= \mathcal{G}\tau + \frac{7,5d_n^2}{(d_n + 0,129\tau)} - 7,5d_n; \\ x_\tau &= 7,5d_n \left[1,11 \left(\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}} - 1 \right) + \frac{1}{\sqrt{\frac{0,9}{1 - \frac{\mathcal{G}_\tau}{\mathcal{G}}}}} - 1 \right]; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где: \mathcal{G} - средняя скорость потока в водоводе; a_n - толщина вихревого потока, равная толщине времени отрыва от верхней части паза. При увеличении кавитации, величина кавитации равна толщине пограничного слоя δ . Значение a_n - принимают равным толщине придонного слоя перед точкой его отрыва от верхового ребра. Периферийная часть вихревой пелены, соприкасающаяся с транзитным потоком, имеет горизонтальную составляющую скорости, примерно равную \mathcal{G} , часть же этой массы, соприкасающаяся с зоной стационарного вихря, имеет горизонтальную составляющую скорости, равную $0,2\mathcal{G}$.

Объем облака кавитации поднимается от нижнего ребра и достигает некоего предела. В этом случае на внутренней стороне паза никаких изменений не замечается. Но через некоторый момент в пазе через транзитную струю образуется кавитационное облако, ограничивающее стационарный вихрь. Вследствие последующего увеличения кавитации плотность кавитационного облака в пазе увеличивается. Если сделать нижнее ребро плавным, из-за чего достигнем прерывания потока, кавитация в вихревом потоке появится раньше. Образовавшийся вихрь вытечет из верхнего ребра.

При вычислении параметров кавитации пазов затворов принимается: $H_{II} = H_{кав}$, т.е. давление в пазе равным пьезометрическому давлению в сечении водовода, где расположен паз. Влияние давления паза на H_{II} не учитывается и скорость $\mathcal{G}_{хар} = \mathcal{G}$ - приравнивается средней скорости в водоводе.

Согласно научной работе критические параметры паза, не зависящие от других элементов затвора, рассчитываются по нижеследующим уравнениям:

Для верхнего ребра паза:

$$K_{кр.в.} = K_y K_d \left[1 + 0,65 \left(\frac{l_{II}}{h_{II}} - 1 \right) \right] \quad (11)$$

$K_{кр.в.}$ коэффициент, влияющий на толщину δ пограничного слоя перед приближением потока к пазу:

$$K_y = \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ если } \delta \leq 0,12l_{II} \\ 0,12l_{II} \text{ если } \delta > 12l_{II} \end{array} \right\} \quad (12)$$

Коэффициент понижения нижнего ребра:

$$K = \left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 3,3 \frac{d}{l_{II}} \\ 1, \notin \left(0,6 + 3,3 \frac{d}{l} \right) \end{array} \right\} \quad (13)$$

Для нижней границы паза:

$$K_{кр.н.} = AK_l K_B \left[1 + 0,65 \left(\frac{l_{II}}{h_{II}} - 1 \right) \right] \quad (14)$$

где: A - коэффициент; K_l - коэффициент относительной ширины паза; K_B - относительная высота водосбросного сооружения. A, K_l, K_B - параметры, определяемые по чертежу паза (рис. 8).

(6) и (9) формулы имеет смысл при соблюдении условия $1 \leq \frac{l_{\Pi}}{h_{\Pi}} \leq 3$ и дают размеры всех рассматриваемых пазов. Значит увлечение туманных слоев кавитации зависит от плотности и от геометрии паза.

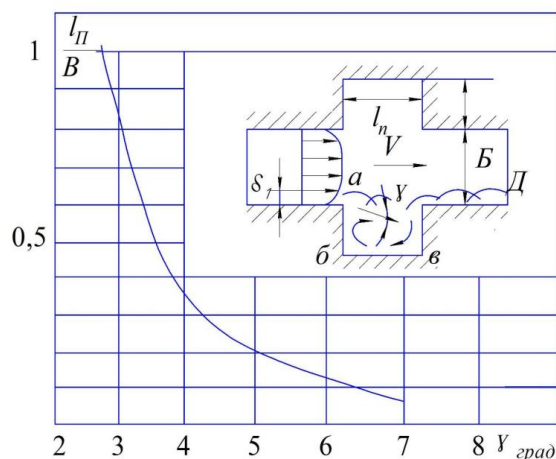


Рис. 8. Расширение совокупности вихрей в пазах гидросооружение

В четвертой главе диссертации «Динамической модели обтекания потока через проектные препятствия водопроводящего тракта Каркидонского водохранилища» Приводится динамическая модель возникновения кавитации и кавитационной эрозии условия сохранения от кавитационной эрозии при обтекания потока через проектные препятствия водопроводящего тракта Каркидонского водохранилища.

