

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc 03/30.12.2019.Т.10.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ  
«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ВОҲИДОВ ОЙБЕК ФАРХОДЖОН ЎҒЛИ**

**ЮҚОРИ ОҚИМ ТЕЗЛИГИДА ВАКУУМ ШАРОИТИДА ИШЛАЙДИГАН  
СУВ ЎТКАЗИШ ИНШОТЛАРИНИНГ САМАРАДОРЛИГИ**

**05.09.07 – Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси**

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

**Тошкент – 2023**

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

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

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

**Воҳидов Ойбек Фарходжон ўғли**

Юқори оқим тезлигида вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш  
иншоотларининг самарадорлиги ..... 3

**Воҳидов Ойбек Фарходжон угли**

Эффективность водопропускных сооружений работающих в условиях  
вакуума при больших скоростях потока ..... 23

**Vohidov Oybek Farxodjon ugli**

Efficiency of underpass facilities operating in vacuum conditions at high flow  
rates ..... 41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

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

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc 03/30.12.2019.Т.10.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ  
«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ»  
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ВОҲИДОВ ОЙБЕК ФАРХОДЖОН ЎҒЛИ**

**ЮҚОРИ ОҚИМ ТЕЗЛИГИДА ВАКУУМ ШАРОИТИДА  
ИШЛАЙДИГАН СУВ ЎТКАЗИШ ИНШООТЛАРИНИНГ  
САМАРАДОРЛИГИ**

**05.09.07 – Гидравлика ва муҳандислик гидрологияси**

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

**Тошкент – 2023**

Техника фанлари фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги хузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.4.PhD/Т3405-рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университетидида 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.

<b>Илмий раҳбар:</b>	<b>Базаров Дилшод Райимович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Янгиев Асрор Абдихамидович</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Худайкулов Совет Ишанкулович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Тошкент архитектура - қурилиш университети</b>

Диссертация ҳимояси “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети хузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.10.02 рақамли илмий кенгашнинг 2023 йил «24» ноябр соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100000, Тошкент ш, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел: (+99871) 237-09-71, 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 университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (294 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100000, Тошкент ш, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел: (99871) 237-19-45)

Диссертация автореферати 2023 йил «06» ноябр куни тарқатилди.  
(2023 йил «06» ноябр даги № 294 рақамли реестр баённомаси).



**Т.З.Султонов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Ф.А.Гаппаров**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

**А.М.Арифжанов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий  
семинар раиси, т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда тоғ ва тоғ олди худудларда юқори оқим тезлигида ишлайдиган юқори ва ўрта напорли гидроэнергетика ва гидротехника иншоотларининг жадал қурилиши муносабати билан сув чиқариш иншоотларида оқим кинетик энергиясини интенсив равишда сўндиришга муҳим аҳамият берилмоқда. Дунё миқёсида гидроэнергетика ва гидротехника иншоотларини ишончли ишлашини таъминлайдиган, иқтисодий тежамкор ва кавитациясиз режимда ишлайдиган пастки бьеф элементларини ишлаб чиқишни тақозо қилмоқда. Шунингдек анъанавий усуллар - сув урилма қудуқлари ва деворлари ёрдамида оқим кинетик энергиясини сўндириш доим ҳам муаммони ҳал қилишни таъминламайди. Шу жihatдан оқим кинетик энергиясини энергия сўндиргичлар ёрдамида қўшимча равишда тартибга солиш, юқори тезликдаги оқимнинг кинетик энергиясини сўндиришнинг энг мақбул усулларини ишлаб чиқиш, юқори оқим тезлигида вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларининг самарадорлигини ошириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда юқори оқим тезлиги ва вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларида кавитацион жараёнларни олдини олиш, кавитациянинг ривожланиш босқичи давомида энергия сўндиргичлар юзаси ва унинг тубидаги кавитация оқимидаги босим пульсацияси ўзгаришига таъсир қилишини ўрганиш буйича илмий тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Олимлар томонидан олиб борилган кавитацион илмий тадқиқотлар асосида эрозияга учрамайдиган ёки эрозияга кам учрайдиган бир неча турдаги энергия сўндиргичларни ишлаб чиқилган бўлиб, унда гидродинамик юкларни кавитациянинг турли босқичларига боғлиқлик хусусиятларини аниқлашган. Бу гидроэнергетик ва гидротехник объектларнинг сув ўтказиш иншоотларида юқори оқим тезлигида турли конструкцияли энергия сўндиргичлардан фойдаланиш имконини яратган. Шу нуқтаи назардан сув ўтказиш иншоотлари соҳаларида оқим йўналиши буйича ва оқим йўналишига қарама қарши нотекистиклар юзага келадиган кавитацион жараёнлар олдини олиш буйича илмий тадқиқотлар олиб бориш муҳим аҳамият касб этади.

Республикамизда гидроэнергетика ва гидротехника объектларини жадал равишда қурилиши, жумладан аҳолини ва ишлаб чиқариш соҳаларини электр энергия билан таъминлаш, қишлоқ хўжалигига кафолатланган сувни етказиб беришда гидротехника иншоотларини ишончилигини оширишга қаратилган кенг қамровли ишлар амалга оширилмоқда. Жумладан, 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида «Сув ресурсларини бошқариш тизимини тубдан ислоҳ қилиш ва сувни иқтисод қилиш буйича алоҳида давлат дастурини амалга ошириш»<sup>1</sup> вазифалари, 2020 йил 10 июлдаги ПФ-6024-сон «Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги фармони

тасдиқлаш тўғрисида”ги Фармони, жумладан “сув ресурсларини прогнозлаштириш, унинг ҳисобини юритиш ва маълумотлар базасинини шакллантириш тизимини тубдан такомиллаштириш ҳамда шаффофлигини таъминлаш; сув хўжалиги объектларини модернизация қилиш ва ривожлантириш, йирик сув хўжалиги объектларини бошқаришни рақамли технологиялар асосида автоматлаштириш, электр энергияси ва бошқа ресурсларни тежайдиган замонавий технологияларни жорий қилиш” вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан оқимнинг юқори тезлиги ва вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларининг самарадорлиги ошириш ва пастки бьеф конструкцияси мустаҳкамлигини ҳисоблаш усуллари такомиллаштириш бўйича илмий изланишлар муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида» ги Фармони, 2019 йил 17 июндаги ПФ-5742-сон «Қишлоқ хўжалигида ер ва сув ресурсларидан самарали фойдаланиш чора тадбирлари тўғрисида» ги ва 2020 йил 10 июлдаги ПФ-6024-сон «Ўзбекистон Республикаси сув хўжалигини ривожлантиришнинг 2020-2030 йилларга мўлжалланган концепциясини тасдиқлаш тўғрисида» ги фармонлари, 2017 йил 25 сентябрдаги ПҚ-3286-сон «Сув объектларини муҳофаза қилиш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги қарори ҳамда ушбу йўналишга оид бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация иши маълум даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг V. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф муҳит муҳофазаси» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммони ўрганилганлик даражаси.** Юқори оқим тезлиги ва вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларида кавитацион жараёнларни ўрганиш бўйича математик моделлар, ҳисоб-китобларнинг алгоритмларини, сув ўтказгичлар ва уларнинг амалиётда кавитация билан курашиш учун фойдаланиб келинаётган конструкцияларни такомиллаштиришга қаратилган кўплаб илмий тадқиқот ишлари олимлар томонидан олиб борилган. Кавитация жараёнларини гидроэнергетик ва гидротехник иншоотларига зарарли таъсири олдини олиш усуллари, мақбул конструкциялар танлаш орқали кавитация босқичларини ўрганишда олимлар Н.П.Розанов, Р.М.Разаков, Г.А.Воробьев, В.М.Семенов, Г.Н.Цедров, Ю.П.Иноземцев, Н.Н.Пашков, Т.П.Проворова С.М.Слиский, И.С.Новикова, А.Г.Журавлев, А.Т.Ниеткалиев, А.В.Ефимовлар томонидан олиб борилган илмий тадқиқот ишларида кўриб чиқилган ва амалиётга тадбиқ қилинган.

Оқим энергиясини сўндириш ва кавитацион эрозияни олдини олиш бўйича турли конструкцияга эга бўлган энергия сўндиргичлар, сув урилма девори, гидродинамик зўриқишлар таъсирида эрозияга қарши курашиш

ҳамда қоплама материаллар сифатини яхшилаш, аэрация қувурларини қўллаш борасида Ўзбекистонлик олимлар Файзуллаев Ж.Ф., Латипов К.Ш., Базаров Д.Р., Янгиев А.А., Обидов Б.М., Худайкулов С.И., Усмонова Н.А., ва бошқаларнинг илмий - тадқиқот ишларида келтирилган.

Ҳозирги вақтда юқори напорли сув ўтказиш иншоотларида кавитацион жараёнларини олдини олишга қаратилган такомиллаштирилган схемалар ва алоҳида конструктив ечимларни қабул қилиш, уларни гидравлик асослаш усулларини такомиллаштириш каби муаммолар етарли даражада ўрганилмаган. Шу сабабли, юқори напорли сув ўтказиш иншоотлари нотекис соҳаларида юзага келадиган кавитацион жараёнларни олдини олиш, улардаги оқим тезлигини чегаравий қийматини ҳисоблаш усулларини ишлаб чиқиш, такомиллаштириш зарурияти пайдо бўлади.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий ишлари режаси билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти “Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти” Миллий тадқиқот университети режасининг 17/2021-сонли «Республикадаги йирик гидроэнергетик объектлар, йирик ва ўрта насос станцияларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш, ресурс-тежамкор технологияларни тадбиқ қилиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш» (2021-2022 йй.) мавзусидаги илмий тадқиқот иши доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** юқори напорли сув ўтказиш иншоотларига кавитация жараёнининг таъсирини баҳолашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

юқори напорли сув ўтказиш иншоотлари соҳасида юзага келадиган кавитацион жараёнларнинг таҳлили;

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги нотекисликларни инобатга олиб, кавитациянинг ривожланиш босқичларини ҳисоблаш усулини такомиллаштириш;

экспериментал ва дала тадқиқотлари асосида юқори напорли сув ўтказиш иншооти соҳаларида кавитация жараёни ривожланиш босқичларини инобатга олиб, оқим тезлигининг чегаравий қийматини ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш;

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларининг шакли ўзгаришини инобатга олиб, кавитация жараёнини ифодаловчи икки ўлчамли математик моделни такомиллаштириш;

юқори напорли сув ўтказиш иншооти кавитация жадаллашган нотекис соҳаларида кавитация жараёнининг олдини олиш чора-тадбирларини ишлаб чиқиш ҳамда амалиётга тадбиқ қилиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншооти оқим тракти ва иншоотдаги нотекисликлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги кавитацион жараёнлар, кавитация босқичларини гидродинамик таъсири қонунияти ташкил қилади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида экспериментал, дала-кузатув ва лаборатория усуллари ҳамда гидравликада умумий қабул

қилинган услублар, гидродинамика қонунлари асосида математик моделлар тузиш ва уларни соний ҳисоблаш усулларидадан фойдаланилди.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларида қувур кескин кенгайишини инобатга олиб, кавитациянинг ривожланиш босқичларини ҳисоблаш усули такомиллаштирилган;

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларида кавитация даражаларини инобатга олиб, оқим тезлигини чегаравий қийматини ҳисоблаш усули ишлаб чиқилган;

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларининг шакли ўзгаришини инобатга олиб, кавитация жараёнини ифодаловчи икки ўлчамли математик модель такомиллаштирилган;

ANSYS Fluent дастури асосида сув ўтказиш иншоотида оқимнинг уярмавий ҳаракати натижасида кавитацион эрозия содир бўлаётган соҳасини башорат қилиш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

сув ўтказиш иншооти соҳаларидаги нотекикликларни кавитация жараёнига таъсирини аниқлаш имконияти яратилган;

олинган натижалар ва боғланишлар турли ўлчамдаги нотекикликлар натижасида кавитация ривожланиш босқичларини ҳисоблаш имконини беради;

олинган натижалар сув ўтказиш иншоотидан чиқаётган оқимнинг оқимнинг асосий параметрларини ҳисоблаш, мустаҳкамлаш элементларининг турғунлигини баҳолаш, сув оқими ва напори ўртасидаги ўртасидаги график боғлиқликларни олиш имконини беради;

кавитациянинг ривожланиш босқичларини ҳисоблаш усули, ҳамда кавитация жараёнини ифодаловчи математик модель Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншоотида кавитацион жараёнларни бартараф қилиш имконини беради.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги умумий қабул қилинган тадқиқот усуллари ҳамда олинган назарий натижаларнинг амалий маълумотларда тасдиқланганлиги, тажриба натижаларини ушбу тадқиқот йўналишидаги бошқа муаллифларнинг натижалари билан таққосланганлиги ва тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий қилинганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти юқори напорли сув омборлари ва гидроэлектростанциялар сув ўтказиш иншоотлари соҳаларига кавитацион жараёнларни шаклланиши ва босқичлари, таъсирини аниқлаш ва уларни бартараф этиш орқали гидротехник иншоотларни куриш ва улардан фойдаланишда уларнинг ишончлилигини ошириш имконияти билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти юқори напорли сув омборлари ва гидроэлектростанциялар сув ўтказиш иншоотларида кавитациянинг турли босқичларини ҳисобга олган ҳолда, уларга конструктив

ечим бериш орқали, узоқ ва ишончли ишлаши орқали қурилиш ҳаражатларини камайтириш билан иқтисодий самарадорликка эришилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Юқори напорли сув чиқариш иншоотлари соҳаларида оқимнинг юқори тезлигида вужудга келадиган кавитацион таъсирини баҳолаш усули асосида:

юқори напорли сув ўтказиш иншоотлари соҳаларида юзага келадиган кавитацион жараёнларни бартараф ва улардаги гидродинамик зўриқишларни ҳисоблашнинг такомиллаштирилган усули “Ўзбекгидроэнерго” АЖ тасарруфига қирувчи “Тўполанг ГЭС” унитар корхонасига қарашли Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншоотларига жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 6 декабрдаги 03/26-2670-сон маълумотномаси). Натижада Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншооти ишончлилигини ошириш имконияти яратилган;

экспериментал ва дала тадқиқотлари асосида Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншооти соҳалари учун кавитация жараёнини ривожланиш босқичлари аниқлаш усуллари “Ўзбекгидроэнерго” АЖ тасарруфига қирувчи “Тўполанг ГЭС” унитар корхонасига қарашли Тўполанг сув омбори санитар сув ташлаш иншоотларига жорий этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 6 декабрдаги 03/26-2670-сон маълумотномаси). Натижада, сув ўтказиш иншоотининг нотекис соҳаларида кавитацион жараёнларнинг олдини олиш имконияти яратилган;

юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги мавжуд нотекисликларни камайтириш ҳамда иншоотнинг вакуум соҳасида ҳосил бўладиган оқимнинг уюрмавий ҳаракатини баратараф этишнинг гидравлик ва Ansys дастури ёрдамида ҳисоблаш усули гидротехник иншоотларни лойиҳалаштиришда мавжуд ҳисоблаш услублари қаторида фойдаланиш учун “Ўзсувлойиҳа” Аксиядорик жамиятида амалиётга татбиқ этилган (Сув хўжалиги вазирлигининг 2022 йил 6 декабрдаги 03/26-2670-сон маълумотномаси). Натижада, кавитацион жараёнларнинг жадаллигини аниқлаш усули сув ўтказиш иншоотидаги оқим ҳаракат йўналишини инобатга олган ҳолда такомиллаштирилган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилди ва маъқулланди.

