

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА МЕЛИОРАЦИЯ ИНСТИТУТИ,  
ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ  
ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН  
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.23.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ  
ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА МЕЛИОРАЦИЯ ИНСТИТУТИ**

**ЯНГИЕВ АСРОР АБДИХАМИДОВИЧ**

**ЮҚОРИ БОСИМЛИ ГИДРОУЗЕЛЛАРДА УЮРМА ШАХТАЛИ СУВ  
ТАШЛАГИЧЛАР КОНСТРУКЦИЯСИНИ, ҲИСОБЛАШ  
АСОСЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ ВА УЛАРНИНГ  
ФОЙДАЛАНИШ ДАВРИДАГИ ИШОНЧЛИЛИГИ**

**05.09.06 - Гидротехника ва мелиорация қурилиши**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2016**

**УЎК: 626/627.03.042.019.3**

**Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата докторской диссертации**  
**Content of the abstract of doctoral dissertation**

**Янгиев Асрор Абдихамидович**

Юқори босимли гидроузелларда уярма шахтали сув ташлагичлар

конструкциясини, ҳисоблаш асосларини такомиллаштириш ва уларнинг

фойдаланиш давридаги ишончлилиги ..... 3

**Янгиев Асрор Абдихамидович**

Совершенствование конструкций, расчетного обоснования и

эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов

высоконапорных гидроузлов ..... 31

**Yangiev Asror Abdihamidovich**

Improving the structure, design justification methods and operational reliability

estimation of vortex shaft dischargers of high pressure hydrosystems

..... 59

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works ..... 85

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА МЕЛИОРАЦИЯ ИНСТИТУТИ,  
ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА-ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ  
ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН  
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
16.07.2013.Т.23.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ  
ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА МЕЛИОРАЦИЯ ИНСТИТУТИ**

**ЯНГИЕВ АСРОР АБДИХАМИДОВИЧ**

**ЮҚОРИ БОСИМЛИ ГИДРОУЗЕЛЛАРДА УЮРМА ШАХТАЛИ СУВ  
ТАШЛАГИЧЛАР КОНСТРУКЦИЯСИНИ, ҲИСОБЛАШ  
АСОСЛАРИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ ВА УЛАРНИНГ  
ФОЙДАЛАНИШ ДАВРИДАГИ ИШОНЧЛИЛИГИ**

**ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2016**

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.5.Т363 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент ирригация ва мелiorация институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифасининг [tiim.uz](http://tiim.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим портали [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net) манзилларига жойлаштирилган.

**Илмий маслаҳатчи:**

**Бакиев Маншариф Рузметович**  
Қорақалпоғистон Республикасида хизмат кўрсатган фан арбоби, техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Гловацкий Олег Яковлевич**  
техника фанлари доктори

**Мухаммадиев Мурадулло**  
**Мухаммадиевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Ҳикматов Фазлиддин**  
география фанлари доктори, профессор

**Етакчи таъкилот:**

Тошкент архитектура – қурилиш институти

Диссертация ҳимояси Тошкент ирригация ва мелiorация институти, Тошкент архитектура-қурилиш институти ва Тошкент темир йўл муҳандислари институтилари ҳузуридаги 16.07.2013.Т.23.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил 05 июль соат 14<sup>00</sup>даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100000, Тошкент, Қори Ниязий кўчаси, 39-уй. Тел: (99871) 237-22-67; Факс: (99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiim.uz](mailto:admin@tiim.uz)).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент ирригация ва мелiorация институтининг Ахборот-ресурс марказида таништиш мумкин (03 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент ш, Қори Ниязий кўчаси, 39-уй. Тел: (99871) 237-19-45.

Диссертация автореферати 2016 йил 18 июнь кунин тарқатилди.  
(2016 йил 18 июндаги № 02 рақамли реферат раёномаси).



  
**М.Х.Ҳамидов**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
Олий кенгаш раиси, к.-х.ф.д., профессор

  
**Т.З.Султаёв**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи  
Илмий кенгашнинг илмий котиби, т.ф.д., доцент

  
**М.Р.Бакиев**  
Фан доктори илмий даражасини берувчи илмий  
кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Бугунги кунда дунёда қурилган гидроузелларда ҳар йили кўплаб авариялар содир бўлиб, улардан 35 фоизи сув омборидаги сув ташлагич иншоотларнинг ишдан чиқиши туфайли тўғон устидан сувнинг ўтиши натижасида содир бўлган<sup>1</sup>. Тўғонларнинг бундай йирик ҳалокатли авариялари АҚШ, Франция, Италия, Бразилия, Жанубий Корея ва бошқа давлатларда юз берган. Гидротехника қурилиши амалиётида 100 м-дан ортиқ босимли иншоотларда оқим тезлиги 50...60 м/с-га етиши, сув олиб кетувчи туннелларда гидродинамик босимнинг ошиши, кавитацион эрозия ва пастки бьефда ювилишдан химоя қилувчи конструкцияларнинг бузилиши кузатилади. Шу сабабли, юқори босимли гидроузелларни лойихалаш ва қуришда уларни ишончли ва хавфсиз ишлаши, бир пайтнинг ўзида сув олиб кетувчи тракт ичида оқимнинг ортиқча энергиясини сўндириш ва уни кавитацион бузилишдан химоя қилишда сув ташлагич иншоотларида бурама оқимларни кўллашга, ҳалокатли тошқин сувларини беталофат ўтказувчи чуқур жойлашадиган сув ташлагичларни яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ўзбекистонда ирригация мақсадлари учун сув омборларидан фойдаланиш ва реконструкция қилишга оид тадбирларни самарали ташкил этиш бўйича кенг қамровли чора тадбирлар амалга оширилмоқда. Бу борада, жумладан, 2013-2017 йилларда 40 млн. м<sup>3</sup> ҳажмли 8 та сел-сув омборларини қуриш ва реконструкция қилиш<sup>2</sup>, иншоотларнинг конструкцияларини такомиллаштириш, уларнинг ишончли ва хавфсиз ишлашини таъминлаш, сув ташловчи иншоотларнинг сув ўтказиш қобилияти ва ишлаш тартибларини яхшилаш, самарали фойдаланиш механизмларини ишлаб чиқишни такомиллаштириш.

Дунёда юқори босимли сув омборли гидроузелларда уюрма шахтали сув ташлагичлар конструкцияларини, уларни ҳисоблаш асосларини такомиллаштириш ва уларнинг фойдаланиш давридаги ишончлилигини аниқлашга алоҳида аҳамият қаратилмоқда. Бу борада мақсадли илмий тадқиқодларни, жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: уюрма шахтали сув ташлагичларда ҳаво тортилиши шароитида тангенциал айлантирувчи мосламали ярим чегараланган цилиндрик қувурдаги дисперс бурама оқимнинг математик моделини ишлаб чиқиш; уюрма шахтали сув ташлагичларнинг ҳаво тортилиши шароитида гидравлик ҳисоблаш услубиятини ишлаб чиқиш; ҳаво тортилиши шароитида бурама оқимдаги тезликлар, босим ва солиштирма энергия эпюраларининг тарқалишини ҳисоблашнинг ЭҲМ дастурини ишлаб чиқиш; сув олиб кетувчи трактда янги

<sup>1</sup>Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации связанные с гидротехническим строительством //Журнал “Гидротехническое строительство” – Москва, 2009. -№12. С.1-16.

<sup>2</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 19 апрелдаги ПҚ 1958-сонли “2013-2017 йиллар даврида суғориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини янада яхшилаш ва сув ресурсларидан оқилона фойдаланиш чора-тадбирлари тўғрисида”ги қарори

энергия сўндирувчи мосламани ишлаб чиқиш; ҳаво концентрацияси ва сув олиб кетувчи тракт конструкциясининг бурама оқим структурасига ва оқим энергиясининг сўнишига бўлган таъсирини аниқлаш, уюрма шахтали сув ташлагичнинг эксплуатацион ишончилигини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 1999 йил 24-мартдаги ПФ-2272-сон «Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузурида катта ва алоҳида муҳим сув хўжалиги объектларининг техник ҳолатини ҳамда бехатар ишлашини назорат қилиш «Давсувхўжаликназорат» давлат инспекция-сини ташкил этиш тўғрисидаги» Фармони, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 1999 йил 16 ноябрдаги 499-сон ««Гидротехника иншоотлари-нинг хавфсизлиги тўғрисида»ги Ўзбекистон Республикаси Қонунини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2004 йил 30 мартдаги 150-сон «Тошкент ирригация ва мелиорация институтини ташкил этиш тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши нинг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг V. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>3</sup>.** Сув ташлагичларда бурама оқимни қўллаб, сув олиб кетувчи тракт ичида оқим энергиясини сўндириш масалалари бўйича йўналтирилган кенг қамровли илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Бордо университети (Франция), Болонья университети (Италия), McGill (Канада), UCDAVIS University (АҚШ), Kyushu University (Япония), Berlin TU (Германия), University of Natural Resources and Life Sciences (Австрия), Москва Давлат қурилиш университети, Москва Давлат табиатни муҳофаза қилиш университети (Россия), Тошкент ирригация ва мелиорация институтида (Ўзбекистон) олиб борилмоқда.

Сув ташлагичларда бурама оқимни қўллаб, сув олиб кетувчи тракт ичида оқим энергиясини сўндириш масалаларига оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: сув олиб кетувчи тракт узунлиги бўйича оқимнинг кинетик

<sup>3</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи F.H.Knapp. Ausfluss. uberfall und durchfluss in Wasserbau// VKarksruhe, Verlag G. Braun. 2002. pp. 502-517; C.Drioli. Esperienze su intallazioni con pozzo d: scarico a vortices// "L' Energia Elettrica", 1993, Xo 6, pp. 399-409; M.Pica. Scarication a vortice// L'Energia Elettrica. 2006. vol. 47, №4 pp. 271-234; D.Jeanpierre, A.Lachal. Dissiipation d'energie dans un puits a vortex// La Houille Blanche. 1966. vol. 21, №7 pp. 85-92; Gidroulic modelling of vertical dropshaft structures – International conference on the Hydraulic modelling of civil Engineering structures. London. Sept. 1982; P.Acrers, E.S.Grump. The vortex drop// The Inst. Of Civil Engineers. Proceeding. London: 2000. vol. 16, №8 pp. 443-442; H.Stefan. Betrachtungen sur Wirkunasweise von wirbelfallsehachten// Die Bautechnik. 1988. vol.45. №7, pp. 221-226 ва бошқа манбалар асосида фойдаланилган.

энергиясини сўндирувчи конструкциялари ишлаб чиқилган (Болонья, Италия), уюрма затворли ва қарши уюрмали сув ташлагичлар конструкциялари яратилган (Москва Давлат қурилиш университети); уюрма шахтали сув ташлагичларни гидравлик ҳисоблаш услубиятлари, бурама оқимларнинг асосий тавсифларини аниқлаш бўйича математик моделлар ишлаб чиқилган (Бордо, Франция; Москва Давлат табиатни муҳофаза қилиш университети, Россия).

Дунёда бурама оқимларни қўллаган ҳолда сув ташловчи иншоотларни тадқиқ қилиш бўйича қатор, жумладан, куйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: сув ташлагич тракти ва пастки бьефнинг хавфсиз ва ишончли ишлашини таъминлашга қаратилган сув олиб кетувчи туннелда оқимнинг энергиясини самарали сўндирадиган сув ташловчи иншоотларнинг янги конструкцияларини ишлаб чиқиш; сув ташлагичларни ҳисоблаш услубиятларини такомиллаштириш, уларнинг ҳар хил ишлаш шароитларида бурама оқим структурасини баҳолаш моделлари, алгоритми ва ЭХМда ҳисоблаш дастурлари ҳамда уюрма сув ташлагичларнинг ишлашини мониторинг қилишда компьютерлаштирилган тизим тузилмасини ишлаб чиқиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Уюрма шахтали сув ташлагичлар конструкциялари, улардаги бурама оқим структураси, гидравлик ҳисоблаш услубиятлари К.Дриоли, М.Випарелли, М.Пик, Ф.Кнапп (Болонья университети), Д.Жанпиерра ва А.Лашаля, П.Акерс ва Е.Крамп (Бордо университети), Х.Стефан, А.Клейкшрот (UCDAVIS University), Т.Х.Ахмедов, Х.П.Заиров, С.М.Слиский (Москва Давлат қурилиш университети), Н.Н. Розанова, Н.Ханов (Москва Давлат табиатни муҳофаза қилиш университети) ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Чуқур жойлашган уюрма сув ташлагичлар конструкцияларини яратиш, уларни гидравлик ҳисоблаш услубиятларини такомиллаштириш, бурама оқим математик моделини яратиш масалалари билан боғлиқ тадқиқотлар бир қатор олимлар томонидан олиб борилган, жумладан, Г.И. Кривченко, А.П. Мордасов, А.М. Темирханов, А.Л. Зуйков, Б.А. Животовский, Р.С. Гальперин, Н.Н. Розанова, Г.Н. Цедров ва бошқалар. Шунингдек, бурама оқим структурасини ўрганиш асосан цилиндрик сув ўтказувчилар учун ўтказилган бўлиб, хусусан бу билан А.Я. Милович, Б.А. Пышкин, К.С. Бекхол, А. Червинский, Н.А.Чигер, Б.А. Животовский, А.П. Мордасов, В.В. Волшаник, И.С.Новикова, Н.Н.Розанова ва бошқалар шуғулланганлар ҳамда маълум даражадаги ижобий натижаларга эришилган.

Ҳозирги вақтда сув ташлагич трактида оқимнинг ортикча кинетик энергиясини сўндириш бўйича кўпгина таклифлар маълум. Сув ташлагич сув олиб кетувчи тракти узунлиги бўйича қатор диафрагмалар кўринишида қўшимча қаршилиқни киритиш йўли билан энергия йўқолишининг кўпайишига эришилади. А.С.Абелев таклиф қилган юқори босимли чуқур жойлашган босимли сув туширгичларда кетма-кет затворларни ўрнатиш схемаси самарали энергия сўндириш усули ҳисобланади. Бундан ташқари, А.Г.Чанишвили таклиф қилган босимли энергия сўндиргич схемалари, яъни

шахтали сув урилма кудукли туннелли сув ташлагич, босимли сув ташлагичлар трактида ўрнатилган кескин кенгаювчи мослама, Майка туридаги ясси ва диафрагмали затворлар билан жихозланган сўндиргич камерали сув ташлагичлар мавжуд. Ҳозирги вақтда ҳал қилиниши керак бўлган қатор муаммолар мавжуд. Оқимни айлантирувчи сув ташлагичларни ҳисоблашнинг мавжуд усуллари аниқлаштиришни талаб қилади ва қатор ҳолатларда бундай иншоотларни лойиҳалаштиришда кутиладиган натижаларни олишга имкон бермайди. Тангенциал сув айлантирувчининг геометрик шакли ва сув олиб кетувчи тракт конструкциясининг бурама оқим структурасига таъсири шахтадан ҳаво тортилиши шароитларида етарли даражада ўрганилмаган. Ҳисоблашнинг мавжуд назарий усуллари бурама оқимнинг гидравлик структурасига ҳаво концентрациясининг таъсирини ҳисобга олмайди, уярма сув ташлагичларнинг фойдаланишдаги ишончлилигини аниқлаш тадқиқот қилинмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент ирригация ва мелиорация институти илмий тадқиқот ишлари режасининг 2.8-«Гидротехника иншоотлари конструкциясини такомиллаштириш, ҳисоблаш асосларини ишлаб чиқиш, лойиҳалаштириш ва хавфсизлигини таъминлаш» (2004-2015); UB-ABS-20 МСХ «Фойдаланила-ётган гидротехника иншоотларининг ишончлилигини ўрганиш ва уларнинг ишлаш хавфсизлигини ошириш бўйича тадбирлар ишлаб чиқиш» бўйича АҚШ лойиҳаси (2003-2005); Ўзбекистон Республикаси Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг «Фойдаланилаётган ва реконструкция қилинаётган сув омборли гидроузеллар техник ишончлилигини ошириш бўйича тадбирлар ишлаб чиқиш» (2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013), «Давсувхўжаликназорат» давлат инспекциясининг «Сув омборлари ва гидроузеллар техник ҳолатини текшириш» мавзуларида хўжалик шартномалари (2012-2014); КХА-14-02 «Грунт тўғонларнинг ишончли ва хавфсиз ишлашини таъминловчи, уларнинг конструктив элементларини такомиллаштириш» (2012-2014) мавзусидаги амалий лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** шахта орқали жадал ҳаво тортиб ишлайдиган тангенциал айлантирувчи мосламали уярма сув ташлагичлар конструкцияси, ҳисоблаш асосларини такомиллаштириш, уларнинг фойдаланиш давридаги ишончлилигини баҳолаш усуллари ишлаб чиқишдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

уярма шахтали сув ташлагичларда ҳаво тортилиши шароитида тангенциал айлантирувчи мосламали ярим чегараланган цилиндрлик қувурдаги дисперс бурама оқимнинг математик моделини ишлаб чиқиш;

уярма шахтали сув ташлагичларнинг ҳаво тортилиши шароитида гидравлик ҳисоблаш услубиятини ишлаб чиқиш;

ҳаво тортилиши шароитида бурама оқимдаги тезликлар, босим ва солиштирма энергия эпюраларининг тарқалишини аниқлаш;

сув олиб кетувчи трактда янги энергия сўндирувчи мосламани ишлаб чиқиш;

ҳаво концентрацияси ва сув олиб кетувчи тракт конструкциясининг бурама оқим структурасига ва оқим энергиясининг сўнишига бўлган таъсирини аниқлаш;

уюрма шахтали сув ташлагичнинг бузилмасдан ишлашини авария сценариясини тузиш ҳамда эксплуатацион ишончилигини баҳолаш усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида юқори босимли сув омборли гидроузеллардаги лойиҳалаштирилаётган уюрма шахтали сув ташлагичлар ва фойдаланилаётган тупроқ тўғонли сув омборли гидроузеллар (шу жумладан, Чорвоқ, Тўполанг, Ҳисорак ва Чимкўрғон сув омборлари) қаралади.