В результате возникновения кавитации в водосбросной системе трубопроводов Каркидонского водохранилища, образуется процесс кавитационной эрозии, для предотвращения этих процессов применяется метод кавитационных параметров.

Приводится метод параметров кавитации для обеспечения кавитационной безопасности водосбросов Каркидонского водохранилища при потенциальном использовании в пределах инкубационного периода.

В практике эксплуатации водосбросов в начальной стадии кавитации при $\beta > 0,85$ и скорости потока примерно до 30 м/с продолжительность инкубационного периода бетонной облицовки с прочностью на сжатие $R \geq 30 \text{ МПа}$ может быть неопределенно долгой. Это позволяет водосбросам работать при числах кавитации K , удовлетворяющих условие

$$K_{\text{эп}} < K < K_{\text{кр}} \quad (15)$$

где $K_{\text{эп}}$ — минимальное значение измерений, при котором наблюдается кавитация, а разрушение не фиксируется. По (8) рекомендуется определять $K_{\text{эп}} = 0,85K_{\text{кр}}$. Тогда условие (9) принимает следующий вид:

$$0,85K_{\text{кр}} < K < K_{\text{кр}} \quad (16)$$

Недостаток данного метода принят по результатам испытаний значения $K_{\text{эп}}$, т.е. их продолжительность в лучшем случае не превышала нескольких

десятков часов. Поэтому отсутствие разрушений в условиях кавитации ограничено продолжительностью не более 2-3 суток.

Первый экспресс-метод информирования происхождения кавитации в сооружении. Согласно этому методу возможность работы сооружения в пределах инкубационного периода определяется введением понятия пороговой скорости $\mathcal{G}_{пор}$. Здесь пороговой считают скорость, при которой гарантируется отсутствие разрушений в течение 48 часов при любой форме возбудителя и стадии кавитации. На рис.11 приведен график зависимости $\mathcal{G}_{пор}$ от прочности бетона защитной облицовки на сжатие K и степени аэрации воздуха ϕ' , %, в при стальном слое потока, характерная предельная скорость $\mathcal{G}_{хар_{пр}}$, при которой гарантируется отсутствие эрозии в течение τ часов, вычисляется через пороговую скорость по уравнению.

$$\mathcal{G}_{хар_{пр}} = \mathcal{G}_{пор} \left(\frac{48}{\tau} \right)^{\frac{1}{10}} \quad (17)$$

Этот метод позволяет до некоторой степени учесть влияние свойства материала защитной облицовки и степень аэрации потока на долговечность сооружения (рис. 9).

Зависимость пороговой скорости $\mathcal{G}_{пор}$ от прочности бетонной облицовки и аэрации ϕ' , %, пристенного слоя:

$$\phi' = \frac{Q_{воздух}}{Q_{вода}} \cdot 100$$

Данные на рис. 11 получены в результате эрозионных исследований, выполненных при наиболее разрушительной стадии кавитации за двухмерно обтекаемым цилиндром диаметром $d = 28\text{мм}$ в рабочей камере размерами $a \times h = 26 \times 160\text{мм}$.

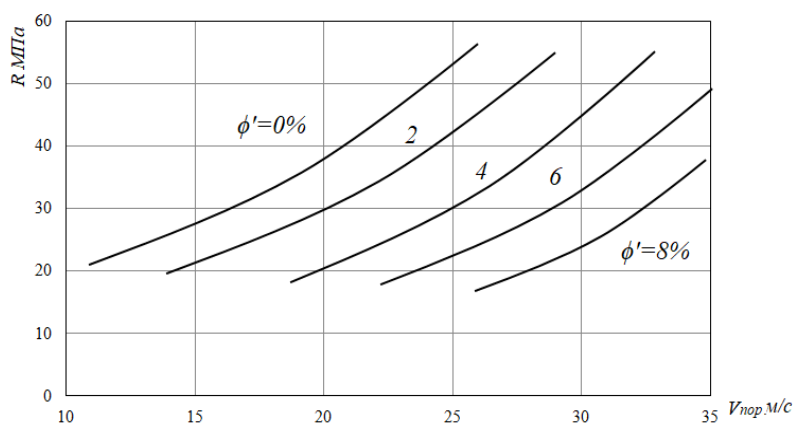


Рис 9. Зависимость пороговой скорости от прочности бетонной облицовки R и аэрации, %, пристенного слоя

Считается, что при равенстве скорости \mathcal{G}_d на внешней границе ближнего вихревого следа за обтекаемым цилиндром и характерной скорости $\mathcal{G}_{хар}$ для элементов гидросооружений в натуральных условиях кавитационные

воздействия на единицу площади разрушений не будут интенсивнее (независимо от стадии кавитации, масштаба кавитационного нагнетания, его формы и т.д.), чем в указанных лабораторных условиях. Однако эта гипотеза не проверена на натурных данных и ненадежна. Кроме того, описанный метод учитывает очень ограниченный набор факторов, которые могут реально повлиять на долговечность водосбросных элементов.