**Тадқиқот натижаларини эълон қилиниши.** Тадқиқот мавзуси бўйича 18 та илмий мақола чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий журналларда 5 та, жумладан 3 та Республика ва 10 та халқаро хорижий журналларда Scopus рейтинги базасига қирувчи нашриётларда.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 98 бетни ташкил қилади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **Кириш** қисмида Ўзбекистон Республикаси ва жаҳонда ўтказилган илмий тадқиқотлар асосида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, мақсади ва вазифалари, тадқиқот объекти ва предмети ифодаланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, илмий ва амалий аҳамияти ёритилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилиши, ишнинг апробацияси, чоп этилган ишлар, диссертация тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг **«Юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги кавитацион жараёнлар таҳлили»** деб номланган биринчи бобида хориж ва республикамиздаги юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги кавитацион жараёнлар таҳлили, кавитацион жараёнларни ривожланиш босқичлари, сув ўтказиш иншоотлари соҳаларидаги нотекикликларнинг босим ва тезлик ўзгаришига таъсири, юқори напорли сув ўтказиш иншоотларидаги нотекикликлар натижасида юзага келадиган кавитацион эрозияга қарши курашиш усулларига доир тадқиқотлар таҳлили келтирилган.

Кавитациянинг гидротехник иншоотларга кенг миқёсли таъсирини ўрганиш йўналишлари бўйича математик моделлар, алгоритмлар ва ҳисоблаш алгоритмларини, юқори напорли сув ўтказиш иншоотлари ва уларнинг амалиётда кавитация билан курашиш учун фойдаланиб келинаётган элементларини ҳамда конструкцияларини ўрганишга катта эътибор берилган. Кавитациянинг юқори напорли сув ўтказиш иншоотларига зарарли таъсирини ва унга қарши курашиш усуллари аниқлаш бўйича илмий тадқиқот ишлари Н.П.Розанов, Р.М.Разаков, Г.А.Воробьев, В.М.Семенов, Г.Н.Цедров, Ю.П.Иноземцев, Н.Н.Пашков, Т.П.Проворова С.М.Слисский, И.С.Новикова, А.Г.Журавлев, А.Т.Ниеткалиев, А.В.Ефимов ва бошқалар томонидан олиб борилган.

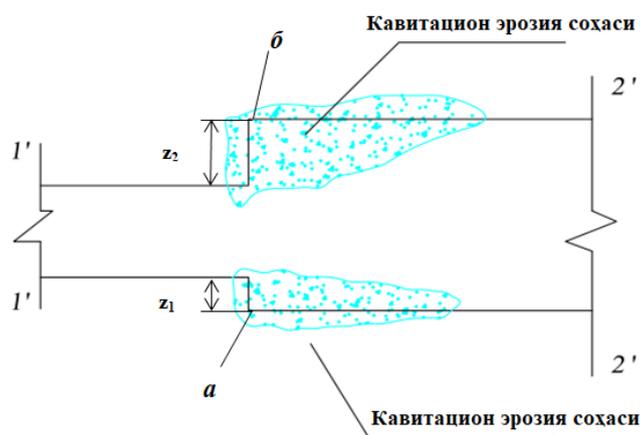
Оқим энергиясини сўндириш ва кавитацион эрозиянинг олдини олиш бўйича турли конструкцияга эга бўлган энергия сўндиргичлар, сув урилма девори, гидродинамик зўриқишлар таъсирида эрозияга қарши курашиш ҳамда қоплама материаллар сифатини яхшилаш, аэрация қувурларини қўллаш борасида Ўзбекистонлик олимлар Файзуллаев Ж.Ф., Латипов К.Ш., Базаров Д.Р., Янгиев А.А., Обидов Б.М., Худайкулов С.И., Усмонова Н.А., ва бошқа бир қанча олимлар томонидан тадқиқотлар ўтказилган.

Биринчи бобдаги таҳлиллардан келиб чиқиб, гидротехника иншоотларининг пастки бьефидаги оқим тезлигининг кескин ошиши ва гидродинамик босимнинг пасайиши натижасида рўй берадиган кавитация жараёни ва унинг олдини олиш бўйича хулосалар келтирилган. Ушбу тадқиқот таҳлиллари асосида диссертация ишининг мақсад ва вазифалари белгиланган.

Диссертациянинг иккинчи боби «Сув ўтказиш иншоотларида кавитацион жараёнларни ўрганиш бўйича дала тадқиқотлари» деб номланиб, тадқиқот объектида олиб борилган изланишлар, тадқиқотларда фойдаланилган усуллар, тўпланган маълумотлар таҳлили, тадқиқот объектидаги мавжуд муаммолар ва сув ўтказиш иншооти бўшлиқлари учун гидравлик ҳисобларга бағишланган.

Тадқиқотнинг дастлабки босқичида Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншоотининг лойиҳавий маълумотлари ва ҳозирги ҳолати баҳоланган. Бунга кўра, иншоотнинг ҳозирги иш шароитидан келиб чиқиб, ундаги мавжуд муаммолар таҳлил қилинган.

Тўполанг сув омбори сув ўтказиш иншоотларида олиб борилган дала тадқиқотларида асосий ва санитар сув ўтказиш иншоотларида кавитация жараёни кузатилаётгани аниқланди. Сув омборида кўп йиллар давомида қурилиш ишлари олиб борилиб, унинг ҳажми ошириб борилмоқда. Сув омбори ҳажми ошиши билан сув ўтказиш иншоотларидан максимал ва доимий фойдаланишга тўғри келади. Бу асосий сув ўтказиш иншооти энергия сўндиручи камераларида кавитацион эрозияни келтириб чиқармоқда. Сув ўтказиш сарфи  $6,8 \text{ м}^3/\text{с}$  бўлиб, фавкулотда вазиятларда  $120 \text{ м}^3/\text{с}$  гача сувни ўтказишга мўлжалланган.



**1-расм. Санитар сув ўтказиш иншоотида қаралаётган соҳанинг бўйлама қирқими: а – пастки ва б – юқори кавитацион эрозия соҳаси.**

Тўполанг сув омборини санитар сув ўтказиш иншоотини затворлар камераси жойлашган ПК4+51 дан ПК4+96,67 гача бўлган қисмида дала тадқиқотлари олиб борилган, чунки ушбу соҳада сув ўтказиш иншооти сирти қисмларида кескин ўзгаришлар ва ўрнатилган ясси затворлар ҳисобига рўй берган кўплаб нотекистиклар мавжуд.

Иншоот бўйлама қирқими ва кавитацион эрозияга учраган қисми 1-расмда кўрсатилган. Кавитация жараёнини баҳолаш кескин  $90^\circ$  га кенгайган пастки (а) ва юқори (б) қисми учун ўтказилди.

Ҳисоблаш ишларини қуйидаги кўринишда олиб борилди.  
кескин кенгайишда пастки (а) соҳа учун:

Қаралаётган соҳада оқимнинг ўртача тезлиги  $33,08 \text{ м/с}$ , солиштирма сув сарфи  $27,27 \text{ м}^2/\text{с}$  ни ташкил қилади. Санитар сув ўтказиш иншоотининг

максимал сув сарфи  $60 \text{ м}^3/\text{с}$ , қаралаётган кесимдаги қувурнинг кенглиги  $2,2 \text{ м}$ , сув сатҳидан қаралаётган кесимдаги сатҳлар фарқи  $y = 960 - 824 = 107,6$  метрга тенг деб қабул қилинди.

Оқимнинг динамик тезлиги қуйидагича аниқланди:

$$u_* = 0,5 \cdot v_\infty \sqrt{C'_f} = 0,99 \text{ м/с}, \text{ бу ерда: } C'_f = f \left( \frac{S}{\Delta} \right) - \text{қаршилик коэффициенти.}$$

Оқимнинг характерли тезлиги:  $v_{\text{хар}} = u_* \left( 5,75 \cdot \lg \frac{z_1}{\Delta} + 8,5 \right) = 20,51 \text{ м/с}$ .

Оқим чуқурлиги  $0,82 \text{ м}$ . Босимнинг характерли қиймати:  $H_{\text{хар}} = h + H_a = 9,87 \text{ м}$ .

Кавитация босқичи:  $K = \frac{H_{\text{хар}} - H_{\text{нас}}}{v_{\text{хар}}^2 / 2g} = \frac{9,87 - 0,24}{20,51^2 / 2 \cdot 9,81} = 0,45$  га тенг. Нисбий

кавитация босқичи:  $\sigma = \frac{K}{K_{\text{кр}}} = \frac{0,45}{2,08} = 0,22$ .  $K_{\text{кр}} = 2,08$ .

кескин кенгайишда юқори (б) соҳа учун:

Оқимнинг характерли тезлиги  $22,77 \text{ м/с}$ ,  $H_{\text{хар}} = 9,87 \text{ м}$ ,  $K = 0,36$ ,  $\sigma = 0,17$ .

Юқоридаги кавитацион ҳисоб натижалари шуни кўрсатдики, қаралаётган (а) соҳада нисбий кавитация босқичи  $\sigma = 0,22$  га тенг бўлиб, бу кавитациянинг жадаллашган ҳолати ҳисобланади. (б) соҳада нисбий кавитация босқичи  $\sigma = 0,17$  га тенг бўлиб, бу қисмда суперкавитация жараёни кузатилмоқда. Кўплаб тадқиқотлардан маълумки, сув оқимининг ўртача тезлиги  $18-30 \text{ м/с}$  бўлганда кавитациянинг жадаллашган босқичларида  $K/K_{\text{кр}} = 0,2 \div 0,6$  иншоот элементларига жиддий зарар етади.

Диссертация ишининг учинчи боби «**Юқори напорли сув чиқариш иншоотларида кавитацион жараёнларнинг жадаллигини баҳолашда экспериментал тадқиқотлар**» деб номланиб, танланган объектнинг кавитация жараёни юз бераётган қисмида экспериментал тадқиқот ўтказилди. Лаборатория қурилмасининг тузилиши, кавитацион жараёнларни жадаллигини баҳолашда экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган.

Иншоотдаги оқимни моделлаштириш Фруд ва Рейнольдс ўхшашлик меъзонларига бир вақтда риоя қилинган ҳолда амалга оширилди.

Моделлаштиришда Фруд критерийси қабул қилинди:

$$Fr = \frac{v^2}{gh} = idem, \quad (1)$$

бу ерда:  $v, h$  – оқимнинг ўртача тезлиги ва чуқурлиги;  $g$  – эркин тушиш тезланиши.

Оқим сарфи ва тезлигини қуйидаги формулалар орқали моделлаштирилади:

$$Q_M = \frac{Q_H}{M^{5/2}}, \quad (2)$$

$$v_M = \frac{v_H}{M^{0,5}}, \quad (3)$$

бу ерда:  $Q_m, \vartheta_m$  ва  $Q_n, \vartheta_n$  – моделда ва дала шароитида оқим сарфи ва оқим тезлиги,  $M$  – моделнинг масштаби.

Шу билан бир қаторда ўрганилаётган ҳодисаларнинг автомоделлиги кузатилди, яъни қуйидаги шартлар бажарилди:

$$Re_m > Re_{m.кр}, \quad (4)$$

(1:50) масштабдаги моделдаги Рейнольдс сони қиймати қуйидагича аниқланди:

$$Re_m = \frac{\vartheta_m \cdot h_m}{\nu}, \quad (5)$$

Кавитация ҳодисасини тахминий ўхшашлигини кузатиш учун қуйидаги шарт бажарилиши керак:

$$K_n = \eta K_m, \quad (6)$$

бу ерда:  $K_n$  ва  $K_m$  – дала ва лаборатория тадқиқотлари учун кавитация сони;  $\eta$  – модель масштаби учун тузатиш коэффициентини (модель масштаби ва Рейнольдс сонини ( $Re_m > 10^5 \div 10^6$ ) ҳисобга олган ҳолда  $\eta = 1,0$ )га тенг деб қабул қилинди.

Қуйидаги шарт бажарилганда кавитация жараёни юз бермайди:

$$K > K_{кр}, \quad (7)$$

Кавитация сони одатда қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланади:

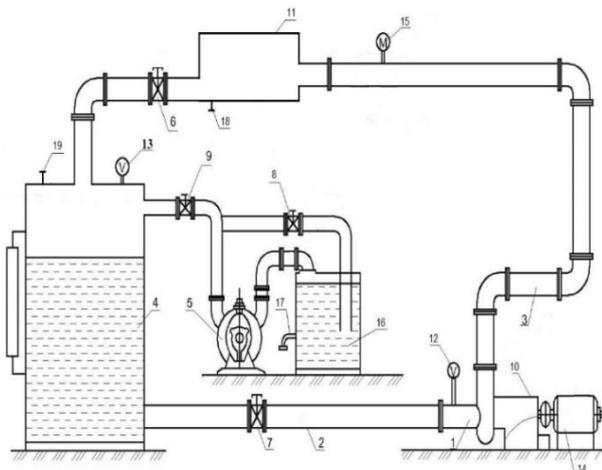
$$K = \frac{H_{хар} - H_{буф}}{v_{хар}^2 / 2g}, \quad (8)$$

бу ерда:  $H_{хар} = H_a + h$  ( $H_a$  – қурилмадаги сув сатҳи устидаги босим, дала тадқиқотида атмосфера босимига тенг, м.с. уст.);  $h$  – нотекистик устидаги сув баландлиги, м.с.уст;  $v_{хар}$  – қаралаётган соҳада сув оқимининг ҳарактерли тезлиги, м/с;  $g$  – эркин тушиш тезланиши,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $H_{буф}$  – сув буғининг босимини тоза сув учун қабул қиламиз, м.с.уст.