**Тадқиқотнинг предмети** уюрма шахтали сув ташлагичлардаги оқим энергиясини сўндириш мосламаси, шахта орқали ҳаво тортилиши шароитидаги бурама оқим моделларини яратиш механизми, алгоритмлари, дастурий воситалари ва сув ташлагич ишончилиги ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида математик ва гидравлик моделлаштириш, эксперимент натижаларга ишлов бериш, ҳисоблашнинг ЭХМ дастурларини яратиш усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

уюрма шахтали сув ташлагичларнинг ҳаво тортилиши шароитида гидравлик ҳисоблаш услубияти ишлаб чиқилган;

тангенциал айлантирувчи мослама ва бурама оқимнинг гидравлик қаршиликлари аниқланган;

сув олиб кетувчи трактда янги энергия сўндирувчи мослама ишлаб чиқилган;

ҳаво концентрацияси ва сув олиб кетувчи тракт конструкциясининг бурама оқим структурасига ва оқим энергиясининг сўнишига бўлган таъсири асосланган;

уюрма шахтали сув ташлагичнинг бузилмасдан ишлашини авария сценарияси тузилган ҳамда эксплуатацион ишончилигини баҳолаш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижаси** қуйидагилардан иборат: ҳаво тортилиши шароитида бурама оқимдаги тезликлар, босим ва солиштирма энергия эпюраларининг тарқалиши аниқланган; уюрма шахтали сув ташлагичларда ҳаво тортилиши шароитида тангенциал айлантирувчи мосламали ярим чегараланган цилиндрик қувурдаги дисперс (ҳаво аралашган) бурама оқимнинг математик модели ишлаб чиқилган;

уюрма сув ташлагичлар сув олиб кетувчи тракти узунлиги бўйича туннел девори ёнида кавитация ҳолатини баҳолаш, девор қопламаси қалинлигини аниқлашга имкон берувчи бурама оқимдаги тезликлар, босим ва солиштирма энергия эпюраларининг тарқалишларини ҳисоблаш учун математик модел ва ЭХМ дастури ишлаб чиқилган (№ DGU 03451, № DGU

уюрма сув ташлагичларнинг сув олиб кетувчи туннелида қисқа масофада оқим энергиясини сўндириш учун янги энергия сўндирувчи мослама ишлаб чиқилган (№ FAP 01104);

уюрма сув ташлагичларнинг сув ўтказиш қобилиятини аниқлаш учун ҳаво тортилиши шароитида тангенциал айлантирувчи мослама ва бурама оқимнинг гидравлик қаршиликлари аниқланган;

тангенциал айлантирувчи мосламали уюрма сув ташлагичларни лойиҳалашда бурама оқимнинг зарурий гидравлик параметрларини ҳисоблаш учун ҳаво тортилиши шароитида гидравлик ҳисоблаш услубияти такомиллаштирилган;

уюрма шахтали сув ташлагичнинг эксплуатацион ишончилигини баҳолаш усули ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Ўлчашларда асбоблар аниқчилигини баҳолаш билан, эксперимент натижаларини назарий маълумотлар билан таққослаш орқали, асосий назарий тушунчаларни ишлаб чиқишда физиканинг умумий қонунлари ва синовдан ўтган математик усуллардан фойдаланиш билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти яратилган ҳаво аралашган бурама оқимларни математик моделлаштириш назариясини ривожлантириш, оқим энергиясини сўндирувчи янги мосламани ишлаб чиқиш, ҳисоблаш услубиятларини такомиллаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти яратилган ҳаво аралашган бурама оқимнинг математик модели, такомиллашган гидравлик ҳисоблаш услубиятлари юқори босимли уюрма шахтали сув ташлагичларни лойиҳалашда қўлланилади. Бундан ташқари, яратилган ЭҲМ дастури сув олиб кетувчи туннел девори ёнида кавитация ҳолатини баҳолаш, иншоотни эксплуатация қилиш ишончилиги каби масалаларни ечишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Уюрма шахтали сув ташлагич сув олиб кетувчи тракти ичида энергияни сўндириш конструкцияси ва уларни ҳисоблаш асослари ҳамда фойдаланиш давридаги ишончилиги “Ўзсувтаъмирфойдаланиш” Республика бирлашмасига қарашли сув омборларида, жумладан, Ҳисорак сув омбори, Чимкўрғон ва Пачкамар сув омборларида, “Гидропроект” АЖ томонидан қурилиши давом этаётган Тўполанг сув омбори сув ташлагич иншооти лойиҳасининг битта варианты сифатида қабул қилинган (Ўзбекистон Республикаси Қишлоқ ва сув хўжалиги вазирлигининг 2016 йил 18 февралдаги 04/30-147 – сон маълумотномаси). Диссертация натижаларининг амалиётга жорий қилиниши юқори босимли сув омборларининг сув чиқарувчи иншоотларини пастки бьефларида ювилиш жараёнларининг олдини олиш, экологик вазиятнинг яхшиланишига ҳамда уларнинг ишончли ва ҳавфсиз ишлаши таъминлашга имкон берган. Шунингдек, тадқиқот натижалари бўйича Тўполанг сув омбори қурилишида таклиф қилинган вариантда капитал маблағларнинг 40

фоиздан ортиқ тежалишига эришилган.

10

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 22 та илмий-техник, шу жумладан 4 та халқаро анжуманларда муҳокама қилинган: “Ўзбекистон шароитида гидротехника иншоотлари, насос станцияларни лойиҳалаштириш, қуриш ва эксплуатация қилишни такомиллаштириш” (Тошкент, ТИҚХМИИ, 1994-2005 йй.), “Гидротехника иншоотлари ишончлилиги ва хавфсизлиги муаммолари” (Тошкент, ТИМИ, 2006 й.), “Қишлоқ ва сув хўжалиги замонавий муаммолари” (Тошкент, ТИМИ, 2007-2015 йй.), “Механиканинг замонавий муаммолари ва истиқболлари” (Тошкент, Механика институти, 2006 й.), “Ўзбекистон Республикаси мелиорацияси ва сув хўжалиги замонавий муаммолари, истиқболлари” (Тошкент, ТИМИ, 2008 й.), “Қишлоқ ва сув хўжалиги ижтимоий-иқтисодий ва экологик муаммолари” (Россия, Москва, 2010 й); “И Уркумбаев ўқишлари” (Қозоғистон, Тараз, 2013);

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича 40 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 16 та мақола, жумладан 14 таси республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши.** Диссертация таркиби кириш, олти боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 197 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Юқори босимли туннелли сув ташлагичларда энергияни сўндиришнинг замонавий усуллари»** деб номланган биринчи бобида юқори босимли туннелли сув ташлагичларда энергияни сўндиришнинг замонавий усуллари бўйича, шу жумладан бурама оқимларни ўтказгандаги ишлаши ҳолатларидаги адабиётлар шарҳи келтирилган. Сув ташлагич иншоотлар сув олиб кетувчи трактидаги бурама оқимнинг ҳаракати масаласи бўйича ўрганишларнинг замонавий ҳолати, уярма сув ташлагичлар гидравлик ҳисоби масалалари, бурама оқимлар асосий характеристикалари таҳлил қилинган.

Ҳозирги пайтда сув ташлагич трактида оқимнинг ортиқча кинетик энергиясини сўндириш бўйича кўпгина таклифлар маълум. Қайд қилинадик, ишда кўриб чиқилган энергияни сўндириш усулларида эътиборга мойили

бурама оқимли сув ташлагичлар бўлиб ҳисобланади. Улар юқори тезликли кинетик энергияни жадал сўндиришни ва сув ўтказувчи деворларида босимнинг ошишини таъминлайди, натижада туннел деворларини оқиб ўтганда кавитация хавфи камаяди. Бунда гидротурбиналарнинг йўналтирувчи аппарати тури бўйича ясалган бошқариладиган уюрма затворли сув ташлагич тизими тадқиқот қилинган. Аммо, уюрма затворли сув ташлагичнинг модель тадқиқотларида тасдиқланган афзалликларига қарамасдан, уни яшашнинг ва эксплуатация қилишнинг мураккаблиги туфайли ҳозирча у амалиётга тадбиқ қилинмаган.

Айлантирувчи мосламаларнинг бошқа турларидан фойдаланиш бўйича қатор таклифлар мавжуд, масалан, «Мосгидросталь»да ишлаб чиқиладиган оддий затворлар (масалан, ясси ва сегментли) билан жиҳозланган бурама оқимли сув ташлагичларни таклиф қилган. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, кўзда тутилган сув ташлагич тизими оқим энергиясининг кўпгина қисмини унча катта бўлмаган узунликдаги аралашуш камерасида сўндиради ва сув оқиб ўтадиган трактда кавитацион динамик шароитни яхшилади. Аммо, таклиф қилинган сув ташлагич тизимнинг конструктив мураккаблиги унинг қўлланиш соҳасини чеклаб қўяди.

Шахтали сув ташлагич Чорвоқ сув омбори таркибида қурилган ва Тўполанг сув омбори сув ташлагичи вариантларининг биттасини лойиҳалаштиришда қўлланилган.

Адабиётлар шарҳи таҳлилидан келиб чиқадики, бажарилган барча ишлар босимли цилиндрик сув ташлагичда оқим ядросига ҳаво кирмаган

12

ҳолатлардаги бурама оқимни ўрганишга қаратилган. Бурама оқимнинг характеристикаси учун энг оддий ва ишончли параметр сув ўтказгич девори яқинидаги уринма кучланишнинг тангенциал компонентининг  $\tau_u$  тўлиқ кучланишга  $\tau$  нисбатини, яъни айланма тезликнинг  $V_u$  тўлиқ тезликка  $V$  нисбатини характерловчи интеграл параметр ҳисобланади:

$$\frac{\tau_u}{V} = \frac{\tau}{V} \quad (1)$$

Бурама оқимларда тезликларнинг тарқалишига марказдан қочма куч жиддий таъсир қилади, унинг қиймати оқимнинг бурамалигига боғлиқ бўлиб, сув ўтказгич узунлиги бўйича ўзгаради.

Мазкур бобда бурама оқим билан шаклланган энергия йўқолишини, гидравлик қаршилик коэффицентини ва босимни мавжуд усуллар билан ҳисоблашлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ярим чегараланган цилиндрик қувурдаги бурама дисперс оқим (ҳаво аралашган оқим) ҳаракати назарий тадқиқотлари**» деб номланган иккинчи бобида айлана кўндаланг кесимли ярим чегараланган цилиндрик қувурдаги ҳаво аралаш оқим дисперс суюқлик ҳаракатининг назарий тадқиқотлари тўғрисида умумий маълумотлар

келтирилган.

Юқори босимли сув ташлагичларда мавжуд бўлган дисперс суюқлик ҳаракатининг ламинар ва турбулент режимлари кўриб чиқилган. Оқим орқали ҳаво тортиш механизми мавжуд бўлиб, у оқимда сув, сув-пуфак, пуфак-томчи суюқликлардан иборат бўлган уч қатламли оқимнинг шаклланишига олиб келиши қайд қилинди. Бурама оқим ярим чегараланган цилиндрик айлана қувур яқинида жойлашган айлантирувчи мослама ёрдамида ҳосил бўлади. Суюқлик учун Х.А.Рахматулин модели қабул қилинган.

Ярим чегараланган қувурдаги сиқилмайдиган ёпишқоқ суюқликдаги (смесь) ўқи симметрик бўлган бурама оқим масаласини аналитик ечиш учун Навье-Стокс тенгламаси Громеко-Лэмб шаклида ва узлуксизлик тенгламалари келтирилган. Шунда ҳаракат тенгламаси Озеенов яқинлашишида қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \rho g_z$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho v \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \rho g_r$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \rho g_z$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho \theta \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \rho \dot{q}$$

Шунда ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \rho g_z$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho v \frac{\partial v}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \rho g_r$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \rho g_z$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho \theta \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \rho \dot{q}$$



$$\frac{1}{\Gamma} \frac{\partial \Phi}{\partial \Gamma} \quad \frac{\Gamma}{\Gamma} \quad \frac{\Gamma}{\Gamma}$$

$$\partial_{22} u'^t + = + 1 - 2 - 2$$

$$\theta(6)^2 z z r r r r r r$$

$$\frac{\partial}{\partial} \text{Re} \quad \varepsilon \quad \frac{\partial}{\partial} \quad \varepsilon \quad \frac{\partial}{\partial}$$

$$(5) \text{ ва } (6) \text{ тенгламалар тизимига куйидаги кўринишда автомоделъ қайта } \text{Re}^2 \quad \text{Re}^2$$

$$= , \Gamma = \Gamma(y), \Phi = \Phi(y) \text{ ёки } z^r$$

$$\text{шаклланишларни киритамиз: } z^r y^4 \quad y'^4$$

$$= (7)$$

$$\text{бунда Re ва Re}_t \text{- ламинар ва турбулент режимлардаги Рейнольдс сони, } \text{Re}^2, \text{Re}$$

$$\text{куйидагича аниқланади: } y \quad r \quad \varepsilon \quad \varepsilon$$

$$\frac{y}{t} \quad \varepsilon \quad \varepsilon \quad = \quad \frac{\varepsilon \quad \varepsilon}{4} \quad + \quad \frac{z}{t} \quad +$$

$$\text{Киритилган } \Gamma(y), \Phi(y) \text{ функциялар учун } (5) \text{ ва } (6) \text{ тенгламалар куйидаги тенгламалар тизимига келтирилади:}$$

$$\varepsilon \quad \frac{\Gamma}{1} \quad \frac{\Gamma}{du} \quad d_\theta \quad \frac{\Phi}{d} \quad \frac{\Phi}{d}$$

$$\frac{\Gamma}{t} + (8)$$

$$1 \quad 1_2 \quad + - \quad 0 \quad = \quad 1 \quad 2_2 \quad \varepsilon$$

$$\varepsilon \frac{dy}{y^2} \varepsilon \frac{dy}{+} \frac{dy}{-} \frac{\varepsilon}{u} \frac{dy}{\theta} y \frac{dy}{\theta}$$