Применение не разрушаемых конструкций в результате кавитации. Известно, что навигационную эрозию могут вызвать лишь пузырьки, замыкающиеся либо непосредственно на эродируемой поверхности, либо вблизи нее в слое воды толщиной в несколько миллиметров.

Если при срывом обтекании элементов водосброса вихревые зоны, внутри которых сосредоточены кавитационные пузырьки, не соприкасаются с поверхностью облицовки, она не разрушается.

Данные случаи использовались при производстве решений, называемых неэрозионными энергетическими гасителями. Эта же идея была использована при изготовлении элементов затворных камер. Наличие возможных мероприятий – обеспечивает разрыв потока отражателей от впадины позади порога и водопроводящей стенки нижней грани паза потока безнапорного режима позади направляющих в нижнем фланце паза и затвора, а также вентиляцию, образующуюся в слоях воздуха. Хотя в данном случае возможные меры – повторяющиеся: возникнет кавитация. Кавитационные пузырьки движутся вначале по границе воздушной полости, не соприкасаясь со стенкой, а вместо контакта со стенкой поток уже насыщен воздухом, что исключает возникновение эрозии.

В настоящее время затворные камеры изготавливаются с использованием стальной облицовки. Наиболее эффективное неэрозионное покрытие стальной оболочки покрывается искусственной шероховатостью, образуются стальные насадки. Высота уголковых элементов шероховатости назначается равной $\Delta h = 0,1 - 0,2 м$ с шагом $l_{ш} = (5 - 6)\Delta h$.

Применение таких неровностей снижает скорость на поверхности основания и стен. Зона разрыва непосредственно позади каждого неровного элемента обеспечивает хорошую аэрацию и гарантирует отсутствие контактов со стальной облицовкой в зонах разрыва. Главное достоинство такой конструкции - отсутствие эрозии, которая часто возникает на контакте стальной облицовки с последующей бетонной поверхностью.

ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) на тему: «**Моделирование динамики формирования пульсаций и кавитации в трубопроводах водохранилищ**» представлены следующие выводы:

1. Приведено уравнение Навье-Стокса с целью получения аналитического решения задачи о закрученном потоке несжимаемой смеси вязких жидкостей.

2. Механизм захвата воздуха потоком воды через свободную поверхность может иметь два разных объяснения:

- когда кинетическая энергия выбираемой капли воды из потока будет больше работы сил поверхностного натяжения и тяжести, происходит выброс капли воды со свободной поверхности и происходит защемления воздуха на поверхности каверны воды.

- в обоих режимах замедление закручивание потока в начальном участке происходит интенсивно.

3. Гидравлические потери для различных режимов различные, увеличение гидравлических потерь при закручивании позволяет эффективно гасить избыточную энергию.

4. Возможно использование вихревых потоков для стабилизации потоков с целью предотвращения возникновения кавитации.

5. При вращении потока в вихре происходит снижение пропускной способности, несмотря на это используются шахтные вихревые водосбросы, в которых поток получивший соответствующую закрутку продолжает вращаться на оси ядра и образует воздушное ядро.

6. Относительные радиальные скорости турбулентного режима ниже относительно ламинарной скорости. Определены распределения давления и удельная энергия при различных входных параметрах.

7. В обоих режимах гашение закручивания движения жидкости происходит интенсивно. Установлено, что с увеличением тангенциальной скорости в начальном участке, скорость потока увеличивается и обеспечивается кавитационная безопасность стенки туннеля.

8. Результаты диссертационной работы использованы при выполнении государственных прикладных грантов. Результаты научно-исследовательских работ используются при определении кавитационных явлений, происходящих в водовыпускных и водосбросных трубопроводах Каркидонского водохранилища, а также при безопасной и эффективной эксплуатации водохранилищем (Справка управления эксплуатацией водохранилищами Ферганской области от 30 июля 2020 года).