Лаборатория тадқиқотларида вакуумни бошқариш орқали кавитациянинг турли босқичлари кузатилди. Лаборатория тадқиқотлари натижаларини олишда ҳисоблаш ишлари кинематик ўхшашлик қонуни асосида олиб борилди. Модель учун сув оқими сарфи 2,5-3,4 л/с ни ташкил этди, бу эса ҳолда равишда санитар сув чиқариш иншооти сув сарфи 45 ... 60 м<sup>3</sup>/с га тенг бўлди (модель масштаби 1:50).

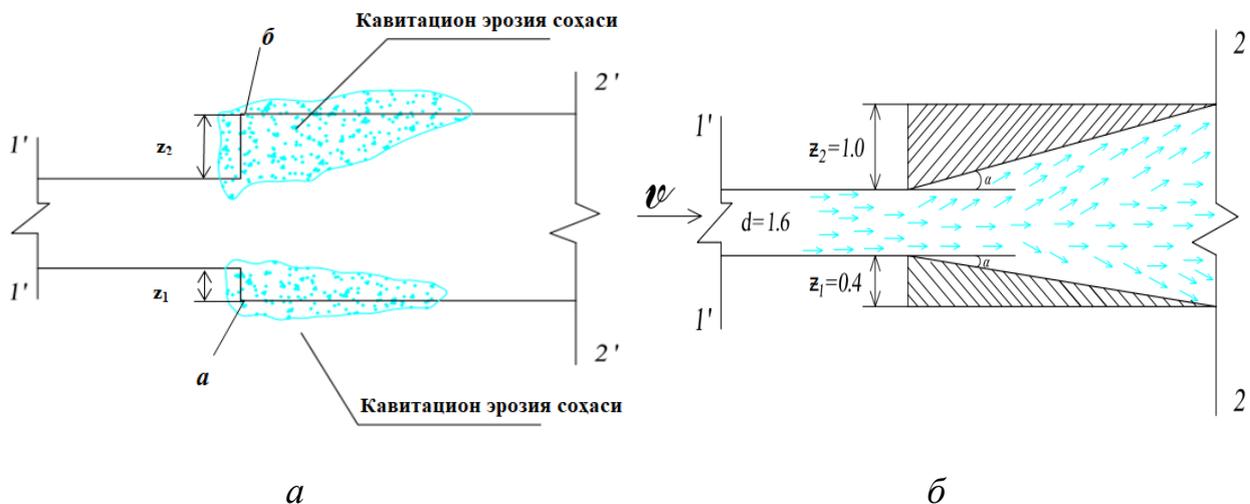
Экспериментал тадқиқотлар ўтказилишида кавитация стенди Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти Миллий тадқиқот университетининг “Насос станциялари ва гидроэлектростанциялар” кафедраси ўқув ва илмий лабораториясида қурилган бўлиб, герметик лотокдан иборат. Унинг кенглиги 35 см, узунлиги 60 см, бўйи 40 см бўлиб, сув резеуарига уланган. 2-расмда 1 – марказдан қочма  $K$  турдаги насос, 2 – сўриш қувури, 3 – напорли қувур, 4 - резервуар, 5 – вакуум насос, 6, 7, 8, 9 – задвижкалар, 10 – вал, 11 – герметик ёпиқ лоток, 12, 13 – вакуумметрлар, 14 – электродвигатель, 15 – манометр, 16 – вакуум

насосга уланган кичик резервуар, 17 – кичик резервуарни сувдан бўшатиш учун кран, 18 – герметик лотокни сувдан бўшатиш учун кран.



**2-расм. Кавитация стендининг схемаси ва расми.**

Кавитацион ҳисоблар шуни кўрсатдики, санитар сув чиқариш иншооти кескин пастга ва юқорига  $90^\circ$  га кенгайган қисмида кавитациянинг ривожланган ҳолати рўй бермоқда. Бу муаммони бартараф этиш учун пастки ва юқори қисмини кенгайиб борувчи қилиб лойиҳалаш ташкил этилди (3 а, б расмлар).

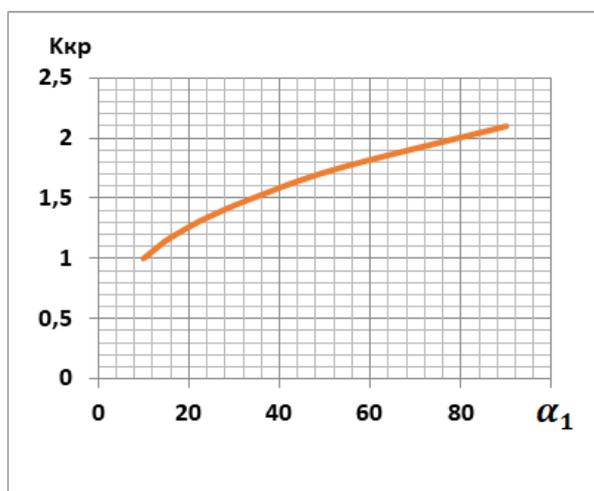


**3-расм. Санитар сув ўтказиш иншоотини кавитация юз бераётган қисми. а – ҳозирги ҳолати; б – таклиф этилаётган кенгаювчи қувур схемаси**

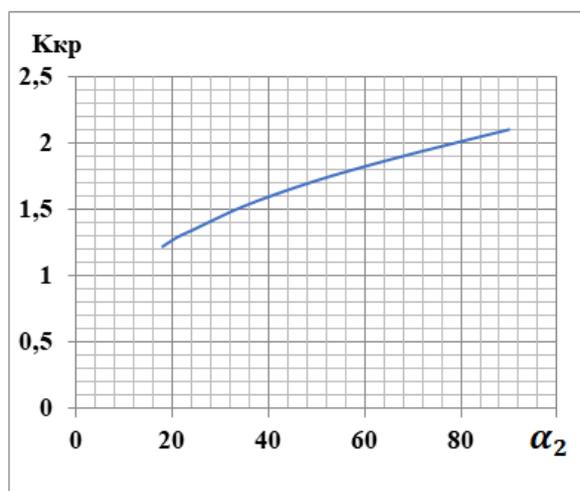
Кавитациянинг критик параметри  $K_{кр}$  нинг камайиб боришида кавитация сони  $K$  ошиб боради. 3-расмдаги схемадан ва ушбу ҳолат учун кавитациянинг критик параметрини аниқлаш формуласи  $K_{кр} = 0,466\sqrt[3]{\alpha}$  дан кўриниб турубдики, бу кўрсаткич қувурнинг кенгайиш пастки бурчаклари  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  га боғлиқ.

Лаборатория қурилмасидаги герметик ёпиқ лотокнинг узунлиги 60 см, лоток узунлиги бўйлаб ҳар 10 см масофада қувурнинг кенгайиш пастки  $\alpha_1$  ва юқоридаги  $\alpha_2$  бурчакларини ўзгартириш ҳисобига, кавитациянинг критик

параметри қийматларини аниқлаб, қувурнинг кенгайиш бурчагига функционал боғлиқлиги графиги қурилди (4 а, б расмлар).



а – пастки соҳа учун



б – юқори соҳа учун

**4-расм. Кавитациянинг критик параметрини қувурнинг кенгайиш бурчагига функционал боғлиқлиги.**

Санитар сув ўтказиш иншоотининг иккита қувурга ажралган қисми кескин кенгайган қисмидан 7,6 м масофада бирлашиб кетади. Демак, ушбу масофагача қувурни бир текисда кенгайтириб бориш мумкин. Ушбу берилган масофада пастки ва юқори соҳа учун  $\alpha_1$  ва  $\alpha_2$  кенгайиш бурчакларни аниқлаймиз.

Қувурни пастки соҳасининг кенгайиши учун  $\tan \alpha_1 = 0,05$ ,  $\alpha_1 = 4^\circ$ . Қувурни юқори соҳасининг кенгайиши учун  $\tan \alpha_2 = 0,13$ ,  $\alpha_2 = 8^\circ$ . Пастки соҳа учун кавитация параметри  $K_{кр} = 0,74$ , нисбий кавитация босқичи:

$$\sigma_{п} = \frac{K_{п}}{K_{кр}} = \frac{0,45}{0,74} = 0,61 \text{ га тенг. Юқори соҳа учун кавитация параметри}$$

$$K_{кр} = 0,466 \sqrt[3]{\alpha_2} = 0,466 \cdot \sqrt[3]{8^\circ} = 0,93, \text{ нисбий кавитация босқичи:}$$

$$\sigma_{ю} = \frac{K_{ю}}{K_{кр}} = \frac{0,36}{0,93} = 0,39 \text{ га тенг.}$$

Дала тадқиқотларида нисбий кавитация босқичи пастки соҳа учун  $\sigma_{п} = 0,22$  ва юқори соҳа учун  $\sigma_{ю} = 0,17$  га тенглиги, лаборатория тадқиқотларида эса мос равишда кенгайиб боровчи қувурда  $\sigma_{п} = 0,61$  ва  $\sigma_{ю} = 0,39$  бўлиши аниқланди. Таҳлиллар шуни кўрсатдики, кавитацияни нисбий босқичи пастки соҳа учун 2,8 марта, юқори соҳа учун эса 2,3 марта камаяди. Лекин кавитация тўлиқ бартараф этилмади, чунки санитар сув ўтказиш иншоотини ушбу қисмида оқим тезлиги юқоридир. Демак, оқим тезлигига ҳам чегаравий қиймат белгиланса иншоот ишончли кавитациясиз режимда ишлаши мумкин.

Диссертациянинг «Юқори оқим тезлигида вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларининг самарадорлиги» деб номланган тўртинчи бобида юқори напорли сув оқимининг икки ўлчамли гидродинамика тенгламаларига асосланган математик модель ва унинг

кўлланилиш соҳалари, Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншооти соҳасида оқим хусусиятларини дастурий таъминот ёрдамида ўрганиш натижаларига бағишланган.

Юқори напорли сув ўтказиш иншоотидаги оқимнинг ҳаракатини моделлаштириш учун (ташки кучлар ҳисобга олинмаганда) Навье-Стокс тенгламаларидан фойдаланилди. Ўлчовчиз параметр Рейнольдс  $Re$  қийматини аниқлаб, оқим ҳаракати аниқланди.

$$Re = \frac{\vartheta \cdot h}{\nu} \quad (9)$$

бу ерда:  $\vartheta$  – киришдаги оқимнинг тезлиги, м/с;  $h$  – оқим ҳаракатланаётган кесимнинг характерли ўлчами, м;  $\nu$  – кинематик ёпишқоқлиги коэффициентини, м<sup>2</sup>/с.

Кириш параметрлари учун Рейнольдс сонининг қиймати  $10^7$  ни ташкил этади, бу турбулент оқим мавжудлигини кўрсатади.

Навье-Стокс тенгламаларини куйидагича ёзиш мумкин:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{V} = 0 \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{V} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p \end{cases} \quad (10)$$

Турбулент оқимларда Рейнольдс-Ўртача Навье-Стокс тенгламалари (бундан кейин RANS, Reynolds-Averaged Navier-Stokes тенгламалари) ечилади. Ўртача ҳисоблашнинг моҳияти оқимнинг ҳақиқий (оний) параметрларини куйидаги шаклда кўринишидир:

$$u = \bar{u} \pm u' \quad (11)$$

бу ерда:  $\bar{u}$  – ўртача  $T$  давр учун ҳисобланган қиймат;  $u'$  – пульсация қиймати.

$$\bar{u}(x, y, z, t) = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} u(x, y, z, \tau) d\tau \quad (12)$$

Ушбу ҳолатда Рейнольдс-Ўртача Навье-Стокс тенгламалари куйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \bar{\bar{V}} = 0 \\ \frac{\partial \bar{\bar{V}}}{\partial t} + (\bar{\bar{V}} \cdot \vec{\nabla}) \bar{\bar{V}} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \bar{\bar{V}} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} \bar{p} + \operatorname{Div}(\Pi) \\ \Pi_{ij} = -\overline{u'_i u'_j} \end{cases} \quad (13)$$

13 тенгламани ечиш учун  $\Pi$  тензорининг таркибий қисмларини аниқлаш керак. Хусусан, ушбу ишда Буссинеск гипотезасига асосан  $\Pi$  тензорини турбулент ёпишқоқлик  $\mu_t$  орқали аниқланади:

$$P_{ij} = \frac{2\mu_t}{\rho} \left( \overline{S_{ij}} - \frac{1}{3} \overline{S_{kk}} \delta_{ij} \right), \quad \overline{S_{ij}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (14)$$

Турбулент ёпишқокликни аниқлаш учун турбулентлик моделлари қўлланилади. Ушбу илмий ишда k- $\omega$  SST турбулентлик моделидан фойдаланилган бўлиб, уни қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\mu_t}{\rho} \equiv \nu_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, \Omega F_2)} \\ \frac{\partial k}{\partial t} + (\overline{\vec{V}} \cdot \overline{\vec{\nabla}}) \cdot k = \nabla \cdot [(v + \sigma_k \nu_t) \nabla k] + P_k - \beta^* \omega k \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + (\overline{\vec{V}} \cdot \overline{\vec{\nabla}}) \cdot \omega = \\ = \nabla \cdot [(v + \sigma_\omega \nu_t) \nabla \omega] + \frac{\gamma}{\nu_t} P_k - \beta \omega^2 + (1 - F_1) \frac{2\sigma_\omega \omega}{\omega} (\nabla k) \cdot (\nabla \omega) \end{array} \right. \quad (15)$$

Турбулентлик моделини тўлдирувчи коэффициентлар қуйидагича:

$$F_1 = \tanh \left( \left\{ \min \left[ \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\sigma_\omega k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \right)$$

$$F_2 = \tanh \left[ \left( \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right)^2 \right]; \quad P_k = \min \left( \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, 10\beta^* k \omega \right)$$

$$CD_{k\omega} = \max \left( \frac{2\rho\sigma_\omega}{\omega} (\nabla k) \cdot (\nabla \omega), 10^{-10} \right) \quad (16)$$

Модель коэффициентлари:

$$\phi = F_1 \phi_1 + (1 - F_1) \phi_2, \quad \phi = \{\sigma_k, \sigma_\omega, \beta\}; \quad \sigma_{k_1} = 0.85; \quad \sigma_{\omega_1} = 0.5;$$

$$\beta_1 = 0.075; \quad \sigma_{k_2} = 1; \quad \sigma_{\omega_2} = 0.856; \quad \beta_2 = 0.0828;$$

$$\beta^* = 0.09; \quad \alpha_1 = 0.31; \quad \gamma = \frac{\beta}{\beta^*} - \frac{\sigma_\omega \kappa^2}{\sqrt{\beta^*}}; \quad \kappa = 0.41.$$

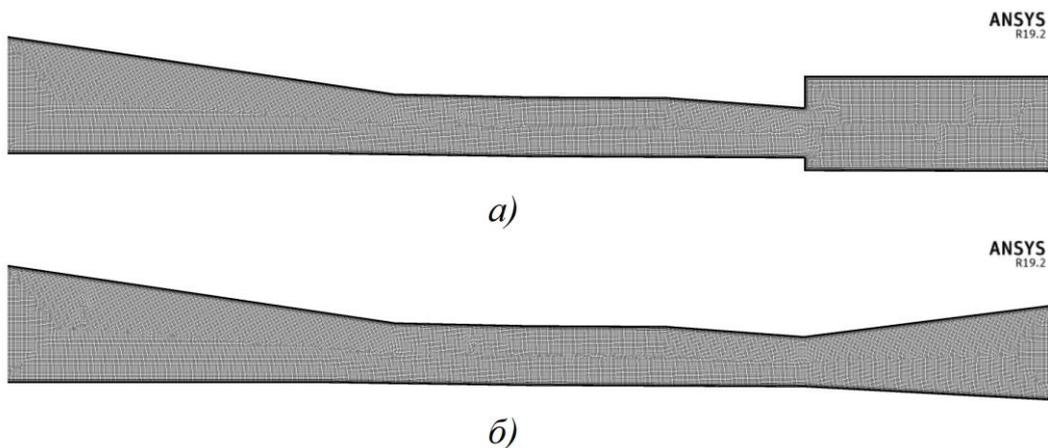
Шундай қилиб, Рейнольдс тенгламаларини ечиш имконияти яратилди.