Ламинар бурама оқим учун  $m = 0$  бўлганда (8) биринчи тенгламалар тизимининг ечими қуйидаги кўринишда бўлади:

$$m=0 \text{ да } \left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \quad (9)$$

$$m=1 \text{ да } \left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)$$

$$m=2 \text{ да } \left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^2$$

Турбулент оқим учун:

$$\left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^m, \quad (m = 0, 1, 2) \quad (10)$$

$$\frac{m}{1} \frac{2}{u} \frac{r}{r} \frac{erf}{y} \frac{y}{\theta}, \exp$$

$$\left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^m$$

Унда (8) тенгламани ечими қуйидагича бўлади:  $\Phi =$

$$\left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^m$$

Ўқий тезлик эса:

$$\left( \frac{u}{r} \right) = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^m$$

бунда  $u$

$$\frac{u}{R} = \frac{1}{\theta} \exp \left( -\frac{r}{\theta} \right) \left( \frac{r}{\theta} \right)^m$$



$$E z r P z r u z r u z r u z r \theta z r = + + + + \quad (16)$$

$$()()()()()$$

Хаво аралашган дисперс суюқлик учун қуйидаги тенгламага эга бўламиз:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial v}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho u \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho v \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v \\ & \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial w}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho u \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho v \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w \end{aligned}$$

$$u^{\tilde{n} \tilde{i} \tilde{n} \tilde{i} \tilde{n} \tilde{i} \tilde{n} \tilde{i} \tilde{n} \tilde{i}} = + \quad (17)$$

$$\text{Re} \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u$$

(7) формуладаги каби автомобиль қайта шаклланишни қўямиз:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho v \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u$$

$$* + \rho \frac{\partial u}{\partial t}$$

$$122$$

y

= = . У ҳолда (17) тенглама дисперс суюқлик ( ) 4z

$$f^{\wedge} f$$

$$4^{\wedge} z + \rho v$$

$$122$$

$$\text{учун}_{CM\theta} \text{ и ва}_{CMZ}$$

=. (18) тенглама ечими куйидаги кўринишда бўлади: <sup>\*</sup>

$$\begin{aligned}
& \varepsilon_+ \quad {}^t u \\
& 1^\varepsilon \\
& \varepsilon_t \\
& \hat{\phantom{a}} \\
& {}_\theta \rho_\theta \\
& fufu+ \\
& -_y \\
& |l(- \\
& |l(- \\
& ( )|l) \\
& u^2{}_0\Gamma \\
& ye \\
& u \\
& = \\
& {}_{1122} \\
& {}^n_\theta = \\
& {}_n \\
& r \\
& erf y \\
& {}_\theta + \\
& \hat{\phantom{a}} \\
& \rho \\
& ff_{12} \\
& \phantom{f} \\
& (20)
\end{aligned}$$

(19) тенглама ечими эса куйидаги кўринишга эга бўлади:

[illegible]

[illegible]

— — + —

ttttt2

## Босимнинг тарқалиши

(22)

Солиштира энергиянинг тарқалиши ушбу тенглик билан аниқланади

$f f f +$

(23)

Бўлимда цилиндрлик қувурдаги тезликлар, босим, солиштирма энергиялар тарқалиши таҳлили назарий боғланишлар бўйича келтирилган. Ҳисоблар қувур бошидан 1, 4, 16, 64R радиуслардаги масофадаги створлар учун (1-расм) ва Рейнольдс сони  $Re = 2,16 \cdot 10^4$  да бажарилган. Шунинг таъкидлаш керакки, тангенциал тезликларнинг тарқалиши бўйича график материалда бурама оқимнинг тез сўниши ламинар ва турбулент режимларда ҳам қувур бошида кузатилади. 0,2r... 0,3r радиусларда тангенциал

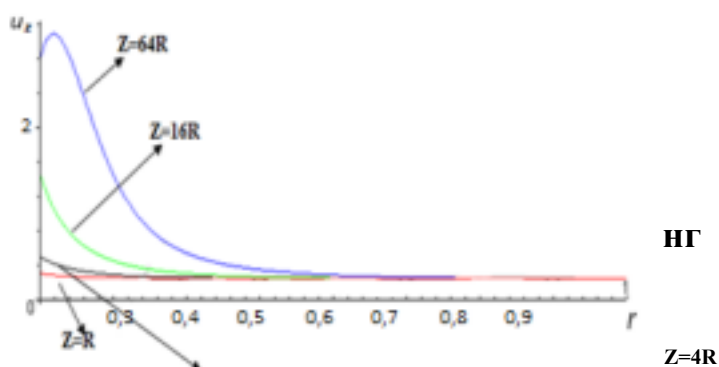
тезликнинг максимуми кузатилади ва кейинчалик марказий ўқ атрофида тезлик жадаллик билан сўнади ва радиус бўйича деворгача тезлик ётиқ қия билан сўнади. Тангенциал тезликнинг қиймати аэрацияланган бурама оқимларда аэрацияланмаганлардагига қараганда катта. Демак, ҳаво тортилиши жадаллашишининг ошиши билан тангенциал тезлик ошиб боради, бинобарин, девор ёнидаги босим ҳам, натижада туннел деворларининг кавитацион хавфсизлиги ошишига олиб келади. Айланма тезликлар профили ривожланишининг умумий тенденцияси ламинар ҳам, турбулент режимларда бир хил бўлиб, девор ёнидагига қараганда туннел марказий ўқи атрофида тез сўнади ва қувур узунлиги бўйича тезлик максимал зонаси кетма-кетлик билан қувур ўқидан деворга қадар силжиб боради.

2-расмда ўқий тезликнинг радиус ва кириш створидан масофадаги тарқалиши графиклари кўрсатилган. Расмдан кўриниб турибдики, ўқий тезлик тарқалиши шундай характерланади, яъни  $r \rightarrow 1$  (қувур девори яқинида) ва кириш створидан масофанинг узоклашиши билан ўқий тезлик қиймати камайиши кузатилади, шу пайтда қувур узунлиги бўйича ўқ атрофида ўқий тезликлар кетма-кет ошиб боради.

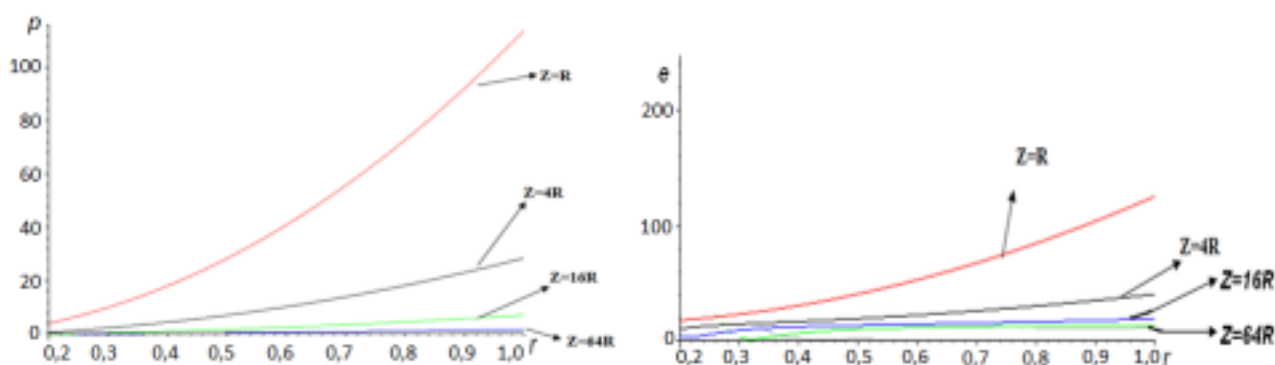
Животовский ишида кўрсатиладики, турбулент бурама оқимлар учун ўқий тезликлар максимуми тангенциал тезликлар максимумидан юқори радиусларда ётади. Агарда, 1-расм ва 2-расмлардаги бир хил створлардаги ўқий ва тангенциал тезликлар профилларини солиштирилса, бу ҳолат ҳақиқатда ҳам шундай бўлади.

3-расмда қувур радиуси ва унинг кириш створидан масофадаги створлардаги босим тарқалиши графиги келтирилган. Агарда, қувур бошларида босим унинг марказидан деворига қадар сезиларли даражада ошиб борса,  $16R$  радиус масофадан кейин эса буралма кесим бўйича босимнинг тарқалишига таъсир қилмайди. Шундай қилиб, бурама оқимларда босим қувур марказидан деворига қадар марказдан қочма тезланиш градиенти  $u^2/r$  билан ошиб боради.

Юқори босимли гидротехник туннелли сув ташлагичларда бу ҳолат бетон деворлари ёнида ортиқча босимни ҳосил қилишни таъминлайди, айниқса тезлик катта бўлган туннелнинг бошланғич участкаларида, шу билан бу ерларда кавитациянинг пайдо бўлиши хавфи камаяди, унинг пайдо бўлган жойларида эса марказдан қочма куч ёрдамида кавитацион факеллар оқим ичига сурилади. 4-расмда солиштирма энергиянинг тарқалиши графиги кўрсатилган.



2-расм. Оқим тезлигининг ўқий ташкил қилувчиси



3-расм. Босимнинг тарқалиши 4-расм. Солиштирма энергиянинг тарқалиши

Кувур бошларида энергия унинг марказидан деворига қадар сезиларли даражада ошиб борса, 16R радиус масофадан кейин эса буралма кесим бўйича энергиянинг тарқалишига таъсир қилмайди.

Диссертациянинг «**Бурама оқимларнинг экспериментал тадқиқотлари**» деб номланган учинчи бобида экспериментал мосламанинг тавсифи, тадқиқот услубияти ва экспериментал маълумотларга ишлов беришлар келтирилган, уярма сув ташлагичлардаги бурама оқимни гидравлик моделлаштириш хусусиятлари масалалари ёритилган.

Гидравлик тадқиқотлар Тўполанг сув омбори сув ташлагичига ўхшаш ҳолатда босими 150 метрдан баланд бўлган юқори босимли эксплуатацион сув ташлагичлар моделида иккита серияда ўтказилган: «А» серияси 1:50 масштабда— фрагмент моделлар, «Б» серияси 1:60 масштабда – бош модель. 5-расмда шахтали сув ташлагич сув олиб кетувчи участкасидаги тадқиқот қилинган цилиндрик сув ўтказгич ва конусли сўндиргич фрагментлари кўрсатилган. «А» сериясидаги модель вертикал шахта, тангенциал турдаги бурама оқим тармоғи ва горизонтал сув олиб кетувчи туннелдан иборат. Кўриб чиқилган серия моделида сув олиб кетувчи туннелнинг иккита асосий конструктив вариантлари тадқиқот қилинган:

I вариантда диаметри 0,26 м ва узунлиги  $l=2,45$  м бўлган цилиндрик сув

ўтказгич, ундан кейин кўндаланг кесими тоғорасимон бўлган камера жойлашган ва II вариантда конфузورли туташтирувчи элемент, ундан кейин

18

цилиндрик сув ўтказгич кўринишидаги сўндиргич камераси ва кейин эса кўндаланг кесими тоғорасимон бўлган туннел жойлашган.

Энергия сўндириш мосламаси 3 та вариантда тадқиқот қилинган: II-I, II-2, II-3 вариантлар юзалар нисбати  $\omega_{K.K.}/\omega_{H.K.}=0,716; 0,48; 0,29$  бўлган бир хил узунликда  $L_K$  ва ҳар хил конуслилик бурчакларида кўрилган, бунда конфузорнинг сув олиб кетувчи туннел билан туташгандаги кескин кенгайиш

коэффициенти

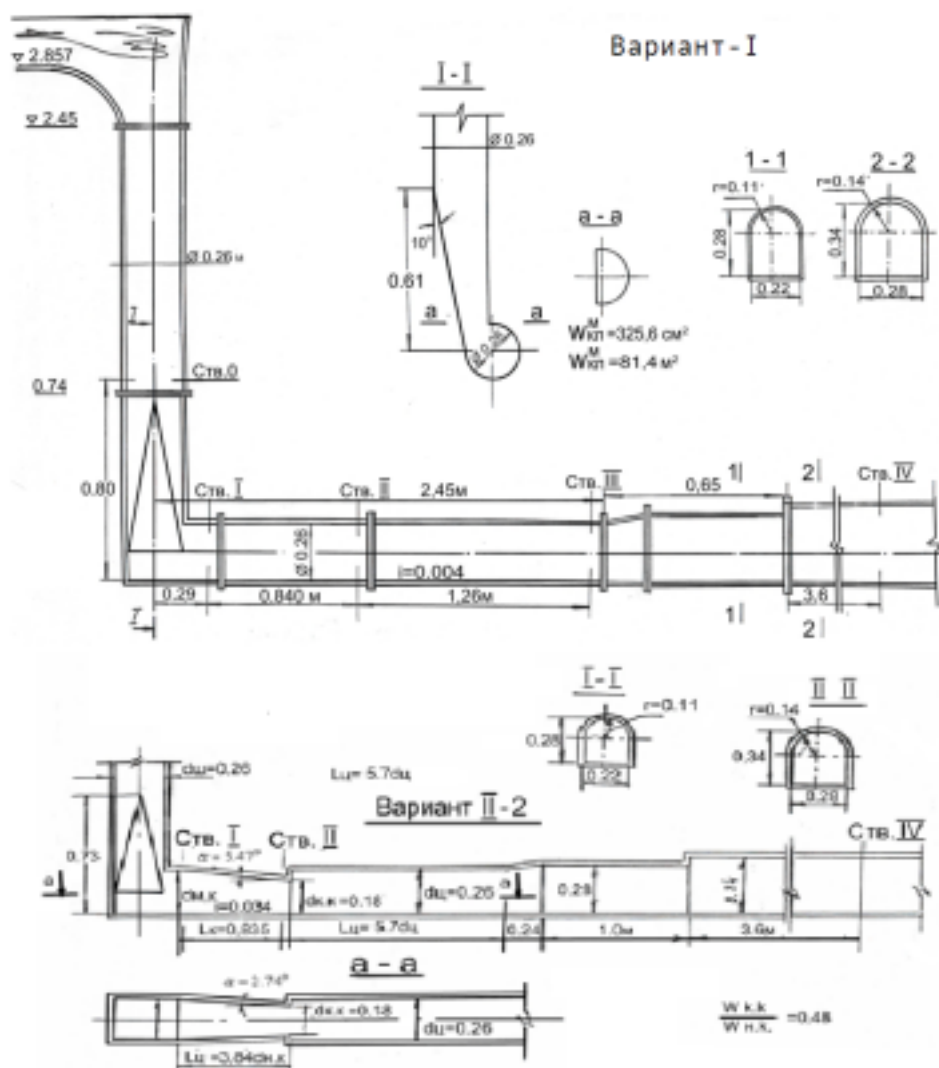
$\omega$

К К

$\omega=1,4; 2,09; 3,45$  ни ташкил қилади (

бунда  $\omega_{K.K.}, K^6 P \omega$

$\omega_{H.K.}$  – мос равишда конфузорнинг боши ва охиридаги кўндаланг кесим юзаси,  $\omega_{K.K.}$  – сўндиргич камераси кўндаланг кесими юзаси). *Модел масштаби 1:50*



5-расм.

Шахтали сув ташлагич сув олиб кетувчи участкасидаги тадқиқот қилинган цилиндрик сув ўтказгич ва конусли сўндиргич

### фрагментлари.

Яхлит сув ташлагични (шахтали ва чуқур жойлашган) тасвирловчи «Б» сериядаги моделда сув олиб кетувчи туннелнинг 3 та конструкцияси вариантлари кўриб чиқилган: цилиндрик сув ўтказгич (III-вариант); конфузорли туннел (IV-вариант); бошида конфузорли туннел, у кескин

19

кенгаймаган кўндаланг кесими тоғорасимон бўлган туннел билан туташтирилган (V- вариант).