9. Научные результаты исследований выполненных по диссертации используются при подготовке учебной программы по предметам “Насосы” “Механика жидкостей и газов”, текстов докладов и разработке методических комплексов Ферганского политехнического института (составлен акт 26.08.2020 г.);

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

FERGANA POLYTECHNICAL INSTITUTE

USMONOVA NODIRAKHON AKRAMOVNA

**"MODELING THE DYNAMICS OF PULSATION AND CAVITATION
FORMATION IN RESERVOIRS"**

05.09.07 - Hydraulics and engineering hydrology

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR
OF PHILOSOPHY (PhD) IN TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of doctoral dissertation (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under №В 2020.2.ФДН/Т1757

The dissertation was completed at the the Fergana Polytechnic Institute

The abstract of dissertation is posted three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website of Scientific council (www.tiame.uz) and on the website "Ziynet" information and educational portal (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor:	Khudaykulov Savet Ishonkulovich doctor of technical sciences, professor.
Official opponents:	Eshov Sobir Samatovich doctor of technical sciences, professor. Shanzinov Farrukh Shoakbarovich candidate of technical sciences, docent
Leading organization:	Academy of Sciences of Uzbekistan Institute of Mechanics and Seismic Resistance of Structures

The defense of the thesis will be 19 - October 2021 at 14⁰⁰ hours at the meeting of the Scientific council DSc. 03/30.12.2019. T.10.02 at the Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (Address: 100000, Tashkent, Kari Niyoziy st., 39. (99871) 237-09-71; fax: (99871) 237-54-79, e-mail: admin@tiame.uz).

The doctoral dissertation can be found at the Information Resource Center of the Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers (registration number № 194). Address: 100000, Tashkent, st. Kari Niyoziy, 39, Tel : (99871) 237-19-45, e-mail: admin@tiame.uz).

Abstract of dissertation sent out on 14 - October 2021
(register of the distribution protocol № 194 from 14 - October 2021).



T.Z. Sultanov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees, doctor of
technical sciences, professor

F.A. Gapparov
Scientific secretary of the scientific
council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, docent

D.R. Bazarov
Chairman of the akademik seminar
under the scientific council awarding
scientific degrees, doctor of technical
sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work is: Karkidon reservoir consists of mathematical modeling of the formation of cavitation and pulsation in various structural parts of water pipes and drainage structures.

The object of the research work: as a study of cavitation and pulsation processes in the Karkidon Reservoir and the used engineering communications pipelines.

Scientific novelty of the research work is as follows:

using the Navier-Stokes equation, conditions were developed for the formation of cavities from leaking streams from rubber seals under the heads of reservoir high-pressure barriers;

improved correspondence of pressure and velocity limits in reservoirs and pipelines of engineering communications based on the Reynolds and Froude criterion;

a method for predicting the onset of cavitation was developed, citing the formula of critical parameters;

A dynamic model of a conical barrier in a water pipe and the flow of flow through design barriers was created.

Implementation of research results. Based on the obtained scientific results on modeling the dynamics of pulsation and cavitation formation in reservoir pipes:

a method for determining the occurrence of cavitation of flows filtered through rubber seals of reservoir gates has been introduced at the Karkidon reservoir (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 04 / 20-326 of January 28, 2021). As a result, it is possible to reduce the cavitation process arising in the water supply pipelines of the reservoir by 1.2 times;

an improved method for determining the appropriate pressure and velocity limits in the pipelines of the reservoir and utilities has been introduced at the Karkidon reservoir (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 04 / 20-326 of January 28, 2021). As a result, the possibility of reliable operation of the water-supply pipelines of the reservoir has been created;

the method for predicting the occurrence of cavitation, taking into account the critical parameters in the water pipelines of the reservoir, has been introduced at the Karkidon reservoir (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 04 / 20-326 of January 28, 2021). As a result, the possibility of early detection and prevention of emerging cavitation processes in the water pipelines of the reservoir has been created.

The outline of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I бўлим (I часть; I part)

1. Usmonova N.A., Khudaykulov S.I., Usmonov A.A. Flow pressure on the rotation of the pressure water discharge of the Karkidon reservoir and velocity distribution along section// EPRA International Journal of research & development.– India, 2020. – Vol.5, Issue10, – Pp.180-184 (IF-7,001: Scientific Journal Impact Factor; №23)

2. Усмонова Н.А., Негматуллоев З.Т., Усмонов А.А., Нишонов Ф.Х.. Модели закрученных потоков в строительстве Каркидонского водохранилища// Достижения науки и образования. Научно-методический журнал. – Российская Федерация, 2019. – № 12 (53) С.5-9

3. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.Х. Моделирование динамики формирования кавитации и пульсации в трубопроводах инженерных коммуникации// Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2019. – Б.79-83 (05.00.00; №20).