ANSYS дастурида ҳисоблаш ишларини икки босқичда олиб борилди:

биринчи босқичда санитар сув ўтказиш иншоотининг қаралаётган соҳасини ҳозирги лойиҳавий ҳолати;

иккинчи босқичда таклиф қилинаётган кенгайиб боровчи қувур кўринишидаги схема.

Рейнольдс-Ўртача Навье-Стокс тенгламаларини чекли ҳажм усули билан ҳисобланди. Бунда муаммони ҳал этиш учун 220 минг тугун ва 110 минг элементдан иборат икки ўлчовли чекли ҳажмли тўрлар қурилди (5-расм).



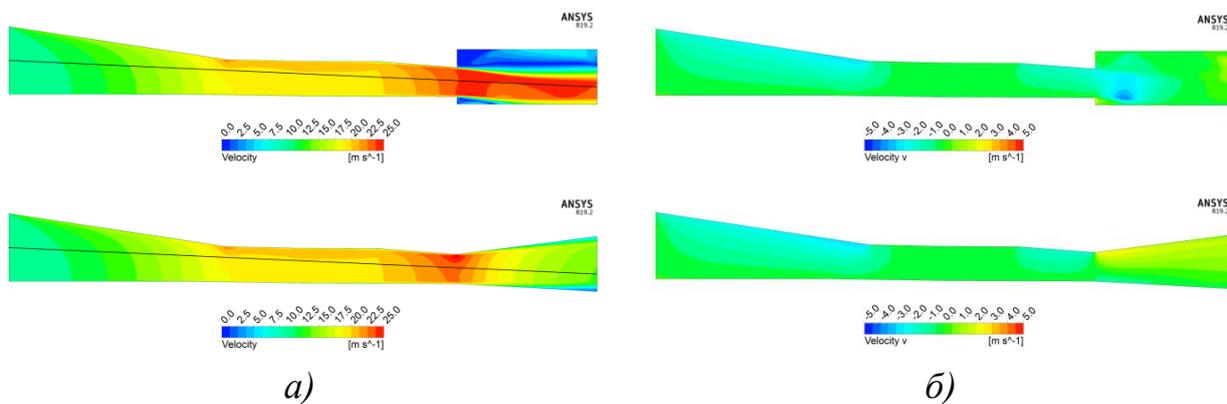
**5-расм. Ҳисоблаш тўри.**

***a* – санитар сув ўтказиш иншооти дастлабки схемаси; *b* - таклиф этилаётган кенгайиб борувчи қувур схемаси**

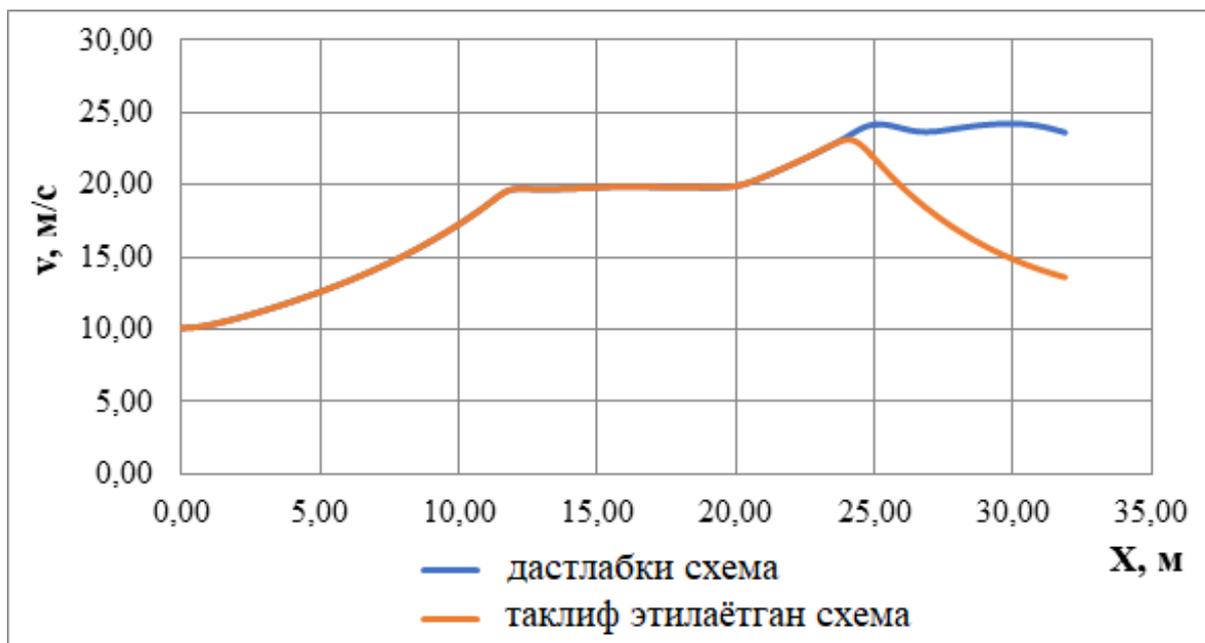
Санитар сув ўтказиш иншоотининг узунлиги бўйича оқим тезлигининг ўзгаришини кўриб чиқилди (6 *a*, *b* расмлар). Иншоотнинг дастлабки ва таклиф этилаётган схемасидаги оқим структураси бир-биридан кескин фарқ қилмоқда.

Иншоотнинг дастлабки схемасида оқимнинг сезилари тезланиши мавжуд бўлиб, у кўндаланг кесим юзасининг торайиши натижасида юзага келади ва иншоотнинг чиқиш қисмида вертикал тезлик кузатилди. Бунда оқимнинг бир қисми иншоот кўндаланг юзасининг кенгайиши бошланган қисмида юқорига ҳаракат қилади. Таклиф этилаётган схемада, аксинча, кўндаланг кесим юзасининг кенгайиши ва шунга мос равишда умумий оқим тезлигининг пасайиши кузатилди. Натижада оқимнинг уюрмавий ҳаракати бартароф этилиб, кавитацион эрозиянинг олди олинади, оқим тезлиги эса нисбатан камаяди.

Сув ўтказиш иншоотининг дастлабки ва таклиф этилаётган схемасидаги оқим тезликлари фарқини янада аниқроқ кўриш учун иншоот маркази бўйлаб *X* ўқи бўйича чизик ўтказилди ва оқим тезлигининг ўзгаришлари графиги қурилди (7-расм, *X* ўқи бўйича чизик 5-расмда кўрсатилган).

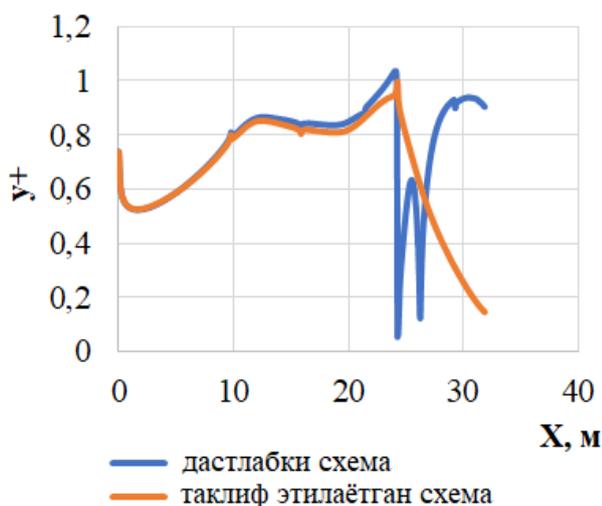


**6-расм. *a* - умумий тезлик майдонининг кўриниши; *b* - тезлик компонентларини кўриниши.**

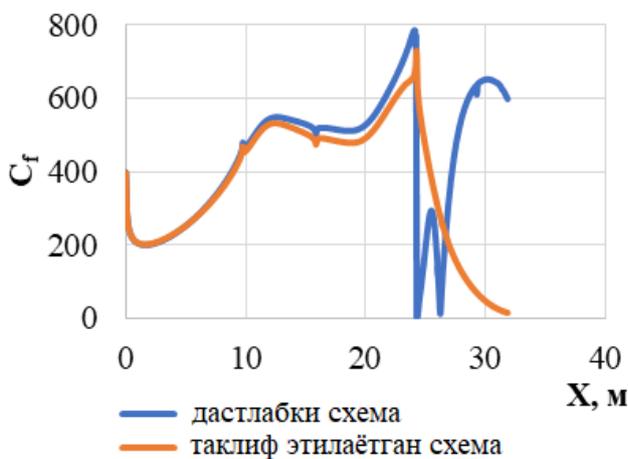


**7-расм. Санитар сув ўтказиш иншоотида X ўқи бўйича оқим тезлигини ўзгариши.**

Ҳисоблаш тўри. Қурилган ҳисоблаш тўри иншоот узунлиги бўйича пастки қисмида  $y +$  қиймати 1 дан ошмайди (8-расм). Ишқаланиш коэффициентини қиймати ҳам худди  $y +$  графигига мос тушади (9-расм).



**8-расм. Иншоот пастки девори бўйлаб  $y +$  ни тақсимланиши.**



**9-расм. Иншоот пастки девори бўйлаб ишқаланиш коэффициентини тақсимланиши.**

Ўтказилган соний тадқиқотлар натижалари Тўполанг санитар сув чиқариш иншоотида махсус муҳандислик тадбирлар ўтказиб, кавитация жараёнини содир бўладиган соҳаларни аниқлаш ва унинг олдини олиш бўйича ечимини аниқлаш имконини берди. Бунинг учун дала шароитида ўтказилган тадқиқотлар асосида олинган маълумотлар базасидан фойдаланилди.

## ХУЛОСА

**«Юқори оқим тезлигида вакуум шароитида ишлайдиган сув ўтказиш иншоотларининг самарадорлиги»** мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилди.

1. Тўполанг сув омбори ҳақида умумий маълумотлар, иншоот тузилиши, кўп йиллик гидрологик маълумотлар таҳлил қилиниб ҳозиги кунда иншоотда мавжуд муаммолар ўрганилди. Санитар сув ўтказиш иншооти ПК4+51 дан ПК4+96,67 гача қисми кенгроқ ўрганилиб, ушбу соҳада затворлар камераси жойлашганлиги ва шунинг қувурда кескин кенгайиш, қисқариш ҳолатлари учрайди. Ҳозирда сув ўтказиш иншооти орқали максимал сув чиқарилаётганлиги сабабли оқим тезлиги чегаравий қийматдан ошиб кетиши ҳисобига кавитацион эрозия содир бўлаётганлиги аниқланди.

2. Асосий сув чиқариш иншооти энергия сўндирувчи камералари деворларида оқимнинг юқори тезлиги ҳисобига кавитацион эрозияни жадал ривожланмоқда ва бу ҳолат иншоотдан тўлиқ фойдаланиш имконини бермайди. Бу эса ўз навбатида доимий максимал сув сарфини чиқаришга мўлжалланмаган санитар сув ўтказиш иншоотидан максимал фойдаланишни тақозо этмоқда. Ушбу ҳолат санитар сув ўтказиш иншоотида кавитацияни келтириб чиқариши аниқланди.

3. Санитар сув ўтказиш иншоотнинг қаралаётган қисми учун кавитация сони, унинг критик параметри ва нисбий кавитация босқичи аниланди. Унга кўра иншоот максимал сув ўтказиш режимида ишлаганда оқим тезлиги  $v_{\text{макс}} = 25$  м/с гача етиши оқибатида кавитациянинг жадаллашган ва суперкавитация ҳолатлари ҳисобланди.

4. Санитар сув ўтказиш иншоотини кескин  $90^\circ$  га кенгайган қисмини кенгайиб борувчи қувур кўринишда турли  $\alpha < 90^\circ$  бурчаклар учун оқим ҳаракати ўрганилди. Экспериментал тадқиқотлар кенгайиш бурчакларини критик кавитация параметрига таъсирини инобатга олиб ўтказилди ва кавитацион жараёни олдини олиш учун ушбу кенгайиш бурчагининг оптимал қийматлари аниқланди.

5. Ҳисобланган натижалар санитар сув ўтказиш иншооти қувурининг пастка ва юқорига  $90^\circ$  га кенгайган қисмидан 7,6 м масофагача қувурни кенгайиб бориш бурчагини оптимал қийматлари аниқланди. Унга кўра пастки кенгайиш бурчаги  $4^\circ$ , юқори кенгайиш бурчаги эса  $8^\circ$  га тенглиги ва ушбу кенгайиш бурчакларида нисбий кавитация босқичи пастки соҳа учун 2,8 марта, юқори соҳа учун 2,3 марта камайганлиги аниқланди.