Тадқиқотлар қуйидаги ўлчов асбобларидан фойдаланилган ҳолда ўтказилган: ўқий оқимдаги тезлик – Пито трубкаси билан, бурама оқимда – шарик диаметри 8 мм бўлган 5 каналли шарли трубкада, оқим ҳавоси концентрацияси –“Гидропроект” илмий тадқиқот маркази конструкцияси бўйича аэрация датчиги билан ўтказилган.

Маълумки, бурама оқимларда марказдан қочма куч таъсирида оқимнинг яхлитлиги бузилади ва ўртасида ядро ҳосил бўлади. Кўрсатилган ҳолат бурама оқимларда ёпишқоқлик ва оғирлик кучидан ташқари босим кучини ҳам эътиборга олишни талаб қилади, яъни модел ва натура учун қуйидаги шарт бажарилиши керак:

$$E_u = \text{idem} \quad (24)$$

Б.Л.Животовский бурама оқимларда ўхшашлик мезони сифатида бураманинг интеграл параметридан фойдаланишни таклиф қилган: Бунда ушбу шарт бажарилиши керак:

$$I = \text{idem} \quad (25)$$

Физик параметр  $I$  марказдан қочма кучнинг инерция кучига нисбатини ифодалайди, яъни бурама оқимлардаги жараёни аниқлайди, бурама оқимнинг жадаллилигини баҳолайди, шундай қилиб, оқим ва унинг структураси ҳолатини интеграл баҳолайди.

Экспериментал тадқиқотлар натижаларига ишлов бериш шуни кўрсатадики, интеграл параметр  $I$  ўзининг табиий ҳолати бўйича  $E_u$  сони ҳисобланади.

Ушбу тадқиқотларда сув ташлагичнинг ишлаш шароитлари, унда бир пайтнинг ўзида ҳар хил структурали оқимлар мавжудлиги билан ҳарактерланади, яъни бир пайтнинг ўзида сув ташлагичда бурама, босимсиз ва аэрацияланган ўқий оқим мавжуд. Шу туфайли, кейинги шароитларни ҳисобга олиб Рейнольдс  $Re$  сони бўйича автомоделликни сақлаган ҳолда гравитацион ўхшашлик Фруд  $Fr$  сони бўйича моделлаштирилган.

$$Fr = \text{idem}; Re > Re_{cp}.$$

Туннелнинг бурама оқимли участкаси учун  $Fr$  ва  $Re$  нинг ўзгариши диапазони  $Fr=0,397...79,5; Re=6,5 \cdot 10^4 \dots 2,16 \cdot 10^4$  бўлиши аниқланди.

Диссертациянинг «**Уюрма сув ташлагичлардаги бурама оқим гидравлик характеристикалари, назарий ҳисоблар билан таққослаш**» деб номланган тўртинчи бобида шахтадан ҳаво тортилиши шароитида цилиндрик ва конфузорли участкали уюрма сув ташлагичнинг айлантирувчи мосламаси ва сув олиб кетувчи трактининг экспериментал гидравлик тадқиқоти

натижалари баён қилинган.

Ушбу тадқиқотларда сув ташлагичдаги сув сарфининг ўзгариши кенг диапазонда кўриб чиқилган, шунинг учун ҳам вертикал шахтада сифат жиҳатидан ҳар хил гидравлик режимлар шаклланган: ҳаво тортилиши бўлмаган ҳолатда шахтадаги босимли режим; шахтанинг тўлиқ баландлиги бўйича босимсиз режим; шахта бошида босимсиз режим ва кейинчалик

20

босимли режимга ўтиши ёки маълум баландликдаги сув ҳаво “ёстиғи”нинг шаклланиши.

Цилиндрик қувурдаги (айлантирувчи мослама-тангенциал айлантирувчи) бурама оқим ҳолатини визуал кузатиш шуни кўрсатадики, пар-ҳаволи ядро узунлик бўйича турғун эмас ва ядро ўқи сув ўтказгич геометрик ўқига нисбатан носимметрик.

6-расмда шахтадаги ҳаво концентрацияси коэффициентининг

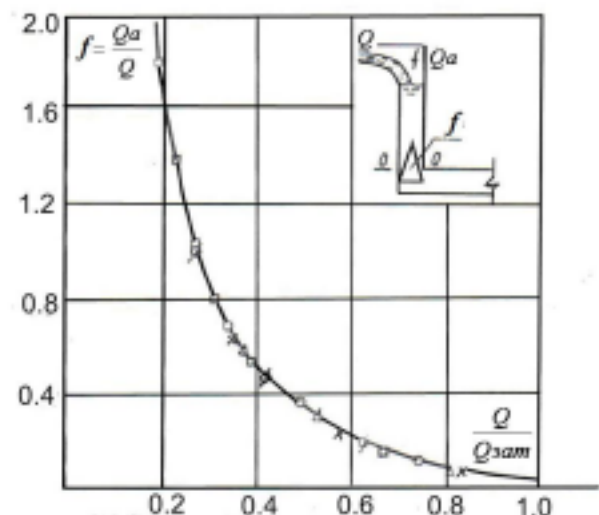
$$W \quad Q$$

= нисбий сув сарфига нисбатан  $Q < Q_{\text{зам}}$  (бунда  $W_{\text{вод}}$ ,  $Q_a$  – мос  $f$

$вод$

$$W \quad Q$$

равишда ҳавонинг ҳажми ва сарфи,  $W_{\text{вод}}$ ,  $Q$  -сувнинг ҳажми ва сарфи) боғланиш графигига кўрсатилган. Таъкидлаш муҳимки, сув олиб кетувчи туннел конструкцияси шахтадан ҳаво тортилиши жараёнига таъсир қилмайди. Шахтадаги сув сатҳи оралиқ горизонтларда бўлганда жадал ҳаво тортилиши содир бўлади, унинг сарфи шахтадаги сув сатҳининг тушиши ва



**6-расм. Шахтадаги ҳаво концентрацияси коэффициентининг сув сарфига  $Q/Q_{\text{зам}}$  нисбатан боғланиш графиги**

сув олиб кетувчи трактда эса

сўниши даражаси ва сув ташлагич тизими ўлчамларига боғлаш лозим. Сув ташлагичнинг сув ўтказиш қобиляти, энергия сўндириш даражаси ва унинг

оқимнинг тушиш баландлигининг кўпайиши билан ошади. Шундай қилиб, ҳаво тортилишининг ошиши ва мос равишда сув сарфининг камайиши оқимнинг кўпроқ аэрацияланиш даражасига олиб келади.

Энергия сўниши жараёни таҳлили шуни кўрсатадики, тадқиқот қилинган режимларда айлантирувчи мослама олдидаги энергияга нисбатан тангенциал айлантирувчи мосламада 31÷45%, 39÷45% энергия сўнади. Уярма сув ташлагич ишлаш режимини А параметр бўйича аниқлаганда уни сув олиб кетувчи трактдаги энергия

оптималь ўлчамлари бўйича энг оптималь айлантирувчи мослама геометрик параметри  $A=0,925$  бўлиб ҳисобланади.

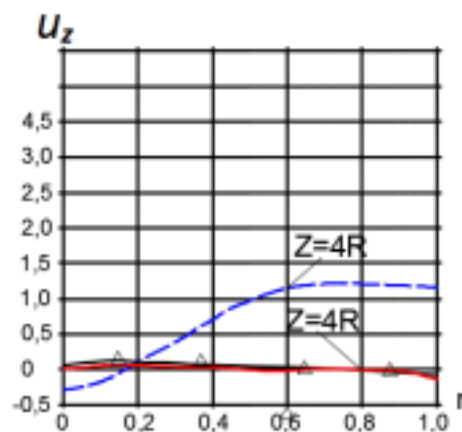
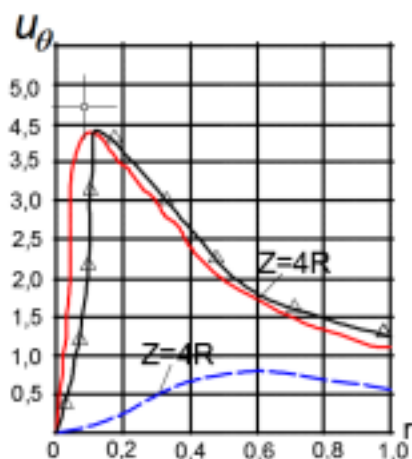
7-10-расмларда бурама оқимлар учун тангенциал ва ўқий тезликлар, босим ва солиштира энергия тарқалишларининг бир хил узунликдаги  $Z=4D$  оқим аэрацияланган ҳолатдаги назарий ҳисоблар (муаллифнинг ҳисобий боғланиш чизиғи) ва оқим аэрацияланмаган ҳолатдаги (А.Зуйков эгри чизиғи) ҳамда эксперимент натижаларини таққослаш келтирилган. Кўриш

мумкинки, ҳисоблар натижалари экспериментлар билан яхши мос келади. Озгина мос келмасликни айлантирувчи мослама тангенциал бўлганлиги учун бурама оқимнинг носимметрик бўлганлиги билан

21

тушунтириш мумкин. Сифат жиҳатдан улар бир-бирига мос келади, аммо сон жиҳатдан эса анча фарқ қилади.

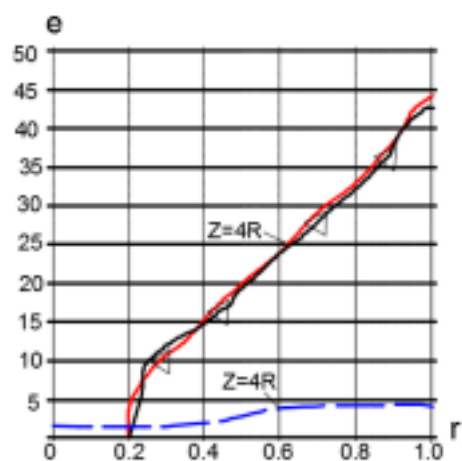
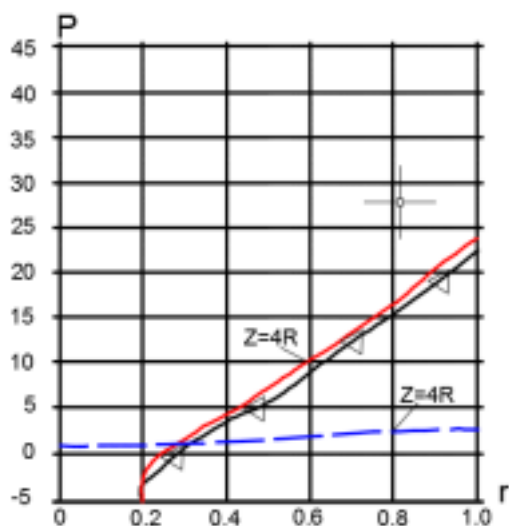
Юқорида айтилгани сингари ҳаво концентрациясининг ошиши билан буралиш бурчаги ошиб боради, мос равишда девор ёнидаги тангенциал тезлик ва босимнинг ҳам ошиши содир бўлади, ваҳоланки, туннел деворларининг кавитацион ҳавфсизлиги таъминланади.



эгри чизик А.Зуйков бўйича (ҳавосиз) муаллиф бўйича эгри чизик (ҳаволи) эгри чизик эксперимент бўйича

**7-Расм. Тангенциал  
тезликларнинг  
тарқалиши**

**8- Расм. Ўқий тезликларнинг  
тарқалиши**



9-расм. Босим тарқалиши 10-расм. Солиштира энергия тарқалиши

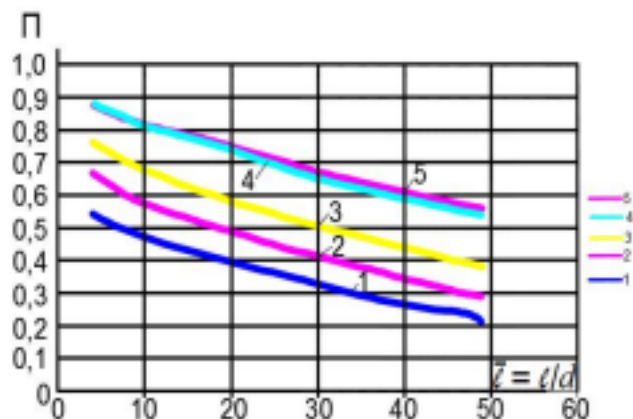
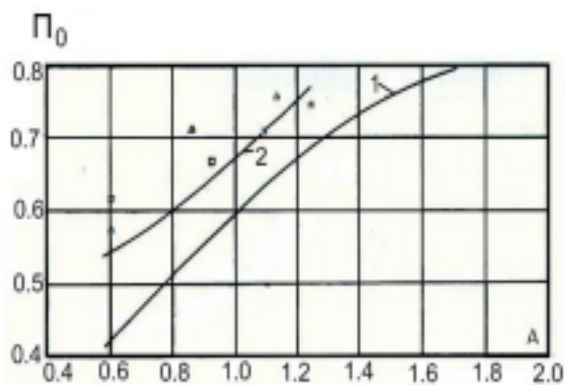
11-расмда бурама оқим интеграл параметрининг тангенциал айлантурувчи мослама геометрик параметрига боғланиш графиги( )  $P_0 = f(A)$  келтирилган.  $A$  қийматнинг ўсиши билан  $P_0$  қиймати катта бўлиб боради ва ошади.

12-расмда бурама оқим интеграл параметрининг сув ўтказгич узунлиги бўйича ўзгариши кўрсатилган. 4 ва 5 эгри чизиқлар Б. Животовский иши бўйича кўндаланг кесими айлана бўлган сув ўтказгич ва бизнинг

экспериментда олинган умумлаштирилган боғланиш графиглари  $\Pi = f(l)$ . Кўришиб турибдики,  $\Pi$  нинг ўзгариши характери тадқиқот қилинган сув

22

ўтказгичнинг  $l = l / d = 50$  узунлигида яхши мос келмоқда. Кўпгина фарқи тангенциал айлантурувчи мосламадаги бурама оқим структурасининг уярма затвордагига қараганда бир мунча мураккаблиги билан изоҳланади.  $\Pi = f(l)$  умумлаштирилган боғланишлар графиги билан  $P_0$  бошланғич бурамани билган ҳолда  $\Pi$  нинг қийматини сув ўтказгичнинг ҳар қандай кейинги кесими учун аниқлаш мумкин.  $P_0$  бошланғич бурама қиймати талаб қилинган кинетик энергияси сўндириш даражаси билан аниқланади ва мос равишда айлантурувчи мослама геометрияси билан таъминланади.



1 –Б.Животовский иши бўйича; 2 – муаллиф

иши бўйича.

**11-расм. Тангенциал айлантирувчи мослама учун  $P_0=f(A)$  боғланиш графиги**

1,2,3 –  $A=0.6, 0.925, 1.245$  мос равишда; 4 – Б.Животовский иши бўйича айланма кесимли сув ўтказгич учун умумий

13-расмда айлантирувчи мосламадаги қаршиликлар коэффицентлари қийматларининг ундан чиқишдаги бурама оқимнинг жадаллашишлиги орасидаги боғланишнинг ўзгариши графиги келтирилган. Бурама оқимнинг жадаллашишлиги параметрининг ошиши билан айлантирувчи мосламадаги гидравлик қаршилик ошиб боради, унинг ўзгариши ушбу ишдаги тадқиқот қилинган гидравлик режимлар учун  $0,42 \dots 0,6$ ни ташкил қилади.