4. Усмонова Н.А. Прогнозирование кавитации в водовыпускных трубопроводах водохранилищ по методу критических параметров// Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2019. – Б.84-88 (05.00.00; №20).

5. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А. Установление начальных интервалов и прогнозов возникновения пульсации и кавитации пульсирующего многофазного потока в трубопроводах Каркидонского водохранилища// Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2019. – Б.183-186 (05.00.00; №20).

6. Усмонова Н.А., Усмонов А.А., Бегимов У.И. Эффективные модели гасителей энергии, расщепители потока, водобойные стенки предотвращающие кавитации// Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2019. – Б.193-196 (05.00.00; №20).

7. Усмонова Н.А., Бегимов У.И., Худайкулов С.И. Моделирование схемы кавитационных течений многофазной жидкости// Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари. Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. – Тошкент, 2020– Б.111-114.

8. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А., Нишонов Ф.Х. Навигационные испытания моделей гидротурбин Каркидонского водохранилища в кавитационной установке и контрольно-измерительной аппаратуре// Фарғона политехника институти илмий-техника журнали. – Фарғона, 2020. - Б.39-44 (05.00.00; №20).

9. Усмонова Н.А., Усмонов А.А., Худайкулов С., Бутабоев А.А. Моделирование свободной поверхности бурного потока в водосбросе дном с двойкой кривизной Каркидонского водохранилища// Фарғона

политехника институти илмий-техника журнали. –Фарғона, 2020. - Б.29-33 (05.00.00; №20).

II бўлим (II часть; II part)

10. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А., Нишонов Ф.Х.. Моделирование устойчивости внутренних волн и теплового баланса многофазных стратифицированных течений// Сборник материалов I Международной научно-практической конференции: Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях, ФерПИ. – Фергана. 24-25 мая 2019 года, I-том.– С.446-450.

11. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Нишонов Ф.Х. Метод взаимопроникающих движений дисперсной смеси и прогнозирование кавитационных явлений в инженерных коммуникациях// Сборник материалов I Международной научно-практической конференции: Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях, ФерПИ. – Фергана. 24-25 мая 2019 года С.73-77

12. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А. Характеристика защитных оболочек водосброса Каркидонского водохранилища// Ўзбекистонда илм-фан ва таълим Республика илмий конференция материаллар тўплами, Ўзбекистон Давлат санъат ва маданият институтининг Фарғона минтақавий филиали. – Қўқон шаҳри.2020 йил 24 апрель. Б.341-346.

13. Усмонова Н.А., Усмонов А.А., Бегимов У.И. Моделирование появления вихрей в потоке стационарной и транзитной струи в инженерных конструкциях// ФарПИ Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар online илмий-амалий анжуман материаллар тўплами, ФарПИ. – Фарғона.2020 йил 16-17 ноябрь. Б.249-253.

14. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А. Расчет заиления Каркидонского водохранилища// Муҳандислик коммуникациялари соҳасида инновацион технологияларни жорий қилишнинг муаммо ва ечимлари: Халқаро илмий-анжуман материаллари тўплами, СамДАҚИ – Самарқанд. 2020 йил 21 май.–Б.231-235.

15. Усмонова Н.А., Абдухалилова Ш.Б., Негматуллоев З.Т. Моделирование оголовки отдельных бычков напорного водосброса Каркидонского водохранилища// Муҳандислик коммуникациялари соҳасида инновацион технологияларни жорий қилишнинг муаммо ва ечимлари: Халқаро илмий-анжуман материаллари тўплами, СамДАҚИ - Самарқанд. 2020 йил 21 май. Б.235-241.

16. Усмонова Н.А., Худайкулов С.И., Усмонов А.А. Достижение экологической эффективности за счет сокращения потерь фильтрации и испарения в Каркидонском водохранилище// Кимё ва кимёвий технология соҳасида инновацион ғояларни такомиллаштириш ва жорий этиш» мавзусида

Халқаро онлайн илмий-техник анжуман материаллари тўплами, ФарПИ. –
Фарғона. 2020 йил 23-24 октябрь. - Б.364-370.

Автореферат “IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA” илмий журнали
тахриятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (тезис) тилларидаги
матнларни мослиги текширилди (27.08.2021 й.)

Босишга рухсат этилди: 30.09.2021 йил
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
Гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3. Адади:100. Буюртма: №173
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.