6. Таклиф қилинаётган кенгайиб борувчи қувур схемаси қаралаётган соҳада кавитацион жараёни камайтирган бўлсада, лекин уни бутунлай бартараф этмади. Чунки кавитация жараёни фақатгина оқим йўналишида жойлашган нотекистик ўлчами, шакли ва унинг жойлашиш бурчакларидан ташқари оқим тезлигига ҳам боғлиқ. Ушбу шартларни ҳисобга олиб, иншоотда юз бераётган кавитация жараёнини олдини олиш учун оқим сарфи

$Q = 45 \text{ м}^3/\text{с}$  ва оқим тезлиги  $v_{\text{max}} = 17,02 \text{ м/с}$  чегаравий қийматлар аниқланди.

7. Юқори напорли оқим ҳаракатини математик моделлаштиришда Рейнольдс-Ўртача Навье-Стокс тенгламалари (Reynolds-Averaged Navier-Stokes RANS) тенгламаларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Чунки ҳозирда оқим ҳаракатини визуал тарзда кузатиш имконини берувчи кўплаб дастурларга ушбу тенгламлар системаси асос бўлиб хизмат қилади.

8. Қўлланилган моделда юқори оқим тезлигида ишловчи сув чиқариш иншоотларидаги нотекикликларни кавитация жараёни босқичига таъсирини ҳисобланиб, экспериментал моделда олинган натижалар билан қиёсий таққослаш мослик даражасини бериши аниқланди.

9. Ansys Fluent дастурида Тўполанг сув омбори санитар сув ўтказиш иншооти кавитация жадаллашган ботиқ соҳасини текислаш орқали кавитация жараёнини олдини олиш чора-тадбирлари ишлаб чиқилиб амалиётга тадбиқ қилинди. Яратилган математик моделни юқори оқим тезлиги ва вакуум шароитида ишловчи барча сув чиқариш иншоотлари учун қўллаш мумкин.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ 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»**

**ВОХИДОВ ОЙБЕК ФАРХОДЖОН УГЛИ**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИИ  
РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА ПРИ БОЛЬШИХ  
СКОРОСТЯХ ПОТОКА**

**05.09.07 - Гидравлика и инженерная гидрология**

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

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № В2022.4.PhD/Г3405.

Диссертация выполнена в Национальном исследовательском университете «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства».

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

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Базаров Дилшод Райимович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Янгиев Асрор Абдихамидович</b> доктор технических наук, профессор <b>Худайкулов Совет Ишанкулович</b> доктор технических наук, профессор
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Ташкентский архитектурно-строительный университет</b>

Защита диссертации состоится 24 ноября 2023 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета 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, д. 39. Тел.: (+99871) 237-09-71, факс: (+99871) 237-54-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (регистрационный номер № 234 Адрес: 100000, г.Ташкент, ул. Кары Ниязий, 39. Тел.: (+99871) 237-19-45, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Автореферат диссертации разослан 06 ноября 2023 г.  
реестр протокола рассылки № 234 06 ноября 2023 г.



**Т.З.Султанов**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней д.т.н., профессор

**Ф.А.Гаппаров**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**А.М.Арифжавов**  
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.** В мире связи с интенсивным развитием строительства в горных и предгорных районах гидроэнергетических и гидротехнических сооружений высокого и среднего напора, работающих при больших расходах воды, весьма актуальной задачей является интенсивное гашение кинетической энергии потока в водосбросных сооружениях. Ее целью является разработка экономичных и безкавитационных элементов нижнего бьефа, обеспечивающие надёжную работу гидроэнергетических и гидротехнических сооружений в мировых масштабах. Вместе с этим традиционные методы гашения кинетической энергии потока с помощью водобойных колодцев и стенок не всегда дают решение проблемы. С этой точки зрения большое значение имеют дополнительное регулирование кинетической энергии потока с помощью энергетических гасителей, разработка оптимальных методов гашения кинетической энергии высокоскоростного потока, повышение эффективности водопроводящих сооружений, работающих в условиях вакуума при высоких скоростях потока.

Одним из важных вопросов является предотвращение кавитационных процессов в водопропускных сооружениях, работающих в условиях высоких скоростей потока и вакуума, изучение влияния пульсации давления на кавитационное течение на поверхности и донной части гасителей энергии на стадии развития кавитации. На основе проведенных учеными научных исследований по изучению кавитации было разработано несколько типов не подвергаемых или редко подвергаемых эрозии гасителей, в которых определены особенности зависимости гидродинамических нагрузок на разных стадиях кавитации. Это позволило использовать гасители различных конструкций при больших расходах на водопропускных сооружениях гидроэнергетики и гидротехнических сооружений. С этой точки зрения важным является проведение научных исследований по предотвращению кавитационных процессов, возникающих как по направлению так и против направления потока, на участках водопропускных сооружений.

В нашей республике проводятся комплексные работы, направленные на повышение надежности гидротехнических сооружений при интенсивном строительстве гидроэнергетических и гидротехнических объектов, в частности, в обеспечении населения и отраслей промышленности электроэнергией и гарантированным водоснабжением сельского хозяйства. В частности, в стратегии развития Нового Узбекистана на период 2022-2026 годы, определены задачи «Реализации отдельной государственной программы по радикальному реформированию системы управления и экономии водных ресурсов»<sup>1</sup>, В Указе ПФ-6024 от 10 июля 2020 года об утверждении концепции на 2020-2030 годы, включающей «коренное усовершенствование и прозрачность системы прогнозирования, учета и формирования баз данных водных ресурсов; модернизация и развитие водохозяйственных объектов, автоматизация управления крупными

---

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан №ПФ-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

водохозяйственными объектами на основе цифровых технологий, внедрение современных технологий, позволяющих экономить электроэнергию и другие ресурсы». В реализации этих задач большое значение имеют научные исследования по повышению эффективности водопропускных сооружений, работающих в условиях высоких скоростей потока и вакуума, и совершенствованию методов расчета прочности конструкции в нижнем бьефе.

Данная диссертация в определенной степени служит для реализации задач, определенных в Указах Президента Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», № ПФ-5742 от 17 июня 2019 года «О мерах по эффективному использованию Земельных и водных ресурсов в сельском хозяйстве» и Постановлении № ПФ-6024 от 10 июля 2020 года «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы», № ПП-3286 от 25 сентября 2017 года «О мерах по совершенствованию системы охраны водных объектов» и других нормативно-правовых документах, относящихся к данному направлению.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан.** Исследования по данной работе выполнены в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

**Степень изученности проблемы.** Учеными проведено множество научных исследований, направленных на совершенствование математических моделей, алгоритмов расчета и конструкций, применяемых для борьбы с кавитацией на водопропускных сооружениях, работающих при высоких скоростях потока и в условиях вакуума. Учеными Н.П.Розановым, Р.М.Разаковым, Г.А.Воробьевым, В.М.Семеновым, Г.Н.Цедровым, Ю.П.Иноземцевым, Н. Н. Пашковым, Т. П. Проворовой, С. М. Слисским, И. С. Новиковой, А. Г. Журавлевым, А. Т. Ниеткалиевым, А. В. Ефимовым в своих работах были изучены и рассмотрены вопросы стадий возникновения кавитации путем выбора оптимальных конструкций, проанализированы способы предотвращения вредного воздействия кавитационных процессов на гидроэнергетические и гидротехнические объекты и внедрены разработанные рекомендации по снижению влияния кавитации на гидротехнические сооружения.

Изучение гасителей энергии различной конструкции для гашения энергии водного потока и предотвращения кавитационной эрозии, конструкции водобойных стенок, борьбы с эрозией под действием гидродинамических напряжений, а также повышение качества материалов покрытия, использованием аэрационных труб представлены в научных работах учёных из Узбекистана Файзуллаева Ж.Ф., Латипова К.Ш., Базарова Д.Р., Янгиева А.А., Обидова Б.М., Худайкулова С.И., Жонкобилова У.У., Усмоновой Н.А. и других.

В настоящее время недостаточно изучены вопросы, как выбора совершенных схем и специальных конструктивных решений, направленных на предотвращение кавитационных процессов на объектах высокого напора,

совершенствование гидравлически обоснованных методов расчета. Поэтому возникла необходимость в разработке и совершенствовании методов расчета по определению граничных значений скорости потока и разработке рекомендаций по предотвращению кавитационных процессов, возникающих на участках неравномерного движения в водопропускных сооружениях высокого напора.

**Связь темы диссертации с планом научно–исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационная работа выполнена в рамках научно – исследовательских работ Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» по теме №17/2021 «Повышение эффективности использования крупных гидроэнергетических объектов, крупных и средних насосных станций в республике, разработка рекомендаций по внедрению ресурсосберегающих технологий» (2021-2022 гг.).

**Целью исследования** является оценка кавитационных процессов на высоконапорных водопропускных сооружениях.

**Задачи исследований:**

анализ кавитационных процессов, происходящих на участке высоконапорных водопропускных сооружений;

совершенствование методики расчета стадий развития кавитации с учетом неравномерностей высоконапорных водопропускных сооружений;

на основе экспериментальных и натурных исследований разработана методика расчета предельного значения скорости потока с учетом стадий развития кавитационного процесса на участках высоконапорных водопропускных сооружений;

совершенствование двумерной математической модели, отображающей кавитационный процесс, с учетом изменения формы высоконапорных водопропускных сооружений;

разработка и внедрение мероприятий по предотвращению развития кавитации на неровных участках в высоконапорных водопропускных сооружениях.

**Объектом исследований** является санитарно-водопропускное сооружение Тупалангского водохранилища и имеющиеся неровности на сооружении.

**Предметом исследований** являются кавитационные процессы на высоконапорных водопропускных сооружениях, закон гидродинамического влияния стадии кавитации.

**Методы исследований.** При проведении исследований использованы экспериментальные, натурные и лабораторные методы, также общепринятые методы гидравлики, математические модели, основанные на законах гидромеханики и численные методы расчета.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

усовершенствована методика расчета стадий развития кавитации с учетом внезапного расширения трубопровода в высоконапорных водопропускных сооружениях;

разработана методика расчета предельного значения скорости потока с учетом уровней кавитации в высоконапорных водопропускных сооружениях; усовершенствована двумерная математическая модель, отображающая процесс кавитации, с учетом изменения формы высоконапорных водопропускных сооружений;

На основе программы ANSYS Fluent разработан метод прогнозирования области возникновения кавитационной эрозии в результате вихревого движения потока в водопропускных сооружениях.

**Практическая значимость исследования заключается в следующем:**

полученные результаты исследований позволяют определить влияние неровностей участков водопропускных сооружений на процесс кавитации;

полученные результаты и зависимости позволяют определить стадии развития кавитации на имеющихся разного размера неровностях;

полученные результаты позволяют рассчитать основные параметры потока, выходящего из водопропускных сооружения, оценить устойчивость элементов крепления, получить графические зависимости между расходом воды и напора;

метод расчета стадий развития кавитации, а также математическая модель, отображающая процесс кавитации позволяют предотвратить образование процесса кавитации на санитарном водопроводящем сооружении Туполангского водохранилища.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследования подтверждена общепринятыми методами исследования и полученных теоретических результатов практическими данными, сравнением результатов эксперимента с результатами других авторов в этом направлении исследований, а также внедрением результатов исследований. на практике.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов исследований заключается в возможности повышения надежности строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений посредством определения формирования и стадий кавитационных процессов, определения их влияния и устранения в высоконапорных водопропускных сооружениях водохранилищ и гидроэлектростанций.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что экономическая эффективность достигается за счет снижения затрат на строительство и длительной, надежной эксплуатацией, применяя конструктивные решения, учитывающие различные стадии кавитации на водопропускных сооружениях высоконапорных водохранилищ и гидроэлектростанций.

**Внедрение результатов исследований.** На основе метода оценки кавитационного эффекта, возникающего при высокой скорости течения в зонах высоконапорного водопропускного сооружения:

усовершенствованная методика устранения кавитационных процессов, возникающих в областях высоконапорных водопропускных сооружений и расчета гидродинамических напряжений в них внедрена в санитарно-водопропускном сооружении Туполангского водохранилища, принадлежащих унитарному предприятию «Туполанг ГЭС»,

подведомственному г. АО «Узбекгидроэнерго» (Справка Министерства водного хозяйства № 03/26-2670 от 6 декабря 2022 года). В результате удалось повысить надежность водопропускных сооружений Тупалангского водохранилища.

на основе экспериментальных и натуральных исследований внедрены методы определения стадий развития кавитационного процесса для участков объектов санитарно-технического водопереброса водохранилища Туполанг, принадлежащих унитарному предприятию «Туполанг ГЭС», подведомственному АО «Узбекгидроэнерго» (Справка Министерства водного хозяйства № 03/26-2670 от 6 декабря 2022 года). В результате удается предотвратить кавитационные процессы на неровных участках водопропускного сооружения.

в акционерном обществе «Узсувлойиха» наряду с используемыми методами расчета внедрены гидравлический и на основе программного продукта ANSYS расчетные методы по снижению имеющихся неровностей на высоконапорных водопропускных сооружениях, а также по предотвращению водоворотного движения потока, возникающего в зоне образования вакуума при проектировании гидротехнических сооружений (Справка Министерства водного хозяйства № 03/26-2670 от 6 декабря 2022 года). В результате усовершенствован метод определения интенсивности кавитационных процессов с учетом направления потока в водопропускном сооружении.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждены и одобрены на 3 международных и 3 республиканских научно – практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 18 научные работы. Из них 5 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации доктора философии (PhD), 3 республиканском и 10 в зарубежных журналах, входящих в рейтинг базы Scopus.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 98 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** на основе научных исследований, проводимых в Республике Узбекистан и мире обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, объект и предмет исследования, показаны соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники в Республике Узбекистан, изложена научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, освещена научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования, опубликованных работах, структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ кавитационных процессов в высоконапорных водопропускных сооружениях»** приведены анализ исследований, посвященных изучению кавитационных процессов в высоконапорных водопропускных сооружениях за рубежом и в нашей стране, стадии развития кавитационных процессов, влияние неравномерностей на участках водопропускных сооружений на изменение давления и скорости, методы борьбы с кавитационной эрозией, возникающей в результате имеющихся неравномерностей на участках высоконапорных водопропускных сооружений.

Большое внимание уделялось изучению математических моделей, алгоритмов и алгоритмов расчета в направлениях изучения крупномасштабного воздействия кавитации на гидротехнические сооружения, высоконапорные водопропускные сооружения и их элементы и конструкции, используемые на практике для борьбы с кавитацией.