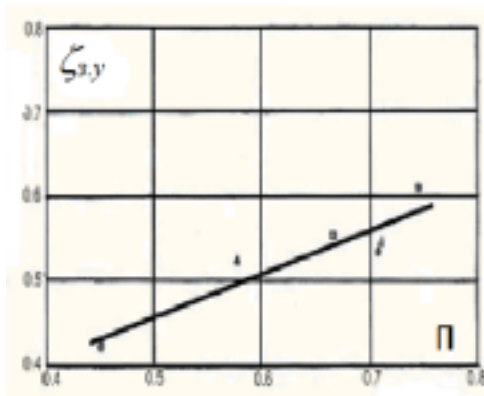
14-расмда тангенциал айлантирувчи мослама шахта билан ясси кесилиб туташган хол учун гидравлик қаршилик ва  $A$  геометрик параметр ўртасидаги боғланиш графиги (1 эгри чизиғи Б.Животовский ишида олинган) келтирилган.

Кўриниб турибдики, иккала эгри чизиклар бир-биридан жиддий фарк қилади. Сабаби шундаки, иншоотнинг автомобиль зонасида ишлаганида ҳам  $A$  параметрининг бир хил қиймати айлантирувчи мосламадан кейин бурама оқимнинг бир хил структурасини таъминламайди. Заруран, айлантирувчи мосламалар геометрик ўхшаш бўлиши керак.

боғланиш графиги; 5 – ушбу тадқиқот бўйича умумий боғланиш графиги.

**12-расм. Айланма кесимли сув ўтказгич узунлиги бўйича интеграл параметрининг  $P$  ўзгариши**

23

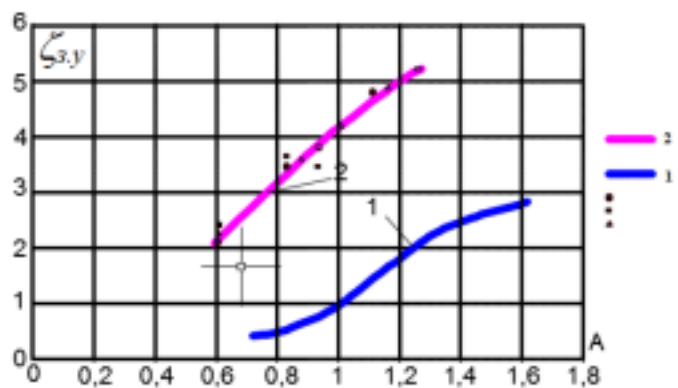


**13-расм. ( )**

$f \zeta_{3,y} = \text{боғланиш}$   
 $P_1$   
**графиги**

Таҳлиллар натижасида шундай хулосага келинган, яъни ҳисобларда айлантирувчи мослама чиқиш  $\zeta_{3,y}$ нинг қийматидан фойдаланиш қисмидаги

керак, чунки бу қаршиликлар билан ҳисобланган сарф коэффицентлари ўлчаш водосливидан ўтган сув сарфи билан аниқланган сарф коэффицентига яқин мос келади:



1 – Б.Животовский иши бўйича,  
2 – муаллиф иши бўйича.

**14-расм. ( )  $\zeta_{3,y} = f(A)$  боғланиш графиги**

$$\alpha_{\xi}^{blx\,3,y} Q_{\kappa}^2$$

$$=$$

цил 2

конфузор параметрлари куйидагича: вертикал бўйича конусилик бурчаги



$$\sum_{i=0}^n \frac{1}{d_i} = \frac{1}{d_0} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}$$

бунда  $\xi_0$  ва

$\xi_{3,i}$  – сув олиб кетувчи туннелдаги мос йўқолиш  $(1)_0$

равишда ўқий оқимдаги

$\xi = \lambda$  – ва бурама туфайли ҳосил бўлган қўшимча йўқолиш коэффициентлари;  $\Delta l d$  – мос равишда сув олиб кетувчи туннел участкаси узунлиги ва диаметри,  $\varphi$  – бурама оқим гидравлик қаршилигининг ўқий оқим гидравлик қаршилигига бўлган нисбатини ҳисобга олувчи коэффициент.

25

$\nu$   $\xi$  коэффициентни сув ўтказишдан чиқишдаги оқим айланиши солиштирма кинетик энергиясининг ўртача сарф тезлиги бўйича ҳисобланган тезлик босимига нисбати бўйича аниқланади:

$$\xi = \frac{V}{\nu V_{cp}^u} \quad (29)$$

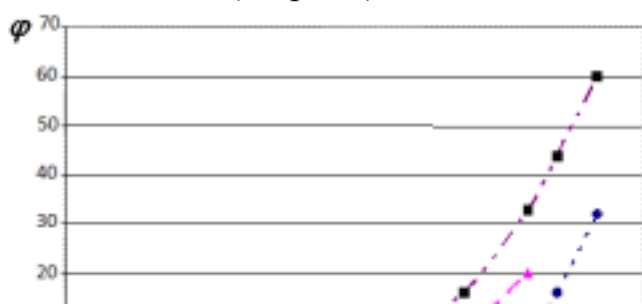
Биринчи яқинлашишда  $\nu$   $\xi$  қийматни ушбу формула бўйича аниқланади:

$$\xi = \frac{P}{\nu - 1} \quad (30)$$

бунда  $P$  – сув олиб кетувчи туннел охиридаги интеграл параметр қиймати. Ортиқча кинетик энергиянинг талаб қилинган сўндириш даражасига боғлиқ ҳолда бошланғич интеграл параметр қиймати қуйидаги ораликда  $P_0 = 0,6 \dots 0,8$  ( $P_0$  нинг кичкина қийматлари босимнинг кичкина қийматларига тааллуқли) қабул қилинади.  $P_0$  нинг талаб қилинган қийматлари айлантирувчи мослама техник характеристикалари билан таъминланади.  $P_0$  нинг қийматини билган ҳолда 11-расмдаги графикдан тангенциал айлантирувчи мослама геометрик параметри  $A$  қийматини аниқлаймиз. Аниқланган  $A$  параметри бўйича 14-расмдан айлантирувчи мослама гидравлик қаршилиги  $\xi$  қабул қилинади.

$\xi$  қийматини аниқлаш учун сув олиб кетувчи тракт  $n$  участкаларга бўлиб чиқилади, ҳар қайси участка  $\phi_i$  нинг ўртача қиймати топилади. учун

Ҳисоб бураманинг интеграл параметрини  $P$  аниқлашдан бошланади. Сув ўтказгич узунлиги бўйича бурама оқимнинг сўниши бошланғич кесимдан  $l_0 = 4d$  бошлаб қуйидаги  $l = l d$  масофаларда 12-расмдан мос кўндаланг кесимлар учун бурама оқимнинг интеграл параметри  $P$  қийматини аниқлаш бўйича белгиланади (15-расм).



$\phi_0$  ва  $\phi_i$  қийматларини аниқлаб, берилган участкадаги бурама оқимнинг йиғинди коэффициентини  $\xi$ , кейин сарф коэффициентини  $\mu$

Вариантлар:  - айлана кўндаланг кесимли цилиндр;  - конфузор;  
 уюрма затвор бўлганда, Б.А Животовский бўйича эгри чизик.

# **16–расм. ф коэффициентининг II параметри бўйича ўзгариши**

сарфи бўйича ўртача тезлик масштабига кўпайтириш билан аниқланади.

$$P=p \cdot u_{cp}; E=e \cdot u_{cp} \quad (31)$$

26

Ҳисоб бошланғич кесимдан бошланиб, сув ўтказгич узунлиги бўйича кетма-кет бажарилади. Ҳисоб натижасида сув ўтказгич узунлиги бўйича босим ва солиштира энергиянинг ўзгариши аниқланади. Сув олиб кетувчи трактдаги уринма ва ўқий тезликларнинг тарқалиши иншоотнинг дастлабки параметрлари ва ўлчамларини киритган ҳолда муаллиф томонидан ЭҲМ учун ишлаб чиқилган дастур бўйича ҳисобланади.

Сув олиб кетувчи трактдаги уринма ва ўқий тезликларнинг ҳақиқий қийматлари уларнинг нисбий қийматини сув сарфи бўйича ўртача тезлик масштабига кўпайтириш билан аниқланади.

$$U_{\theta} = u_{\theta} u_{cp}; U_z = u_z u_{cp}; (u_{cp} = Q \omega) \quad (32)$$

Диссертациянинг «**Уюрма шахтали сув ташлагичларнинг фойдаланиш давридаги ишончлилигини баҳолаш**» деб номланган олтинчи бобида уюрма шахтали сув ташлагичларнинг эксплуатацион ишончлилиги масалалари кўриб чиқилган.

Гидротехника иншоотлари ишончлилиги ва хавфсизлиги ҳисобларида эҳтимоллик усуллари кўллаш Ц.Е.Мирцхулава ишларида бошланган ва кейинчалик В.И. Велитченко, Г.А.Воробьев, Г.К.Габричидзе, Т.В.Гавриленко, Э.Г.Газиёв ишларида ривожланган.

Бобда дунёдаги баъзи бир сув омборларидаги авария ва бузилишлар ҳолатлари бўйича мисоллар келтирилган.

Катта тўғонлар бўйича Халқаро комиссия маълумотларига кўра ҳозирги пайтда дунёда 45 мингдан ортиқ катта тўғонлар қурилган, улардан 60 % дан ортиғи грунт тўғонлар ҳисобланади. Тахминан ҳар хил турдаги 45% тўғонларда авария ҳолатлари, ҳамда босимли қисми устидан сув ўтишлари қайд қилинган.

Сув ташлагич иншоотларида одатий бузилиш турларига қуйидагиларни киритиш мумкин: металл қисмларининг коррозияси; затворларнинг қийшайиши; таянч — юритиш мосламаларининг бузилиши; сув ташлагич трактининг кавитацион-эрозион бузилиши; бетон қоплама ёриқлари бўйича

ҳисобланади. Сув олиб кетувчи трактдаги босим ва солиштира энергия тарқалиши иншоотнинг дастлабки параметрлари ва ўлчамларини киритган ҳолда муаллиф томонидан ЭҲМ учун ишлаб чиқилган дастур бўйича ҳисобланади.

Босим ва солиштира энергиянинг ҳақиқий қийматлари уларнинг нисбий қийматини сув

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t$$

( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( )

$F t = F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t$  ( ) ( ) ( )  
( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( )  $F t = F t \cdot F t$   $F t = F t \cdot F t$   
( ) ( ) ( )

Сув ташлагичнинг таянч ишдан тўхташи бузилиши эҳтимоли ( )  
 $1 F t$   
шахтанинг кимёвий коррозия, гидродинамик босим, бетон қопламадаги  
филтрация туфайли бузилишидан ( )  
 $11 F t$ ; айлантирувчи мосламанинг  
кимёвий коррозия, гидродинамик босим, бетон қопламадаги филтрация  
туфайли бузилишидан ( )  
 $12 F t$ ; туннелнинг кимёвий коррозия, гидродинамик  
босим, бетон қопламадаги филтрация туфайли бузилишидан ( )  
 $13 F t$ ; сув  
урилма кудук ва ПБ даги сўндиргич мосламаларнинг бетон кимёвий  
коррозияси ва гидродинамик босим туфайли бузилишидан ( )  
 $14 F t$  содир  
бўлади.

Сув ташлагич сув ўтказиш қобилиятининг камайишидан таянч ишдан  
тўхташи эҳтимоли ( )  
 $2 F t$  қуйидагилар туфайли содир бўлади: ( )  
 $21 F t$  – электр  
энергия йўқлиги сабабли затвор жиҳозларининг ишдан тўхташидан, затвор  
пазларидаги механик бузилишлардан, ўтказувчи мосламалар ва таянч –  
юритувчи қисмлар бузилишидан, занжирнинг узилишидан; ( )  
 $22 F t$  – водослив  
воронкаси кириш қисмининг сузиб юрувчи жисмлар зарбаси ҳолатидаги  
бузилиши ва затвор қийшайиши натижасида бетоннинг бузилишидан; ( )  
 $23 F t$  –  
террористик актдан; ( )  
 $24 F t$  – киришда сузиб юрувчи жисмлар чиқиндисидан;  
йиғилишидан; ( )  
 $25 F t$  – ҳисобдан юқори тошқинликлар ва жаладан.

Ер қимирлашидан таянч ишдан тўхташи ( )  
 $3 F t$  эҳтимоли қуйидаги  
ҳисоблар бўйича ифодаланади: ( )  
 $31 F t$  – сув ташлагичнинг вибрациядан

28  
бузилиши; ( )  
 $32 F t$  – грунт тўғонлар устидан сув ўтиши натижасида пастки бўёқ  
хўдудларининг сувга кўмилиши ва тошқинликлар.

Шахтали сув ташлагичнинг  $t$  вақт давридаги ишдан тўхтамасдан  
ишлаши эҳтимолини (36) формула бўйича уярма сув ташлагичга монанд

ҳолда аниқлаш мумкин. Аммо бу ерда, сув ташлагич таянч ишдан тўхташи бузилиши ( )

$F$  юқорида санаб ўтилган сабаблардан ташқари қўшимча шахта тиззасидаги, сув олиб кетувчи туннел бурилишларидаги, сув урилма ва энергия сўндиргичлардаги кавитацион эрозия туфайли содир бўлади (36 – формулалар).

Таянч ишдан тўхташнинг ўртача йиллик частоталари тўғрисидаги маълумотлар учун маълумотномалардан, нормативлар, адабиётлар нашриётлари ва ГТИ хавфсизлиги ва хавфини даражасини баҳолаш таҳлили доирасидаги нашрлардан ҳамда ГТИ авариялари ҳақидаги асл маълумотлар статистикасидан фойдаланилади.

Бобнинг охирида уюрма ва шахтали сув ташлагичлар элементлари ишончилиги ва ишдан тўхташи эҳтимоллари таққосланиши келтирилган. Таҳлиллар шуни кўрсатадики, ГТИда 22% бузилишлар кавитацион эрозия туфайли содир бўлади. Уюрма сув ташлагичларда кавитацион эрозия бўлмаганлиги сабабли, улар шахтали сув ташлагичларга қараганда ишончли ҳисобланади.

## ХУЛОСА

«Юқори босимли гидроузелларда уюрма шахтали сув ташлагичлар конструкциясини, ҳисоблаш асосларини такомиллаштириш ва уларнинг фойдаланиш давридаги ишончилиги» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Уюрма шахтали сув ташлагичларда ҳаво тортилиши шароитида тангенциал айлантирувчи мосламали ярим чегараланган цилиндрик қувурдаги ҳаво аралашган бурама оқимнинг математик модели ишлаб чиқилган. Ҳаракат тенгламаси Фруд, Эйлер ва Рейнольдс сонлари ўхшашлик мезонлари асосида шакллантирилган бўлиб, бу ҳол олинган натижаларда иншоот ва ундаги оқим параметрларини кенг доирада аниқлашга ва лойиҳалашга имкон беради.

2. Бурама оқимларда ўқий  $u_z$  ва тангенциал  $u_\theta$  тезликлар туннелнинг  $0,2 r \dots 0,3 r$  радиусларида максимумга етиши, унинг ўқи томонга катта ва девори томонига кичик градиент билан сўниши аниқланди. Бурама оқимлардаги босим ва солиштирма энергия қиймати эса туннел марказий ўқи ёнидаги зонада вакуумга қадар камаяди, унинг деворигача марказдан қочма тезланишга тенг градиент билан ошиб боради, бунда туннел девори ёнларида кавитация ривожланишининг олдини оловчи ортиқча босим ҳосил бўлиши аниқланди.

3. Уюрма шахтали сув ташлагичларнинг ҳаво тортилиши шароитида гидравлик ҳисоблаш услубияти такомиллаштирилди. Ишлаб чиқилган ЭҲМ учун дастур (DGU 03451, DGU 03452) уюрма сув ташлагичларни

лойиҳалаштиришда фойдаланиш учун тавсия қилинади. Бу дастур оқим структурасини тез ва етарлича аниқ таҳлил қилишга ва юқори босимли уюрма сув ташлагичларнинг гидравлик характеристикаларини аниқлашга,

жумладан туннел девори ёнидаги кавитацион шароитни баҳолашга ва гидравлик йўқолишларни аниқлашга имкон беради.

4. Уюрма шахтали сув ташлагичларда ҳаво тортилиши шароити учун тангенциал айлантирувчи мосламада  $31\div 45\%$ , сув олиб кетувчи трактда  $39\div 45\%$ , биргаликда айлантирувчи мослама– сув олиб кетувчи трактда эса  $70\div 90\%$  энергия сўниши аниқланди.

5. Ҳаво тортилиши шароитида бурама оқимдаги тезликлар, босим ва солиштирма энергия эпюраларининг тарқалиш қонуниятлари, тангенциал айлантирувчи мослама ва бурама оқимнинг гидравлик қаршиликлари аниқланди. Бунда, тангенциал айлантирувчи мосламадаги гидравлик қаршиликнинг ошиши кузатилади,  $\zeta_{з.у}$  нинг ўзгариши оралиғи 0,42 дан 0,6 гача ташкил қилади. Сув олиб кетувчи трактда эса шахтадан ҳаво тортилишининг ошиши билан бурама оқимдаги гидравлик қаршилиқ ошади, мос равишда энергия сўнишининг жадаллашиши аниқланди.

6. Сув олиб кетувчи трактда энергия сўндиргичнинг янги мосламаси ишлаб чиқилиб, конфузор параметрлари қуйидагича қабул қилинган: вертикал бўйича конусилик бурчаги  $\alpha=5,470$ , планда  $\alpha=2,740$ , конфузор узунлиги  $l=3,85d_{ш}$  ( $d_{ш}$  – шахта диаметри) (№ FAP 01104).

7. Тангенциал, ўқий тезликлар ҳамда босим ва солиштирма энергия назарий ҳисоблари лаборатория мосламасида тадқиқот қилинган бурама оқим экспериментал профиллари билан таққосланиб текширилган. Тажриба ва назарий йўллар билан ҳисобланган бурама оқимнинг параметрлари мослиги белгиланди.

8. Бурама оқимли сув ташлагич турини танлаш гидроузел конкрет шароитига ва талаб қилинадиган оқимнинг ортиқча кинетик энергиясини сўндириш даражасига боғлиқ. Яратилган сув олиб кетувчи трактда энергия сўндиргичнинг янги мосламаси унинг узунлиги нисбатан кичик  $20\ldots 30 < l/d < 50\ldots 60$  ва кўндаланг кесими шакли айлана, тақасимон ёки тоғорасимон шаклларда бўлганда қўлланилади.

9. Сув ташлагич иншоотлар аварияси статистикаси таҳлили ҳамда эҳтимоллик ва детерминистик ҳисоблаш усулларида фойдаланган ҳолда иншоот алоҳида элементларининг ишлашини эътиборга олиш асосида шахтали ва уюрма сув ташлагичлар ишончилигини баҳолашнинг яқинлашган усули ишлаб чиқилди.

10. Тўполанг сув омбори қурилишида таклиф қилинган вариантда капитал маблағларнинг 40 фоиздан ортиқ тежалишига эришилган. Бунда йиллик иқтисодий самарадорлик 6,5 млрд. сўмни ташкил қилади (2015 йилдаги баҳолашни бўйича).

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОМ ИНСТИТУТЕ И  
ТАШКЕНТСКОМ ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРОВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК  
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ И МЕЛИОРАЦИИ**

**ЯНГИЕВ АСРОР АБДИХАМИДОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, РАСЧЕТНОГО  
ОБОСНОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ВИХРЕВЫХ ШАХТНЫХ ВОДОСБРОСОВ ВЫСОКОНАПОРНЫХ  
ГИДРОУЗЛОВ**

**05.09.06- Гидротехническое и мелиоративное строительство**

**АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

**Ташкент – 2016**

Тема докторской диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № 30.09.2014/B2014.5.T363.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском институте ирригации и мелиорации.

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

**Научный консультант:**

**Бакиев Машариф Рузметович**  
заслуженный деятель науки Республики  
Каракалпакстан, доктор технических наук,  
профессор

**Официальные оппоненты:**

**Гловацкий Олег Яковлевич**  
доктор технических наук

**Мухаммадиев Мурадullo**  
**Мухаммадиевич**  
доктор технических наук, профессор

**Хикматов Фазлиддин**  
доктор географических наук, профессор

**Ведущая организация:**

Ташкентский архитектурно – строительный институт

Защита состоится 05 июля 2016 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета 16.07.2013.Т.23.01 при Ташкентском институте ирригации и мелиорации, Ташкентском архитектурно-строительном институте и Ташкентском институте инженеров железнодорожного транспорта по адресу: 100000, г. Ташкент, ул. Кары – Ниязова, 39, Тел: (+99871) 237-22-67. Факс: (+99871) 237-38-79, e-mail: [admin@tiim.uz](mailto:admin@tiim.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института ирригации и мелиорации (зарегистрирована № 03). Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кары – Ниязова, 39. Тел: (+99871) 237-19-45. e-mail:

Автореферат диссертации рассмотрен 18 июня 2016 года.  
(реестр протокола заседания № 62 от 18 июня 2016 года).



  
**М.Х.Хамидов**  
Председатель научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук, д.с.-х.н., профессор

  
**Т.З.Султанов**  
Заместитель секретаря научного совета по присуждению  
ученой степени доктора наук, д.т.н., доцент

  
**М.Р.Бакиев**  
Председатель научного семинара при Научном совете  
по присуждению ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** На сегодняшний день в мире каждый год происходит множество аварий на гидроузлах, из них 35% аварии происходят за счет перелива воды из водохранилища по техническим отказам водосбросных сооружений<sup>4</sup>. Крупные катастрофические аварии плотин произошли в США, Франции, Италии, Бразилии, Южной Корее и других странах. В практике гидротехнического строительства при напорах более 100 м и скоростях движения потока, достигающих 50...60 м/с в отводящем туннеле наблюдается увеличение гидродинамической нагрузки, кавитационная эрозия и разрушение конструкции крепления нижнего бьефа в результате недопустимых размывов дна. Поэтому, при проектировании и строительстве высоконапорных гидроузлов, особое внимание уделяется обеспечению надежной и безопасной их работе, применению закрученных потоков, когда одновременно можно погасить избыточную энергию потока внутри отводящего тракта и защитить его от кавитационного разрушения, созданию глубинных водосбросов для пропуска катастрофических расходов. В Узбекистане для ирригации в широком масштабе осуществляются мероприятия по эффективной организации эксплуатации и реконструкции водохранилищ. В этом направлении, том числе, на 2013-2017 гг. предусмотрено строительство и реконструкция 8 селеводохранилищ объемом 40 млн. м<sup>3</sup>, усовершенствование конструкций<sup>5</sup> сооружений, обеспечение надежной и безопасной их работы, улучшение пропускной способности и режима работы водосбросных сооружений, усовершенствование разработки механизмов их эффективной эксплуатации.

В мире отдельное внимание уделяется на усовершенствование конструкций и основ расчетного обоснования, на определение надежности в эксплуатационные периоды шахтных вихревых водосбросов высоконапорных водохранилищных гидроузлов. В этой области осуществление целенаправленных научных исследований является приоритетными задачами, в том числе, научные исследования в следующих направлениях: разработка математической модели закрученного потока дисперсной смеси в полуограниченной цилиндрической трубе вихревых шахтных водосбросов в условиях воздухозахвата; разработка методики гидравлического расчета вихревых водосбросов в условиях воздухозахвата; разработка программы на ЭВМ по расчету распределения эпюр скоростей, давления и полной удельной энергии закрученного потока в условиях воздухозахвата; разработка нового устройства гашения энергии в отводящем тракте; определение влияния концентрации воздуха и конструкции

<sup>4</sup> Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации связанные с гидротехническим строительством // Журнал “Гидротехническое строительство” – Москва, 2009. -№12. С.1-16.

<sup>5</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-1958 от 19 апреля 2013 года «О мерах по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на период 2013-2017 годы»

разработка методов оценки эксплуатационной надежности вихревого шахтного водосброса.

Диссертационное исследование в определенной степени служит осуществлению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан УП-2272 от 24 марта 1999 года «Организация Государственной инспекции по надзору технических состояний крупных и особо важных водохозяйственных объектов при Кабинете Министров Республики Узбекистан»; постановление №499 Кабинета Министров от 16 ноября 1999 года «О мерах по реализации закона Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений», №150 от 30 марта 2004 года «Об организации Ташкентского института ирригации и мелиорации», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в сфере. **Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетного направления развития науки и технологий республики V. «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды».

**Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>6</sup>.** Научные исследования, направленные на рассмотрение задач гашения энергии потока внутри отводящего тракта с применением закрутки потока в водосбросных сооружениях осуществляется в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, в университете Бордо (Франция), в Болонском университете (Италия), McGill (Канада), UCDAVIS University (США), Kyushi University (Япония), Berlin TU (Германия), University of Natural Resources and Life Sciences (Австрия), в Московском Государственном строительном университете, в Московском Государственном университете природообустройства (Россия), в Ташкентском институте ирригации и мелиорации (Узбекистан).

В результате исследований, проведенных в мире в области гашения энергии потока внутри отводящего тракта с применением закрутки потока в водосбросных сооружениях, получены ряд научных результатов, в том числе: разработаны конструкции гашения избыточной кинематической энергии потока по длине водосбросного тракта (Болонья, Италия); созданы конструкции вихревых водосбросов с вихревым затвором и контрвихревых водосбросов (Московский Государственный строительный университет, Россия); разработаны методики гидравлического расчета вихревых шахтных

<sup>6</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации осуществляется на основе: F.H.Knapp. Ausfluss. uberfall und durchfluss in Wasserbau// VKarksruhe, Verlag G. Braun. 2002. pp. 502-517; C.Drioli. Esperienze su intallazioni con pozzo d: scarico a vortices// "L' Energia Elettrica", 1993, Xo 6, pp. 399-409; M.Pica. Scarication a vortice// L'Energia Elettrica. 2006. vol. 47, №4 pp. 271-234; D.Jeanpierre, A.Lachal. Dissiipation d'energie dans un puits a vortex// La Houille Blanche. 1966. vol. 21, №7 pp. 85-92; Gidroulic modelling of vertical dropshaft structures – International conference on the Hydraulic modelling of civil Engineering structures. London. Sept. 1982; P.Acrers, E.S.Grump. The vortex drop// The Inst. Of Civil Engineers. Proceeding. London: 2000. vol. 16, №8 pp. 443-442; H.Stefan. Betrachtungen sur Wirkunasweise von wirbelfallsehachten// Die Bautechnik. 1988. vol.45. №7, pp. 221-226 и других источников.

характеристик закрученного потока. (Бордо, Франция, Московский Государственный университет природообустройства, Россия).

В мире по исследованию водосбросных сооружений, в которых используются закрученные потоки, по ряду приоритетных направлений проводятся исследования, в том числе: разработка новых конструкций водосбросов с эффективным гашением энергии в отводящем туннеле, обеспечивающее безопасную и надежную работу водосбросного тракта и нижнего бьефа; усовершенствование методики расчета водосбросов; разработка модели, алгоритма и программы расчета на ЭВМ для оценки структуры закрученного потока в разных условиях работы водосброса, а также компьютеризированной системы мониторинга работы вихревых водосбросов.

**Степень изученности проблемы.** Исследованиям конструкций, структурой закрученного потока, методики гидравлического расчета вихревых шахтных водосбросов посвящены работы К.Дриоли, М.Випарелли, М.Пик, Ф.Кнапп (университет Болонья), Д.Жанпиерра и А.Лашаля, П.Акерс и Е.Крамп (университет Бордо), Х.Стефана, А.Клейкшрота (UCDAVIS University), Т.Х.Ахмедова, Х.П.Заирова, С.М.Слисского (Московский Государственный строительный университет), Н.Н. Розанова, Н.Ханов (Московский Государственный университет природообустройства) и др.

Исследования, связанные с созданием конструкций глубинных вихревых водосбросов, усовершенствованием методики гидравлического расчета и созданием математической модели, были проведены ряд ученых, в том числе, Г.И. Кривченко, А.П. Мордасовым, А.М. Темирхановым, А.Л. Зуйковым, Б.А. Животовским, Р.С. Гальпериным, Н.Н. Розановой, Г.Н. Цедровым и др. Кроме того, изучение структуры закрученного потока в основном проводилось для цилиндрических водоводов, в частности этим занимались А.Я.Милович, Б.А.Пышкин, К.С.Бекхол, А.Червинский, Н.А.Чигер, Б.А.Животовский, А.П.Мордасов, В.В.Волшаник, И.С.Новикова, Н.Н.Розанова и другие, получены в определенной степени положительные результаты.

В настоящее время известно много предложений по гашению избыточной кинематической энергии в пределах водосбросного тракта. За счёт введения дополнительных сопротивлений в виде ряда диафрагм по длине отводящего тракта водосброса, достигается увеличение потерь энергии. Схема последовательно установленных затворов в высоконапорных, глубинных, напорных водоспусках, предложенная А.С.Абелевым является эффективным способом гашения энергии. Кроме того, имеется схема напорного гасителя энергии, предложенной А.Г.Чанишвили, туннельный водосброс с шахтным водобойным колодцем, устройство на тракте внезапного расширения в напорных водосбросах, водосбросы, оборудованные гасительной камерой по типу Майка с плоскими и диафрагмовыми затворами. При этом в настоящее время существует ряд проблем, решение которых необходимо. Существующие ранее методы

расчета водосбросов с закруткой потока требовали уточнений и в ряде случаев не позволяли получить ожидаемых результатов при проектировании таких сооружений. Недостаточно было изучено влияния геометрической формы тангенциального завихрителя и конструкции отводящего водовода на структуры закрученного потока в условиях воздухозахвата из шахты. Существующие теоретические методы расчета не учитывают влияние концентрации воздуха на гидравлическую структуру закрученного потока, не исследовано определение эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского института ирригации и мелиорации по теме 2.8-«Совершенствование конструкций, разработка основ расчета, проектирования и обеспечения безопасности гидротехнических сооружений» (2014-2015), проекте США, UB-ABS-20MCX по теме «Изучение надежности эксплуатируемых гидротехнических сооружений и разработка мероприятий по улучшению безопасности их работы» (2003-2005), хоздоговорные НИР с МС и ВХ РУз по теме «Разработка мероприятий по повышению технической надежности эксплуатируемых и реконструируемых водохранилищных гидроузлов» (2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013), хоздоговорные НИР с «Давсувхужаликназорат» по теме «Обследование технического состояния водохранилищ и гидроузлов» (2012-2014), прикладных проектов № КХА-14-02 «Совершенствование конструктивных элементов, обеспечивающих надежную и безопасную работу грунтовых плотин» (2012-2014).

**Целью исследования** является совершенствование конструкций, основ расчетного обоснования и разработка методов оценки эксплуатационной надежности вихревых водосбросов с тангенциальными завихрителями, работающих с интенсивным захватом воздуха через шахту. **Задачи исследования:**

разработка математической модели закрученного потока дисперсной смеси с тангенциальными завихрителями в полуограниченной цилиндрической трубе вихревых шахтных водосбросов в условиях воздухозахвата;

разработка методики гидравлического расчета вихревых водосбросов в условиях воздухозахвата;

определение распределения эпюр скоростей, давления и полной удельной энергии закрученного потока в условиях воздухозахвата; разработка нового устройства гашения энергии в отводящем тракте; определение влияния концентрации воздуха и конструкции отводящего водовода на характеристики и гашение энергии закрученного потока; составление сценарии аварии безотказной работы и разработка методов оценки эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов.

**Объектами исследования** являются проектируемые шахтные водосбросные сооружения высоконапорных водохранилищных гидроузлов и эксплуатируемые водохранилищные гидроузлы (в том числе Чарвакское, Тупалангское, Гиссаракское и Чимкурганское водохранилища).