Вопросами определения вредного воздействия кавитации на высоконапорных водопропускных сооружениях и методов борьбы с ними занимались Н.П.Розанов, Р.М.Разаков, Г.А.Воробьев, В.М.Семенков, Г.Н. Цедров, Ю.П.Иноземцев, Н.Н.Пашков, Т.П.Проворова, С.М.Слиссский, И.С.Новикова, А.Г.Журавлев, А.Т.Нияткалиев, А.В.Ефимов и другие.

Учеными из Узбекистана Файзуллаевым Ж.Ф., Латиповым К.Ш., Базаровым Д.Р., Янгиевым А.А., Обидовым Б.М., Худайкуловым С.И., Усмоновой Н.А. и рядом других в работах проведены результаты исследования гасителей различных конструкций для гашения энергии водного потока и предотвращения кавитационной эрозии, водобойной стенки, борьбы с эрозией под действием гидродинамических напряжений и повышения качества материалов покрытия с использованием аэрационных труб.

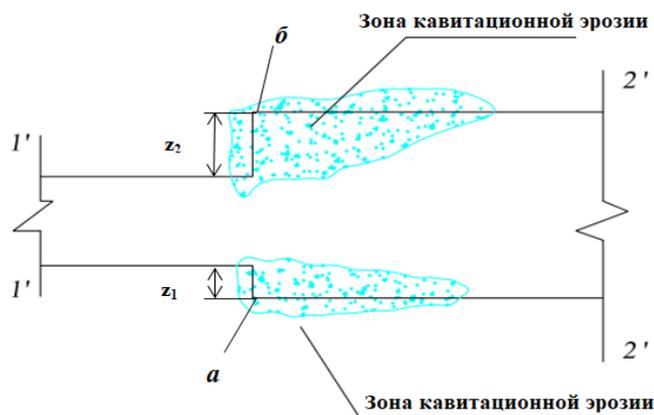
На основе анализа первой главы даны выводы о кавитационном процессе и его предотвращении, возникающем в результате резкого увеличения скорости потока и снижения гидродинамического давления в нижней бьефе гидротехнических сооружений. На основе проведенного научного анализа определены цели и задачи диссертационной работы.

Вторая глава диссертации под названием **«Полевые исследования по изучению кавитационных процессов в водопропускных сооружениях»** посвящена исследованиям, проведенным на объекте исследований, методам использованным при проведении исследований, анализу собранных данных,

проблемам на объекте исследований и гидравлическим расчетам пустот, образующихся на водопропускных сооружениях.

На начальном этапе исследований были оценены проектные данные и текущее состояние санитарно-водопропускного сооружения Туполангского водохранилища. Соответственно, исходя из текущих условий работы объекта, были проанализированы существующие проблемы.

В ходе полевых исследований, проведенных на водопропускных сооружениях Туполангского водохранилища, установлено, что процесс кавитации наблюдается в основном и санитарно-водопропускных сооружениях. Строительство водохранилища ведется уже много лет, и его объем с каждым разом увеличивается. С увеличением объемов водохранилища приходится максимально и непрерывно эксплуатировать водопропускное сооружение. Это вызывает кавитационную эрозию в энергогасящих камерах основного водопропускного сооружения. Пропускная способность сооружения составляет  $6,8 \text{ м}^3/\text{с}$ , в аварийных ситуациях она рассчитана на пропуск расхода до  $120 \text{ м}^3/\text{с}$ .



**Рисунок 1. Продольный разрез рассматриваемого участка на объекте санитарного-водопропускного сооружения: *a* – нижняя и *b* – верхняя часть кавитационной зоны.**

Полевые исследования проводились на участке санитарно-водопропускного сооружения Туполангского водохранилища от ПК4+51 до ПК4+96,67, где расположена затворная камера, потому что на этом участке имеется множество неровностей наземных частей водопропускного сооружения из-за резких перепадов и установленных плоских затворов.

Продольный разрез конструкции и часть, подвергшаяся кавитационной эрозии, показаны на рис. 1. Оценка кавитационного процесса проводилась для нижнего (*a*) и верхнего (*b*) участков, которые резко расширились на  $90^\circ$ .

Расчеты проводились в следующем порядке:

для нижнего (*a*) поля при резком расширении:

Средняя скорость течения в рассматриваемом участке составила  $33,08 \text{ м/с}$ , относительный расход воды составил  $27,27 \text{ м}^2/\text{с}$ . Максимальный расход воды санитарно-водопропускного сооружения  $60 \text{ м}^3/\text{с}$ , ширина трубы на рассматриваемом участке  $2,2 \text{ м}$ , разница уровней на рассматриваемом участке от уровня воды принималась равной  $y = 960 - 824 = 107,6 \text{ м}$ .

Динамический скорость потока определялась следующим образом:

$$u_* = 0,5 \cdot v_\infty \sqrt{C'_f} = 0,99 \text{ м/с}, \quad \text{здесь:} \quad C'_f = f\left(\frac{s}{\Delta}\right) - \text{коэффициент}$$

сопротивления. Характеристическая скорость потока:

$$v_{\text{хар}} = u_* \left(5,75 \cdot lg \frac{z_1}{\Delta} + 8,5\right) = 20,51 \text{ м/с}. \quad \text{Глубина потока } 0,82 \text{ м}.$$

Характеристическое значение давления:  $H_{\text{хар}} = h + H_a = 9,87 \text{ м}$ . Стадия кавитации:  $K = \frac{H_{\text{хар}} - H_{\text{нас}}}{v_{\text{хар}}^2 / 2g} = \frac{9,87 - 0,24}{20,51^2 / 2 \cdot 9,81} = 0,45$ . Относительная стадия

кавитации:  $\sigma = \frac{K}{K_{\text{кр}}} = \frac{0,45}{2,08} = 0,22$ .  $K_{\text{кр}} = 2,08$ .

для верхнего (б) поля при резком расширении:

Характеристическая скорость потока  $22,77 \text{ м/с}$ ,  $H_{\text{хар}} = 9,87 \text{ м}$ ,  $K = 0,36$ ,  $\sigma = 0,17$ .

Результаты приведенного выше расчета кавитации показали, что относительная стадия кавитации в рассматриваемой участке (а) равна  $\sigma = 0,22$  что является ускоренным состоянием кавитации. На участке (б) относительная стадия кавитации равна  $\sigma = 0,17$ , и в этой части наблюдается процесс суперкавитации. Из исследований известно, что  $K/K_{\text{кр}} = 0,2 \div 0,6$  вызывает серьезные повреждения элементов конструкции на ускоренных стадиях кавитации, когда средняя скорость потока воды составляет 18-30 м/с.

Третья глава диссертации под названием «**Экспериментальные исследования по оценке кавитационных процессов в высоконапорных водопропускных сооружениях**» приведены результаты экспериментальных исследований выбранного объекта исследований на участке возникновения процесса кавитации. Представлена устройство конструкция лабораторной установки, результаты проведения экспериментальных исследований по оценке интенсивности процесса кавитации.

Моделирование течения на объектах проводилось при одновременном соблюдении критериев подобия Фруда и Рейнольдса.

При моделировании принят критерий Фруда:

$$Fr = \frac{v^2}{gh} = idem, \quad (1)$$

здесь:  $v, h$  – средняя скорость и глубина потока;  $g$  – ускорение свободного падения.

Моделирование расходов и скоростей велось потока по следующим формулам:

$$Q_M = \frac{Q_H}{M^{5/2}}, \quad (2)$$

$$v_M = \frac{v_H}{M^{0,5}}, \quad (3)$$

здесь:  $Q_M, v_M$  и  $Q_H, v_H$  – расходы и скорости потока на модели и на натуре,  $M$  – масштаб модели.

Кроме того, наблюдалась автомодельность изучаемых явлений, то есть выполнялись следующие условия:

$$Re_m > Re_{m,кр}, \quad (4)$$

Значение числа Рейнольдса на модели масштаба (1:50) определялось следующим образом:

$$Re_m = \frac{v_m \cdot h_m}{\nu}, \quad (5)$$

Для наблюдения явления кавитации в приближении необходимо выполнение следующего условия:

$$K_H = \eta K_M, \quad (6)$$

здесь  $K_H$  и  $K_M$  – число кавитации для натуральных и лабораторных исследований;  $\eta$  – поправочный коэффициент к масштабу модели (с учетом масштаба модели и числа Рейнольдса ( $Re_m > 10^5 \div 10^6$ ) принято равным  $\eta = 1,0$ ).

Процесс кавитации не возникает при выполнении следующего условия:

$$K > K_{кр}, \quad (7)$$

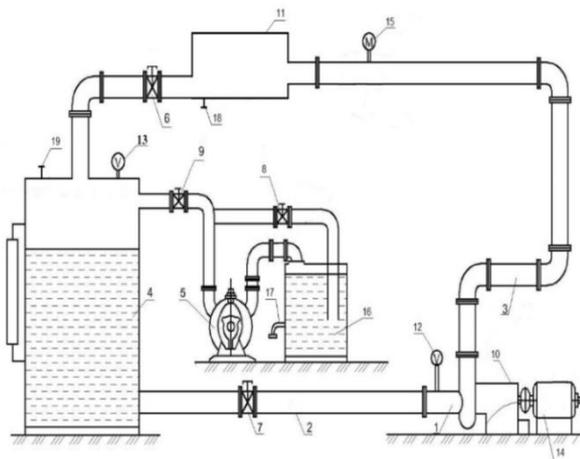
Число кавитации обычно рассчитывается по следующей формуле:

$$K = \frac{H_{хар} - H_{пар}}{v_{хар}^2 / 2g}, \quad (8)$$

здесь:  $H_{хар} = H_a + h$  ( $H_a$  – давление над уровнем воды на приборе равно атмосферному давлению при полевых исследованиях, м. вод. ст.);  $h$  – высота воды над неровностью, м. вод. ст.;  $v_{хар}$  – характеристическая скорость течения воды на рассматриваемой участке, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H_{пар}$  – для чистой воды принимаем давление водяного пара, м. вод. ст.

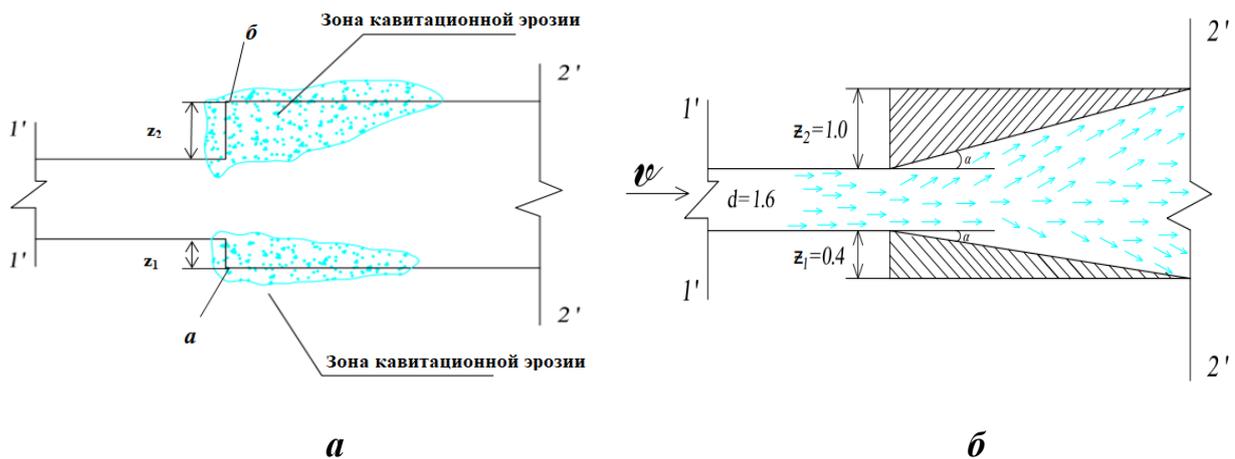
В лабораторных исследованиях наблюдались различные стадии кавитации, контролируя вакуум. При получении результатов лабораторных исследований расчеты проводились на основе закона кинематического подобия. Расход воды по модели составлял 2,5-3,4 л/с, расход воды санитарно-водопрпускного сооружения 45...60 м<sup>3</sup>/с (масштаб модели 1:50).

Для проведения экспериментальных исследований был построен кавитационный стенд в учебно-научной лаборатории кафедры «Насосные станции и гидроэлектростанции» Национального исследовательского университета «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», который представляет собой герметичный лоток. Его ширина 35 см, длина 60 см, высота 40 см, он подключен к резервуару с водой. На рисунке 2 показаны: 1-центробежный насос типа К, 2-всасывающая труба, 3-напорная труба, 4-резервуар, 5-вакуумный насос, 6, 7, 8, 9-задвижки, 10-вал, 11-герметичный лоток, 12, 13-вакуумметры, 14-электродвигатель, 15-манометр, 16-бак, соединенный с вакуумным насосом, 17-кран для опорожнения бака с водой, 18-кран для опорожнения герметичного лотка.



**Рисунок 2. Схема и рисунок кавитационного стенда.**

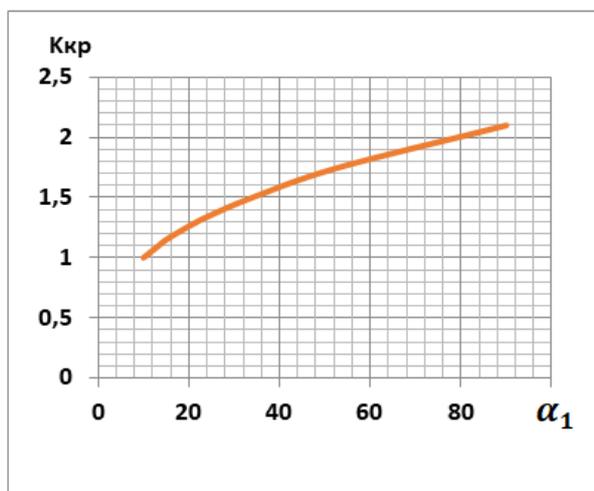
Расчеты кавитации показали, что развитая кавитация возникает в той части, где санитарно-водопроектное сооружение резко расширяется под углом  $90^\circ$  вверх и вниз. Для решения этой проблемы конструкцию нижней и верхней части пришлось расширить (рис. 3 а, б).