**Предмет исследования** составляет устройство гасителя энергии в вихревых шахтных водосбросах, создание механизма, алгоритма, программных средств модели закрученного потока в условиях воздухозахвата и обеспечение надежности водосброса.

**Методы исследований.** В процессе исследований были использованы методы математического и гидравлического моделирования, обработка экспериментальных результатов, создание программы расчета на ЭВМ.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем: разработана методика гидравлического расчета вихревых водосбросов в условиях воздухозахвата;

определено значение гидравлического сопротивления тангенциального завихрителя и закрученного потока;

разработано новое устройство гашения энергии в отводящем водоводе; обосновано влияние концентрации воздуха и конструкции отводящего водовода на характеристики и гашения энергии закрученного потока; составлены сценарии аварий безотказной работы, а также разработан метод оценки эксплуатационной надежности вихревого шахтного водосброса.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем: определено распределение эпюр скоростей, давления и полной удельной энергии закрученного потока в условиях воздухозахвата; разработана математическая модель дисперсной смеси (аэрированного потока) закрученного потока в полуограниченной цилиндрической трубе в вихревых шахтных водосбросах с тангенциальными завихрителями в условиях воздухозахвата;

разработана математическая модель и программа на ЭВМ для расчета распределения эпюр скоростей, давления и полной удельной энергии закрученного потока по длине отводящего водовода, которая даёт возможность произвести оценку кавитационных условий у стенки туннеля и толщину отделки туннеля; (№ DGU 03451, № DGU 03452);

разработано новое устройство гашения энергии, которое дает возможность гашения энергии на коротком участке отводящего туннеля вихревых водосбросов (№ FAP 01104);

определены значения гидравлических сопротивлений тангенциального закручивающего устройства и закрученного потока для определения пропускной способности вихревых водосбросов в условиях воздухозахвата;

усовершенствована методика гидравлического расчета вихревых водосбросов с тангенциальными завихрителями в условиях воздухозахвата, которая даёт возможность произвести расчёт всех необходимых гидравлических параметров закрученного потока при проектировании вихревого водосброса;

разработан метод оценки эксплуатационной надежности вихревого шахтного водосброса.

**Достоверность результатов исследования.** Обоснована оценкой точности приборов измерения, сопоставлением результатов эксперимента с расчетными и теоретическими данными, использованием общих законов физики и апробированных математических способов разработки основных теоретических соотношений, а также сравнение с результатами других исследователей.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования определяется в разработке теоретических основ и математических моделей, вносящих вклад в развитие теории закрученных потоков, в разработке нового устройства гашения энергии, усовершенствование методики расчета.

Практическая значимость работы заключается в возможности непосредственного использования полученных математической модели, усовершенствованной методики гидравлического расчета при проектировании высоконапорных вихревых шахтных водосбросов. Кроме того, созданные программы для ЭВМ служат для оценки кавитационных условий у стенки туннеля и эксплуатационной надежности. **Внедрение результатов исследования.** Конструкции гашения энергии внутри отводящего водовода и основы их расчета, а также эксплуатационная надежность вихревых шахтных водосбросов применены в водохранилищах, которые относятся к Республиканскому объединению «Узсувтаъмирфойдаланиш», в том числе, Гиссаракское, Чимкурганское и Пачкамарское водохранилища, к институту АО «Гидропроект» при проектировании одного из вариантов водосбросного сооружения Тупалангского водохранилища, (Справка №04/30-147 от 18 февраля 2016 года Министерства сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан). Внедрение результатов диссертации в практику дало возможность улучшить условия работы нижнего бьефа водопропускных сооружений от размыва, улучшению экологической обстановки, а так же обеспечению их надежной и безопасной работы. Кроме того, по результатам исследований для строительства Тупалангского водохранилища предложенный вариант дает экономию больше 40% капитальных вложений.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования апробированы на 22 научно-технических конференциях, в том числе, ТИИМСХ «Совершенствование проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, насосных станций в условиях Узбекистана» (Ташкент, ТИИМСХ, 1994-2003); «Проблемы надежности и безопасности гидротехнических сооружений» (Ташкент, ТИИМ, 2006), «Современные проблемы сельского и водного хозяйства» (Ташкент, ТИИМ, 2007-2015), «Современные проблемы и перспективы механики» (Ташкент, Институт механики, 2006), «Современные проблемы, перспективы мелиорации и водного хозяйства Республики Узбекистан» (Ташкент, ТИИМ, 2008 ), «Социально – экономические и экологические проблемы сельского и

водного хозяйства” (Россия, Москва, 2010); “П Уркумбаевские чтения” (Казахстан, Тараз, 2013).

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы всего 40 научных работ. Из них 1 монография, 16 научных статей, в том числе 14 в республиканских, 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 197 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современные методы гашение энергии в высоконапорных туннельных водосбросах»** приведен обзор литературы

по современным методам гашения энергии в высоконапорных туннельных водосбросах, в том числе работающих в условиях пропуска закрученных потоков. Анализируется современное состояние изученности вопроса о движении закрученных потоков в отводящем тракте водосбросного сооружения, вопросы гидравлических расчетов вихревого водосброса, основные характеристики закрученных потоков.

В настоящее время известно много предложений по гашению избыточной кинематической энергии в пределах водосбросного тракта. Отмечается, что из всех перечисленных в работе способов гашения энергии внимания заслуживают водосбросы с закруткой потока, так как они позволяют обеспечить интенсивное гашение кинетической энергии высокоскоростного потока и повышение давления на стенке водовода, что уменьшает опасность кавитации при обтекании облицовки туннеля потоком. При этом исследованы водосбросные системы с регулирующим вихревым затвором, выполненным по типу направляющего аппарата гидротурбины. Однако, несмотря на достоинства водосброса с вихревыми затворами, подтвержденные модельными исследованиями, ввиду сложности изготовления и эксплуатации вихревого затвора водосбросы сданным завихрителем потока пока не внедрены в практику.

Существует ряд предложений использовать другие типы закручивающих устройств, например, в «Мосгидросталь» предложили водосброс с закруткой потока, оснащенный простыми затворами обычных, выпускаемых заводами конструкций. Исследования показали, что предполагаемая водосбросная система позволяет осуществить гашение значительной части энергии потока в камере смешения небольшой длины и улучшить кавитационно динамические условия в проточном тракте. Однако, конструктивная сложность системы ограничивает ее область применения.

Шахтный водосброс построен в составе Чарвакского водохранилища и запроектирован для Тупалангского водохранилища одного из вариантов водосбросного сооружения.

Из анализа обзора следует, что почти все работы были посвящены изучению закрученного потока в цилиндрическом напорном водоводе без возможности доступа воздуха в ядро потока. При этом отмечается, что для характеристики закрутки наиболее простым и достаточно надежным является

40

интегральный параметр, представляющий собой отношение тангенциальной компоненты касательного напряжения  $\tau_u$  к полному напряжению у стенки  $\tau$  или, что практически одно и то же – отношение окружной скорости  $V_u$  к полной скорости  $V$  у стенки:

$$\frac{V_u}{V} = \frac{\tau_u}{\tau} \quad (1)$$

В закрученном потоке существенное влияние на распределение

$$V = \{ \mid =$$

$$\Phi = (4) r^z$$

Тогда уравнение (3) с учетом равенства (4) приводится к системе уравнений для определения циркуляции скорости  $\Gamma$  и функции радиального момента осевой скорости  $\Phi$  относительно оси симметрии трубы: 2

[illegible]

Введем автомодельное преобразование к системам уравнений (5) и (6) в

$$y_4 \quad y^t_4 \quad z$$

где  $Re$  и  $Re_\tau$  - числа Рейнольдса при ламинарном или турбулентном течении  $\varepsilon$   
 $Re^2, Re Re,$

жидкости, определяются равенствами:

Тогда уравнения (5) и (6) приводятся к следующей системе уравнений для введенных функций  $\Gamma(y)$ ,  $\Phi(y)$ :

$$\begin{array}{ccccccc} \varepsilon_{;1\,2}, & |(\varepsilon|) & = - & |)| \\ |(\varepsilon^+ dy^d|) & {}_t d_t |(\Phi & \Gamma_1 & \Gamma du & d_\theta \\ \Phi_d & \Phi_d & & & \\ & |) & & & |(+)(8) \end{array}$$

$$\varepsilon^{11_2} + \varepsilon^{22_2} = 0$$

Решением первой системы уравнений (8) при этих условиях для ламинарного закрученного потока, будет иметь вид:

$$= - \frac{r}{\theta} \exp(rz), \quad (9)$$

$$\text{при } m=1 \text{ } u r z u y_{\theta} ( , 1 \exp ) = - - o[ \text{ } ] ( ) \quad ,$$

Для турбулентного потока имеем:

$$u(r, z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{r^m}{m!} \frac{\partial^m}{\partial z^m} \exp(-z^2), \quad (10)$$



$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( r^2 \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (13)$$

Далее определены распределение давления и удельной энергии при различных входных параметрах:

$$P = P_0 \left( 1 - \frac{z}{l} \right)^2 \cos \theta \quad (14)$$

где  $i$  – уклон.

Например, для ламинарного режима распределение давления определяется равенством

$$P = P_0 \left( 1 - \frac{z}{l} \right)^2 \cos \theta \quad (15)$$

Распределение удельной энергии определяется равенством

$$E = E_0 \left( 1 - \frac{z}{l} \right)^2 \cos \theta \quad (16)$$

отнесенная к напору от средней осевой скорости во входном сечении  $\frac{1}{2} \rho V^2$ .

Для дисперсной смеси имеем следующие уравнения

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho u \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \end{aligned} \quad (17)$$

$$\operatorname{Re} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) =$$

Как и в (7) формуле введем автомодельное преобразование  $\operatorname{Re}^2$

$$\left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) =$$

$=$ . Тогда уравнения (17) приводится к  $y_4$

$$\left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) =$$

обыкновенным дифференциальным уравнениям для компонент вектора скорости дисперсной смеси  $u_{\theta}$  и  $u_z$

$u$  (тангенциальные и осевые

компоненты):

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) = \end{aligned} \quad (18)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right) =$$

^ ^ ^

14

11

$$+ + \begin{array}{|c|} \hline | \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline | \\ \hline \end{array}$$

1111

$\epsilon_\theta$

11

$$\frac{d}{du}$$

$$\begin{array}{c} d \\ d \end{array}$$

$du$

14

# 1)

$$\begin{array}{c} d \\ d \end{array}$$

$du$

$$y u^{\tilde{n} \text{ } \tilde{n} \text{ } \tilde{n} \text{ } t \text{ } \tilde{n} \text{ } \tilde{n}}$$

$$- + dy$$

$$\frac{\tilde{n} \dot{i}}{\theta}$$

$dy$

$dy$

$y$

$dy$

$$J =$$

$dy$

$y$

$dy$

$y$

$dy$

1

3

$dy$

$$y$$

$dy$

$y$

610

(19)

$$\epsilon$$

где  $e_0^{* \wedge}$

Решение уравнения (18) имеет вид

$\varepsilon_+$

$$= 1^z \varepsilon$$

$\dot{u}^t$

$t$

$$|l\rangle$$

$$y$$

[illegible]

$$\chi \qquad \qquad \qquad \frac{8}{2} \qquad \qquad \qquad 2(1) \qquad \qquad \qquad t t t z t z \Pi$$

$$-\qquad \qquad \qquad r_z$$

$$\frac{[\exp(2) \exp(2)](1)}{x x r x x x E i x} 2$$

$$)\exp() [2 \exp() 2\ln() 2 ()] ^1 2$$

$$- - - - - + - - - + - - + \quad t t z t t t t \Pi \Pi$$

$$\frac{)\exp() [2 \exp() 2\ln() 2 ()] ^1}{x r x r x r x r E i x r} 2222$$

$$+ + - - - + - - +$$

$$\frac{(1}{t z t z t z t z} \Pi \qquad \qquad \qquad x E i x E i x x r E i x r E i x r$$

$$\frac{2}{1} ) ] ( ) ( 2 ) [ 3 \qquad \qquad \qquad 2 \qquad \qquad \qquad \frac{1}{1} ) ] ( ) ( 2 )$$

$$222$$

$$[ ] [ ] + + - + - - - - + - + - - - +$$

$$[3 \qquad \qquad \qquad 2 (1 \qquad \qquad \qquad 2 (1 \qquad \qquad \qquad \exp() [ ( ) 2\ln() ( ) ] \exp() [ ( ) 2\ln() ( ) ] \}$$

$$x r E i x x E i x x r E i x r x r E i x r \Pi \Pi \Pi \Pi$$

$$22222 + - - + - - - - + - - \quad t z t t t t z t z t z t z [1 \exp() ]$$

$$\exp() (1) [ ( ) ( 2 ) ] ^1 y x y y y x E i y E i y$$

$$\frac{2}{2} \Gamma \qquad \qquad \qquad \frac{2}{2} \qquad \qquad \qquad \exp() [ \exp() ] (1 \qquad \qquad \qquad - - + \quad t \qquad \qquad \qquad \Gamma_n \qquad \qquad \qquad \frac{0}{2} - - - + \Gamma + \qquad \qquad \qquad - - - - - t t t t n t t ^{t0}$$

$$\frac{\Pi \Pi}{x y y E i y x y E i y y E i y}$$

$$)[\ln() ( ) ] ^1 \qquad \qquad \qquad \frac{2}{2} \Gamma \qquad \qquad \qquad \exp() [ ( ) 2\ln() ( ) ]$$

$$\frac{20}{n} - \Gamma - + - - + \quad n t t t t \qquad \qquad \qquad - - + -$$

$$\frac{0}{\Pi} \qquad \qquad \qquad t t t t t 2$$

Распределение давления

$$\frac{2}{2} \qquad \qquad \qquad \frac{2}{2} \qquad \qquad \qquad \frac{2}{2} \qquad \qquad \qquad \frac{2}{2} \qquad \qquad \qquad \hat{\rho}$$

$$p p = + + + - \frac{V V f V f V}{10 \quad 20 \quad 0^{\wedge} \rho \quad 11 \quad 22} \quad 2 f f + \quad , (22)$$

Распределения удельной энергии определяются равенством

$$\begin{aligned} & \hat{,} \hat{,} \quad 1 \quad \hat{,} \hat{,} \quad 1 \quad 2 \quad 1 \quad 2 \\ & ( ) ( ) ( ) ( ) e r z p r z z z \\ & = + \hat{,} \hat{,} \quad u \quad + \quad \hat{,} \quad u \quad + \\ & \quad \rho \rho \rho f f f \\ & + \quad + \quad f f f + \\ & \quad 1 \quad 1122 \quad 1 \quad 2122 \\ & ( ) ( )' \\ & \quad u \quad 1 \quad + \quad u \quad \theta \theta \\ & \quad \hat{,} \quad \hat{,} \\ & \quad f f f \quad 1 \\ & + \\ & \quad \rho \rho f f f \\ & 112 \quad + \rho \quad \hat{,} \\ & \text{где } ( \hat{,} ), f f \rho = \rho + \rho = \rho_i + \quad (23) \\ & \quad \rho \\ & \quad \rho = \quad \rho \\ & \quad 12112 \quad 2 \quad i \\ & \quad 1 \quad i \end{aligned}$$

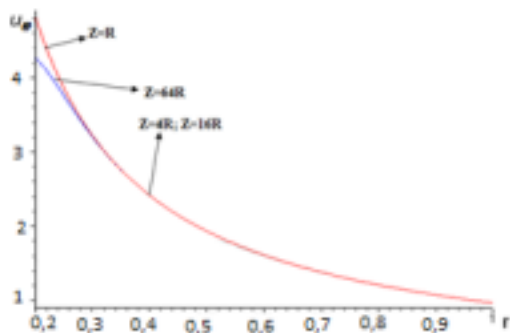
44

В главе приводится анализ распределения скоростей, давления, удельной энергии в цилиндрической трубе по теоретическим зависимостям. Расчеты выполнены для трубы в створах, расположенных на расстояниях 1, 4, 16, 64R радиусов от начала трубы и показаны на рис.1 при числе Рейнольдса  $Re = 2,16 \cdot 10^4$ . Следует отметить по графическому материалу, по распределению тангенциальных скоростей, что достаточно быстрое затухание закрутки происходит в начале трубы на участке активной трансформации как ламинарного, так и турбулентного потоков. На радиусах 0,2 r... 0,3 r наблюдается максимум тангенциальных скоростей и далее в центральной приосевой зоне происходит интенсивное затухание и к стенки по радиусу более пологое затухание скоростей. Надо отметить, что значения тангенциальных скоростей в аэрированных закрученных потоках больше, чем

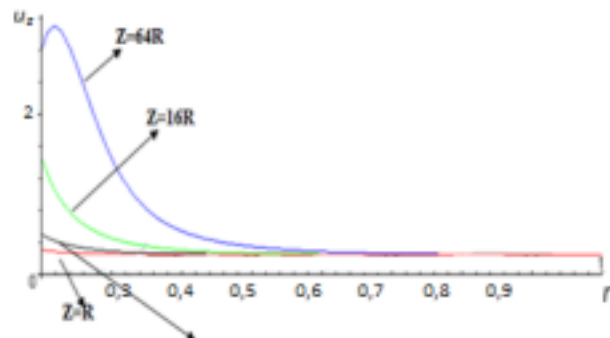
в потоке без аэрации. Значит, с увеличением интенсивности захвата воздуха увеличиваются тангенциальные скорости, следовательно, давление у стенки, что приводит к увеличению кавитационной безопасности стенки туннеля. Общей тенденцией развития профилей окружных скоростей как при ламинарном, так и при турбулентных режимах движения, является более быстрое затухание закрутки в центральной приосевой зоне потока в сравнении с ее затуханием на периферии, у стенок трубы и, как следствие постепенное смещение зоны максимальных скоростей от оси трубы к ее стенкам по мере продвижения потока по длине трубы.