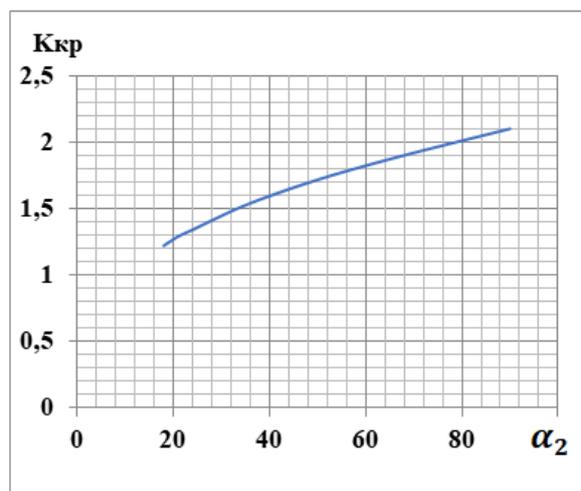
**Рисунок 3. Схема участка санитарно-водопроектного сооружения, в которой возникает кавитация. а-исходное состояние; б — схема предлагаемого расширительного трубопровода.**

При уменьшении критического параметра кавитации  $K_{кр}$  число кавитации  $K$  увеличивается. Из схемы на рис. 3 и формулы определения критического параметра кавитации для этого случая  $K_{кр} = 0,466\sqrt[3]{\alpha}$  видно, что этот показатель зависит от углов расширения трубы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Длина герметично закрытого лотка в лабораторном устройстве составляет 60 см. Через каждые 10 см расстояния по длине лотка определялись значения критического параметра кавитации путем изменения углов расширения трубы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  и строились график функциональной зависимости угла расширения трубы (рис. 4 а, б).



*a* – для нижнего участка



*b* – для верхнего участка

**Рисунок 4. Функциональная зависимость критического параметра кавитации от угла расширения трубы.**

Часть санитарно-водопроектного сооружения, разделенная на две трубы, сливается на расстоянии 7,6 м от резко расширенной части. Таким образом, до этого расстояния трубопровод можно расширить равномерно. По данному заданному расстоянию определялись углы расширения  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  для нижней и верхней областей.

Для расширения нижней части трубы  $\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,05$ ,  $\alpha_1 = 4^\circ$ . Для расширения верхней площади трубы  $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,13$ ,  $\alpha_2 = 8^\circ$ . Параметр кавитации для нижней зоны  $K_{кр} = 0,74$ , относительная стадия кавитации равна:  $\sigma_n = \frac{K_n}{K_{кр}} = \frac{0,45}{0,74} = 0,61$ . Параметр кавитации для верхней зоны  $K_{кр} = 0,466 \sqrt[3]{\alpha_2} = 0,466 \cdot \sqrt[3]{8^\circ} = 0,93$ , относительная стадия кавитации равна:  $\sigma_v = \frac{K_v}{K_{кр}} = \frac{0,36}{0,93} = 0,39$ .

При натурных исследованиях относительная стадия кавитации оказалась равной  $\sigma_n = 0,22$  для нижней зоны и  $\sigma_v = 0,17$  для верхней зоны, а при лабораторных исследованиях  $\sigma_n = 0,61$  и  $\sigma_v = 0,39$  в расширяющейся трубе, соответственно. Анализ показал, что относительная стадия кавитации снижается в 2,8 раза для нижней зоны и в 2,3 раза для верхней зоны. Но полностью кавитацию устранить не удалось, поскольку скорость потока в санитарно-водопроектных сооружениях высокая. Поэтому, если установить предельное значение скорости, сооружение сможет надежно работать без кавитации.

Четвертая глава диссертации под названием “**Эффективность водопроектных сооружений работающих в условиях вакуума при больших скоростях потока**” посвящена разработке математической модели основанной на двухмерных гидродинамических уравнениях высоконапорного водного потока и области их применения, и приведены результаты исследований полученных на основе программного обеспечения

по изучению свойств потоков санитарного водопропускного сооружения Туполангского водохранилища.

Для моделирования течения жидкости в высоконапорные водопропускные сооружения (в условии отсутствия внешних сил) решаются уравнения Навье-Стокса. В зависимости от типа течения, определяемого безразмерным параметром – числом Рейнольдса  $Re$ .

$$Re = \frac{\vartheta \cdot h}{\nu} \quad (9)$$

здесь:  $\vartheta$  – скорость на входе, м/с;  $h$  – характерный размер сечения потока, м;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с.

Число Рейнольдса по входным параметрам составляет  $10^7$ , что предполагает наличие развитого турбулентного потока.

Уравнения Навье-Стокса можно записать в виде:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{V} = 0 \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \vec{V} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{V} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p \end{cases} \quad (10)$$

В случае турбулентных потоков решаются осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса (в дальнейшем RANS, Reynolds-Averaged Navier-Stokes, или же уравнения Рейнольдса). Суть осреднения – представление актуальных (мгновенных) параметров потока в виде:

$$u = \bar{u} + u' \quad (11)$$

здесь:  $\bar{u}$  – осредненная по времени величина, вычисляемая за период осреднения  $T$ ;  $u'$  – пульсационное значение (пульсация).

$$\bar{u}(x, y, z, t) = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} u(x, y, z, \tau) d\tau \quad (12)$$

Осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса будут иметь вид:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \bar{\vec{V}} = 0 \\ \frac{\partial \bar{\vec{V}}}{\partial t} + (\bar{\vec{V}} \cdot \vec{\nabla}) \bar{\vec{V}} = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \bar{\vec{V}} - \frac{1}{\rho} \operatorname{grad} \bar{p} + \operatorname{Div}(\Pi) \\ \Pi_{ij} = -\overline{u'_i u'_j} \end{cases} \quad (13)$$

Из уравнения (13) для замыкания необходимо определить компоненты тензора  $\Pi$ , в частности, в данной работе используется гипотеза Буссинеска, суть которой заключается в определении тензора через турбулентную вязкость  $\mu_t$ :

$$\Pi_{ij} = \frac{2\mu_t}{\rho} \left( \overline{S_{ij}} - \frac{1}{3} \overline{S_{kk}} \delta_{ij} \right), \quad \overline{S_{ij}} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad (14)$$

Для определения турбулентной вязкости используются модели турбулентности. В данной работе использовалась  $k$ - $\omega$  SST модель турбулентности, которая формулируется следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\mu_t}{\rho} \equiv \nu_t = \frac{\alpha_1 k}{\max(\alpha_1 \omega, \Omega F_2)} \\ \frac{\partial k}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \cdot k = \nabla \cdot [(v + \sigma_k \nu_t) \nabla k] + P_k - \beta^* \omega k \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \omega = \\ = \nabla \cdot [(v + \sigma_\omega \nu_t) \nabla \omega] + \frac{\gamma}{\nu_t} P_k - \beta \omega^2 + (1 - F_1) \frac{2\sigma_\omega \omega}{\omega} (\nabla k) \cdot (\nabla \omega) \end{array} \right. \quad (15)$$

Прочие соотношения и коэффициенты, замыкающие модель турбулентности, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} F_1 &= \tanh \left( \left\{ \min \left[ \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\sigma_\omega k}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\}^4 \right) \\ F_2 &= \tanh \left[ \left( \max \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right)^2 \right]; P_k = \min \left( \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, 10\beta^* k \omega \right) \\ CD_{k\omega} &= \max \left( \frac{2\rho\sigma_\omega}{\omega} (\nabla k) \cdot (\nabla \omega), 10^{-10} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Коэффициенты модели:

$$\begin{aligned} \phi &= F_1 \phi_1 + (1 - F_1) \phi_2, \phi = \{\sigma_k, \sigma_\omega, \beta\}; \sigma_{k_1} = 0.85; \sigma_{\omega_1} = 0.5; \\ \beta_1 &= 0.075; \sigma_{k_2} = 1; \sigma_{\omega_2} = 0.856; \beta_2 = 0.0828; \\ \beta^* &= 0.09; \alpha_1 = 0.31; \gamma = \frac{\beta}{\beta^*} - \frac{\sigma_\omega \kappa^2}{\sqrt{\beta^*}}; \kappa = 0.41. \end{aligned}$$

Таким образом, имеется возможность решить замкнутую систему уравнений Рейнольдса.

Расчеты в программе ANSYS проводились в два этапа:

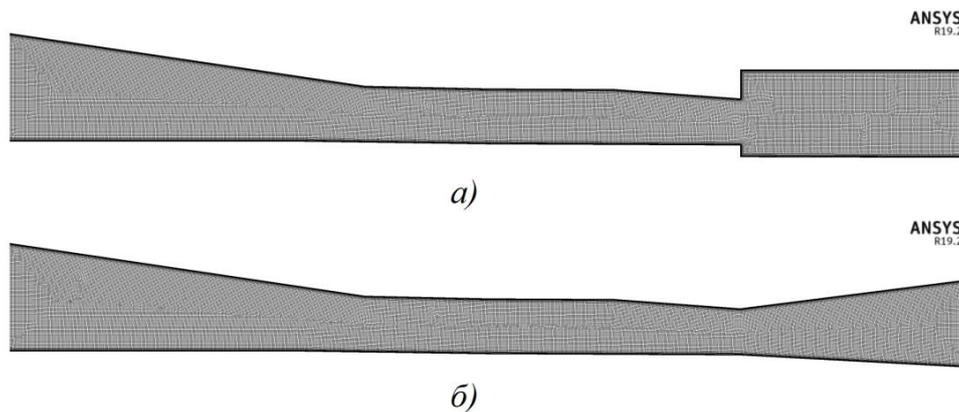
на первом этапе оценивается текущее исходное состояние рассматриваемой участка санитарно-водопропускного сооружения;

на втором этапе предложенная схема в виде расширяющегося трубопровода.

Осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса решались конечно-объемным методом. Для решения задачи были построены двумерные конечно-объемные сетки с 220 тыс. узлов и 110 тыс. элементов соответственно (рис.5.).

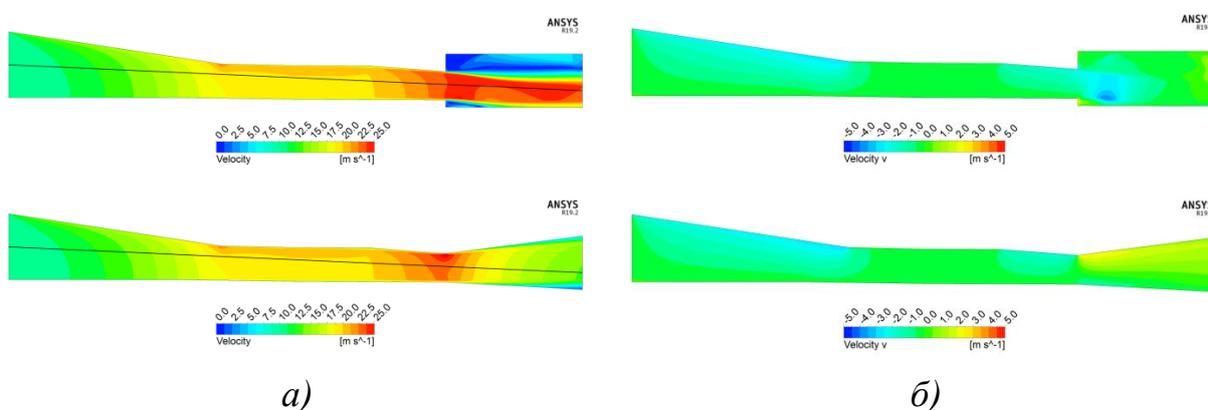
Рассмотрим изменение скорости потока по длине санитарно-водопропускного сооружения (рис. 6 а, б). Структура потока в исходной и предлагаемой сильно отличается.

В исходной конструкции наблюдается существенное ускорение потока, возникающее из-за сужения живого сечения вследствие инерционных эффектов. При этом в исходном варианте наблюдается отрицательная вертикальная скорость на участке около выхода. В предложенная варианте расчёта, имеет место расширение живого сечения и, соответственно, снижение местной скорости потока. При этом часть потока идёт наверх в участке около выхода.



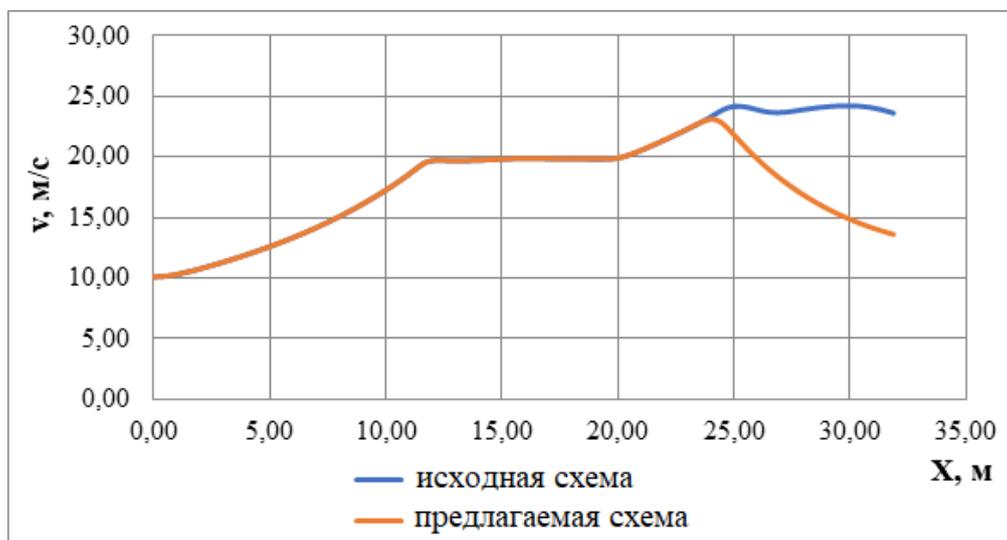
**Рисунок 5. Расчётные сетки.**

*a* – исходная схема объекта санитарно-водопропускного сооружения;  
*б* - схема предлагаемого расширяемого трубопровода.



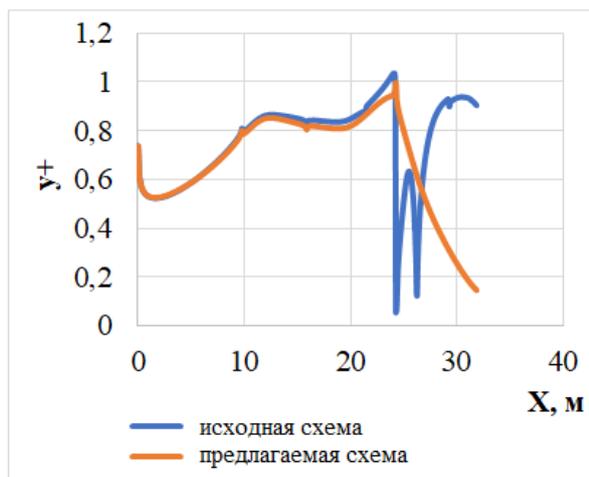
**Рисунок 6. *a* - вид общего поля скоростей; *б* – вид компонентов скорости.**

Чтобы более наглядно увидеть разницу скоростей потока в исходной и предлагаемой схеме санитарно-водопропускного сооружения, по оси *X* была проведена линия по центру сооружения и построен график изменения скорости потока (рисунок 7, линия вдоль оси *X* показана на рисунке 5).

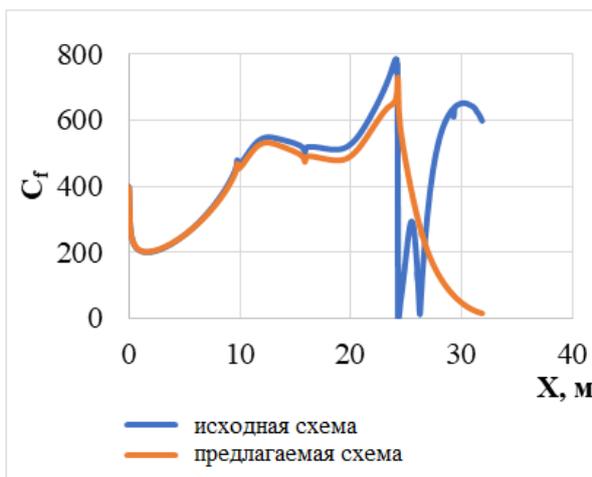


**Рисунок 7. Изменение скорости потока по оси *X* санитарно-водопропускного сооружения.**

К вопросу о качестве сетки. Построенная сетка, например, обеспечивает значение  $y^+$  меньше 1 на всем протяжении нижней стенки (рис. 8.). Аналогичным образом показан также коэффициент трения (см. рис. 9.).



**Рисунок 8. Распределение  $y^+$  по нижней стенке.**



**Рисунок 9. Распределение коэффициента трения по нижней стенке.**

Результаты проведенных численных исследований позволили провести специальные инженерные мероприятия для санитарно-водопроектного сооружения Туполангского водохранилища, определить места возникновения кавитационного процесса и определить пути их предотвращения. Для этого использовалась база данных, полученная на основе полевых исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследования, выполненного по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Эффективность подпропускных сооружений работающих в условиях вакуума при больших скоростях потока», представлены следующие выводы.

1. Изучены текущие проблемы водопропускных сооружений Туполангского водохранилища на основе анализа общего материала Туполангского водохранилища, состава сооружений и многолетних гидрологических данных. Подробно исследован участок сооружения санитарно-водопроектного комплекса от ПК4+51 до ПК4+96,67 и установлено, что из-за расположения затворной камеры на этом участке происходит резкое расширение и сужение трубопровода. В настоящее время через санитарное водопроектное сооружение при пропуске максимальных расходов воды, происходит кавитационная эрозия из-за превышения предельного значения скорости потока.

2. Из-за высокой скорости потока на стенках камер гасителей излишней энергии санитарного водпропускного сооружения интенсивно развивается кавитационная эрозия, и такая ситуация не позволяет использовать сооружение в полной мере. Это, в свою очередь, требует максимального

использования санитарного водопропускного сооружения, который не рассчитан на постоянный максимальный пропуск воды. Было обнаружено, что это состояние вызывает кавитацию в водопропускных сооружениях.

3. Для рассматриваемой участка санитарного водопропускного сооружения рассчитано число кавитации, его критический параметр и относительная стадия кавитации. По нему установлено, что при работе сооружения в режиме максимального пропуска расходов при достижении скорости потока до  $v_{max} = 25$  м/с отмечается увеличение интенсивности кавитации и возникновение суперкавитации..

4. Было изучено движение потока для различных углов  $\alpha < 90^\circ$  расширения резкорасширяющегося на  $90^\circ$  участка трубопровода санитарно-водопропускного сооружения. Экспериментальные исследования проводились с учетом влияния углов расширения на критический параметр кавитации и были рассчитаны оптимальные значения угла расширения для предотвращения кавитационного процесса.

5. Определены оптимальные значения расширения участка трубопровода санитарного водопропускного сооружения длиной 7,6 м от участка резкого расширения на  $90^\circ$ , развитого вверх и вниз. Согласно этого для нижнего угла расширения  $4^\circ$  и для верхнего угла расширения  $8^\circ$  относительная стадия кавитации уменьшается в 2,8 раза для нижней зоны и в 2,3 раза для верхней зоны.

6. Предложенная схема расширяющейся трубы хоть и уменьшила процесс кавитации в рассматриваемой зоне, но не устранила его полностью. Потому что процесс кавитации зависит не только от размера, формы и углов неровностей, расположенных по направлению потока, но и от скорости потока. Учитывая эти условия, были установлены предельные значения расхода равной  $Q = 45$  м<sup>3</sup>/с и скорости потока  $v_{max} = 17,02$  м/с для не допущения возникновения в сооружении процесса кавитации.

7. При математическом моделировании высоконапорного потока целесообразно использовать осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса RANS. Потому что эта система уравнений в настоящее время является основой многих программ, позволяющих визуально наблюдать за поведением потока.

8. В используемой математической модели оценено влияние неровностей водопропускных сооружений, работающих при высоких скоростях потока, на процесс кавитации и установлено, что сравнение с результатами, полученными в экспериментальной модели, дает определенную степень совместимости.

9. В программе Ansys Fluent были разработаны и реализованы на практике мероприятия по предотвращению процесса кавитации путем проектирования в виде постепенного расширяющегося участка трубопровода на участке резкого расширения водопропускного сооружения Туполангского водохранилища.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES  
DSc. 03/30.12.2019. T.10.02 AT THE «TASHKENT INSTITUTE OF  
IRRIGATION AND AGRICULTURAL MECHANIZATION ENGINEERS»  
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

**«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS»  
NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY**

**VOHIDOV OYBEK FARKHODJON UGLI**

**EFFICIENCY OF UNDERPASS FACILITIES OPERATING IN  
VACUUM CONDITIONS AT HIGH FLOW RATES**

**05.09.07 – Hydraulics and Engineering Hydrology**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PHD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2023**

The Doctor of Philosophy (PhD) thesis topic in Technical Sciences was registered at the Higher Attestation Commission, under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under No. B2022.4.PhD/TZ405.

The dissertation work is written at the «Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers» National research university.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, and English (resume)) on the website of the Scientific Council ([www.tiame.uz](http://www.tiame.uz)) and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

<b>Scientific adviser:</b>	<b>Bazarov Dilshod Raimovich</b> Doctor of technical sciences, professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Yangiev Asror Abdikhamidovich</b> Doctor of technical sciences, professor <b>Khudaikulov Sovet Ishankulovich</b> Doctor of technical sciences, professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Tashkent University of Architecture and Construction</b>

The defense of the thesis will be «24» November 2023 at 14<sup>00</sup> 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» National research university (Address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Tel.: (+99871) 237-09-71, Fax: (+99871)-237-54-79. e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

The doctoral dissertation can be found at the Information resource centre of the «Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers» National research university (registered with No. 294 at the address: 100000, Tashkent, Kari-Niyazi street 39. Phone: (+99871) 237-19-45, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Abstract of dissertation was sent «06» November 2023.  
(register of the distribution protocol No. 294 from «06» Novem 2023).



**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, professor

**A.M.Arifzhanov**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees.  
doctor of technical sciences, professor

## **INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of (PhD) philosophy)**

**The purpose of the study** is to assess cavitation processes at high-pressure culverts.

**The object of research** is the sanitary culvert of the Tupolang reservoir and the existing irregularities in the structure.

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

the methodology for calculating the stages of cavitation development has been improved, taking into account the sudden expansion of the pipeline in high-pressure culverts;

a methodology has been developed for calculating the limiting value of flow velocity taking into account cavitation levels in high-pressure culverts;

a two-dimensional mathematical model representing the cavitation process has been improved, taking into account changes in the shape of high-pressure culverts;

based on the ANSYS Fluent program, a method has been developed for predicting the area of occurrence of cavitation erosion as a result of vortex flow movement in culverts.

**Implementation of research results.** Based on the method for assessing the cavitation effect that occurs at high flow speeds in areas of high-pressure culverts:

an improved methodology for eliminating cavitation processes arising in the areas of high-pressure culverts and calculating hydrodynamic stresses in them was introduced in the sanitary culvert structure of the Tupolang reservoir, owned by the unitary enterprise “Tupolang HPP”, subordinate to the city of Uzbekhydroenergo JSC (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 03 /26-2670 dated December 6, 2022). As a result, it was possible to increase the reliability of the culvert structures of the Tupalang Reservoir.

based on experimental and field studies, methods have been introduced to determine the stages of development of the cavitation process for sections of the sanitary water transfer facilities of the Tupolang Reservoir, belonging to the unitary enterprise “Tupolang HPP”, subordinate to JSC “Uzbekhydroenergo” (Certificate of the Ministry of Water Resources No. 03/26-2670 dated 6 December 2022). As a result, it is possible to prevent cavitation processes in uneven areas of the culvert.

in the joint stock company JSC «O‘ZSUVLOYIHA», along with the calculation methods used, hydraulic and calculation methods based on the ANSYS software product have been introduced to reduce existing irregularities in high-pressure culverts, as well as to prevent the whirlpool movement of the flow that occurs in the vacuum formation zone when designing hydraulic structures (Certificate from the Ministry of Water Resources No. 03/26-2670 dated December 6 2022). As a result, the method for determining the intensity of cavitation processes has been improved, taking into account the direction of flow in a culvert.

**Volume and structure of the dissertation.** The contents of the thesis are: “Introduction”, Chapters (I, II, III, IV), “Conclusions”, and list of references and applications. The volume of the dissertation is 98 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Bazarov D.R., Vokhidov O.F., Lutsenko L.A., Sultanov S. Restrictions applied when solving one-dimensional hydrodynamic equations. Energy, Environmental and Construction Engineering, Vol. 1, pp. 299-305. Springer International Publishing, 2020.

2. Bazarov D., Vokhidov O. Extinguishing Excess Flow Energy in Spillway Structures. Energy, Environmental and Construction Engineering, Vol. 3, pp. 535-545. Springer International Publishing. 2021.

3. Обидов Б., Вохидов О., Шомуродов А. Гидродинамические воздействия потока на плиту водобоя при наличии кавитации. Аграр-гидромелиоратив илимий-оммабоп журнали “Сув ва Ер Ресурслари”, 2020 гг. (05.00.00; № 3).

4. Umurzakov U., Obidov B., Vokhidov O., Musulmanov F., Ashirov B., Suyunov J. Force effects of the flow on energy absorbers in the presence of cavitation. EDP Sciences. Vol. 264, 2021.

5. Базаров Д., Уралов Б.Р., Норкулов Б., Вохидов О., Райимова И. Влияние кавитационно-гидроабразивного износа и изнашивания лопастных гидромашин на гидравлическое сопротивление всасывающей линии насосных установок. Проблемы архитектуры и строительства № 4, 2021, стр. 38-41. (05.00.00; № 3).

6. Obidov B., Vokhidov O., Suyunov J., Nishanbaev K., Rayimova I., Abdukhalilov A. Experimental study of horizontal effects of flow on non-erosion absorbers in the presence of cavitation. EDP Sciences. Vol. 264, p. 03051. 2021.

7. Bazarov D., Obidov B., Norkulov B., Vokhidov O., Raimova I. Hydrodynamic Loads on the Water Chamber with Cavitating Dampers. Cham: Springer International Publishing. pp. 17-24. 2022.

8. Bazarov D., Vatin N., Kattakulov F., Vokhidov O., Raimova I. Irrigation sedimentation tanks in the bed of the pumping station inlet channels. EDP Sciences, Vol. 274, 2021.

9. Норкулов Б.Э., Сейтимбетов А.М., Вохидов О.Ф., Курбанов А.И., Жамалов Ф.Н. Анализ русловых процессов в нижних бьефах плотины. Технические науки. № 68, 2021, стр. 32-36. (05.00.00; № 3).

10. Базаров Д.Р., Уралов Б.Р., Хакимова Г., Вохидов О., Қаюмов А., Хидоятов М. Марказдан қочма ва ўқий насос агрегатларидан фойдаланиш ва уларнинг самарадорлигини ошириш усуллари. Агро Процессинг журнали. № 4(3), 2022, 15-22 б. (05.00.00; № 3).

11. Bazarov D., Krutov A., Sahakian A., Vokhidov O., Raimov K., Raimova I. Numerical models to forecast water quality. In AIP Publishing, Vol. 2612, 2023.

12. Uralov B., Vokhidov O., Artikbekova F., Nazarov B., Rayimova I. Influence of cavitation-hydro abrasive wear and wear of vane hydraulic machines on the hydraulic resistance of the suction line of pumping units. In AIP Publishing Vol. 2612, pp. 020024, 2023.

### **II бўлим (II часть; II part)**

13. Bazarov D., Vatin N., Obidov B., Vokhidov O., Rakhimov A., Akhmadi M. Hydrodynamic effects of the flow on the slab of the stand in the presence of cavitation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1030, p. 012116, 2021.

14. Obidov B., Vokhidov O., Tadjieva D., Saidkhodjaeva D., Kurbanova U., Isakov A. Hydrodynamic effects on the flow elements of the downstream devices in the presence of cavitation. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1030, p. 012114. 2021.

15. Obidov B., Choriev R., Vokhidov O., Rajabov M. Experimental studies of horizontal flow effects in the presence of cavitation on erosion-free dampers. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 883, 2020.

16. Bazarov D., Norkulov B., Vokhidov O., Uljaev F., Ishankulov Z. Two-dimensional flow movement in the area of protective regulatory structures. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 890, p. 012162. 2020.

17. Obidov B., Vokhidov O., Shodiev B., Ashirov B., Sapaeva M. Hydrodynamic loads on a water drain with cavitation quenchers. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 883, p. 012011. 2020.

18. Bazarov D., Markova I., Norkulov B., Vokhidov O. Hydraulic aspects of the layout of head structures during water intake from lowland rivers. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1015, 2021.

Автореферат «IRRIGATSIYA VA MELIORATSIYA» илмий журнали  
таҳририятида таҳриридан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме)  
тилларидаги матнлари мослиги текширилди (10.10.2023 й.)

Bosishga ruxsat etildi: 28.10.2023-yil  
Bichimi: 60x84<sup>1/16</sup>, “Times New Roman”  
garniturada raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i 2,8. Adadi 100. Buyurtma: № 270  
Tel: (99) 3832 99 79; (99) 817 44 54  
Guvohnoma reestr № 10-3279  
“IMPRESS MEDIA” MCHJ bosmaxonasida chop etildi.  
Manzil: Toshkent sh., Yakkasaroy tumani, Qushbegi ko‘chasi, 6 uy