График распределения осевой компоненты скорости в функции радиуса и расстояния от входного створа, представлены на рис.2. Из рисунка видно, что распределение осевой компоненты характеризуется тем, что при  $r \rightarrow 1$  (вблизи стенок трубы) и с ростом расстояния от входного створа происходит падение значений скорости, в то время как в приосевой зоне по длине трубы осевые скорости постепенно нарастают.

В работе Животовского указывается, что для закрученного турбулентного потока максимумы осевых скоростей лежат на более высоких радиусах, чем максимумы тангенциальных. Это действительно так, если сопоставить профили тангенциальных и осевых скоростей на рис.1 и рис.2 в створах на расстоянии одного и четырех радиусов от начала трубы, где поток имеет существенную закрутку.



**Рис. 1. Тангенциальная составляющая**



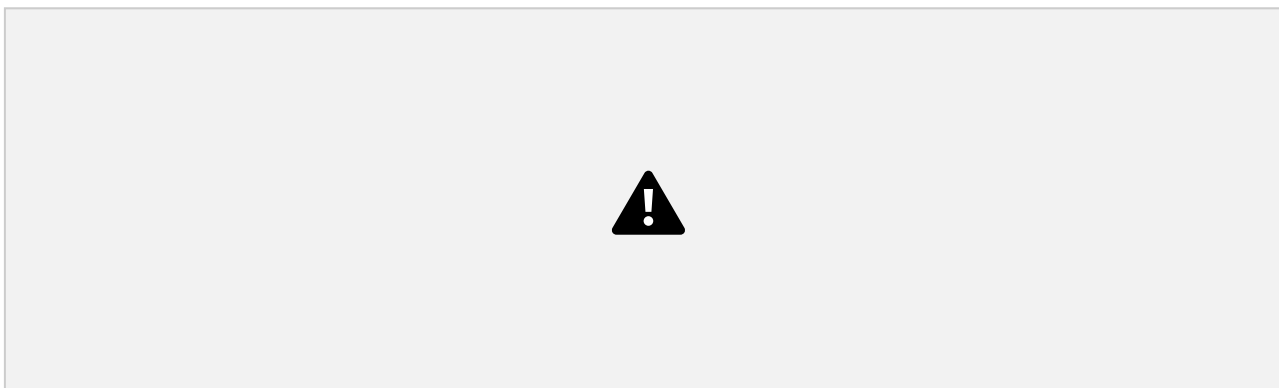
**Рис. 2. Осевая составляющая скорости смеси**

Z=4R

Графики распределения давлений в потоке в функции радиуса и расстояния от входного створа в горизонтальной трубе показаны на рис.3. Можно видеть, что, если в начале трубы давление значительно возрастает по радиусу от центра к стенкам, то после расстояния в 16 радиусов от входа закрутка практически не оказывает влияния на распределение давления по сечению. Таким образом, в закрученном потоке давление нарастает от центра к стенкам трубы с градиентом, равным центробежному ускорению  $u^2/\chi$ .

Для высоконапорных гидротехнических туннельных водосбросов это позволяет обеспечить на обтекаемых облицовках существенное избыточное давление, особенно на начальных участках водоводов, где велики скорости потока, и тем самым снизить опасность возникновения здесь кавитации, а

при ее возникновении за счет выталкивающей силы, действующей в поле центробежных сил, вынести кавитационный факел внутрь потока вдоль от стенок трубы. Графики распределения удельной энергии в потоке показаны на рис.4.



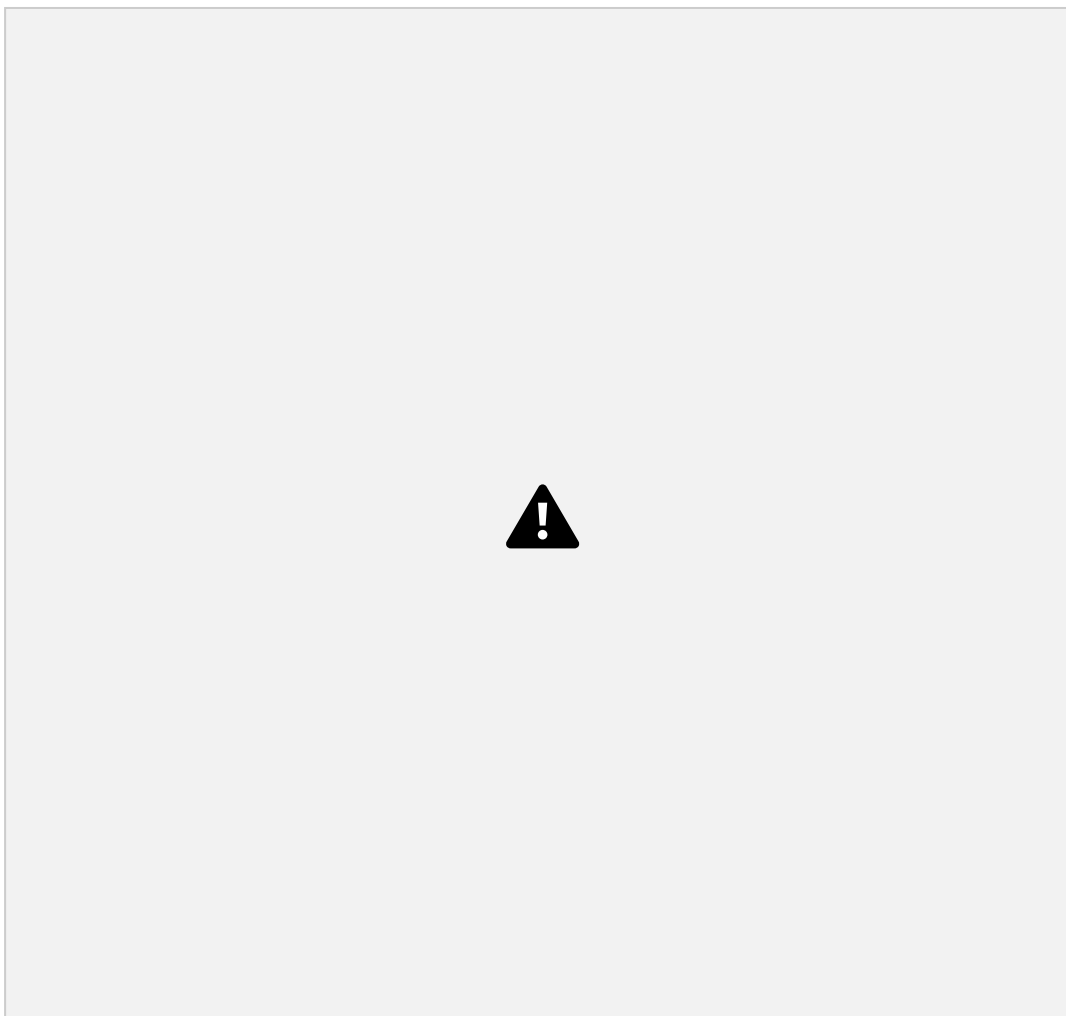
**Рис. 3. Распределение давления** **Рис. 4. Распределение удельной энергии** В начале трубы давление значительно возрастает по радиусу от центра к стенкам, но после расстояния в 16 радиусов от входа закрутка практически не оказывает влияние на распределение удельной энергии по сечению. В третьей главе диссертации **«Экспериментальные исследования закрученных потоков»** приводятся описание экспериментальных установок, методика исследований и обработка экспериментальных данных, освещаются вопросы особенности гидравлического моделирования закрученных потоков в вихревом водосбросе.

Гидравлические исследования проводились на моделях эксплуатационного водосброса высоконапорных гидроузлов с напором более 150 м, аналогично Тупалангского водосброса двух серий: серия «А» в масштабе 1:50–фрагментные модели, серия «Б» а масштабе 1:60–генеральная модель. На рис.5показаны фрагменты исследованных цилиндрического водовода и устройства гашения энергии на отводящем участке шахтного водосброса. Модель серии «А» состояла из вертикальной шахты, узла закрутки потока тангенциального типа и горизонтального отводящего туннеля. На моделях рассматриваемой серии исследовалось два основных варианта конструктивного исполнения отводящего туннеля:

46

I варианта с цилиндрическим водоводом, диаметром 0,26 м и длиной  $l=2,45$  м, за которым располагается туннель корытообразного поперечного сечения и II вариант с конфузорным сопрягающим элементом, за которым располагалась камера гашения в виде цилиндрического водовода и дальше туннель корытообразного поперечного сечения.

*Масштаб модели 1:50*



**Рис. 5. Фрагменты исследованных цилиндрического водовода и устройства гашения энергии на отводящем участке шахтного водосброса.**

Устройство гашения энергии исследовался в трех вариантах: II-1, II-2, II-3 с одинаковой длиной  $L_k$  и различными углами конусности с соответствующими соотношениями площадей  $\omega_{K.K.}/\omega_{H.K.}=0,716; 0,48; 0,29$ , что обеспечило следующие значения коэффициента внезапного расширения  $\omega$

$$K_{\Gamma} K^6 P_{\omega}$$

при сопряжении конфузора с отводящим туннелем  $\omega=1,4; 2,09; K_{\Gamma}$

3,45 (где  $\omega_{K.K.}$ ,  $\omega_{H.K.}$  – соответственно площади поперечного сечения конца и начала конфузора,  $\omega_{K.\Gamma}$  – площадь поперечного сечения камеры гашения). На модели серии «Б», представляющей собой весь водосброс (шахтный и глубинный) за исключением напорного подходного участка глубинного

водосброса, исследовались три варианта конструкций отводящего туннеля: цилиндрический водовод (вариант III), туннель с конфузуром (вариант IV), конфузурный туннель вначале, сопрягающийся с туннелем корытообразного поперечного сечения без внезапного расширения (вариант V).

Следует отметить, что исследования отводящего тракта водосброса проводились при разной геометрии закручивающего устройства. При этом геометрическая характеристика тангенциального завихрителя составляла:

$$\frac{\pi}{R_u R} = 0,6; 0,925; 1,245 - \text{ для моделей серии } R_u R$$

$$\frac{\omega}{\pi} = 1,17 - \text{ для } \omega$$

А

моделей серии «Б», где  $R$  – радиус водовода,  $R_u$  – расстояние от оси водовода до центра ключевого сечения.

Исследования проводились с использованием следующих измерительных приборов: скорости в осевом потоке – трубка Пито, в закрученном потоке -пятиканальная шаровая трубка с диаметром шарика 8 мм, концентрация воздуха потока - датчик аэрации конструкции НИСа Гидропроекта.

Гидравлическое моделирование потоков в вихревых водосбросах усложняется из-за наличия в них участков с закруткой потока, так как здесь должны учитываются центробежные силы, возникающие в потоке, которые при интенсивных закрутках потока могут значительно превышать по величине силы тяжести и существенно влиять на его гидравлические характеристики и структуру.

Известно, что по этой причине в закрученном потоке может произойти разрыв сплошности потока и образоваться полое ядро. Указанное обстоятельство приводит к необходимости учета в закрученном потоке, кроме сил вязкости и тяжести, силы давления, то есть для модели и натуры должны выполняться условия.

$$Eu = \text{idem}, (24)$$

Б.Л.Животовский предложил в качестве критерия подобия закрученных потоков использовать интегральный параметр закрутки  $\Pi$ . При этом должно соблюдаться условие:

$$\Pi = \text{idem}, (25)$$

Физический параметр  $\Pi$  выражает меру отношения центробежных сил к силам инерции, то есть сил, определяющих процессы в закрученном потоке, оценки интенсивности закрутки потока, а следовательно для интегральной оценки состояния потока и его структуры.

Обработка результатов экспериментальных исследований показывает, что интегральный параметр  $\Pi$  по своей природе является числом  $Eu$ . В исследованиях изучается работа водосброса, который характеризуется наличием потоков с различной структурой, т.е. одновременно находится в условиях безнапорного, закрученного и осевого потоков. Ввиду наличия последнего обстоятельства, моделирование осуществлялось по закону гравитационного подобия Фруда  $Fr$  с учетом автомодельности рассматриваемых явлений по числу Рейнольдса  $Re$ .

$$Fr = \text{idem}; Re > Re_{\text{кр.}}$$

Определено, что для участка туннеля с закрученным потоком диапазон изменения чисел  $Fr$  и  $Re$  следующий:

$$Fr = 0,397 \dots 79,5; Re = 6,5 \cdot 10^4 \dots 2,16 \cdot 10^4,$$

В четвертой главе диссертации «Гидравлические характеристики закрученного потока в вихревых водосбросах, сравнение с теоретическими расчетами» изложены результаты экспериментальных гидравлических исследований закручивающего устройства и отводящего водовода вихревого водосброса с цилиндрическим и конфузорным участками в условиях воздухозахвата из шахты.

В исследованиях рассматривался достаточно широкий диапазон изменения расходов водосброса, поэтому в вертикальной шахте формировались качественно различные гидравлические режимы: напорный режим в шахте, характеризующийся отсутствием вовлечения воздуха; безнапорный режим по всей высоте шахты; безнапорный режим на начальном участке шахты с последующим переходом в напорный или образованием водо-воздушной «подушки» соответствующей высоты.

Визуальные наблюдения за состоянием закрученного потока в цилиндрической трубе (закручивающее устройство – тангенциальный завихритель) показали, что паровоздушное ядро не устойчиво по длине и ось ядра несимметрична относительно геометрической оси водовода.

На рис.6 показан график изменения коэффициента концентрации воздуха в шахте (в ключевом сечении завихрителя)  $Q/Q$

$$\frac{W_{\text{возд}}}{W_{\text{вод}}} = \frac{f^a}{B}$$

зависимости от относительного расхода  $Q/Q_{\text{зам}}$  (где  $W_{\text{возд}}$ ,  $Q_a$  – соответственно объем и расход воздуха,  $W_{\text{вод}}$ ,  $Q$  – объем и расход воды). Важно отметить, что

конструкция отводящего туннеля не влияет

на процесс воздухозахвата. При промежуточных горизонтах воды в шахте происходит интенсивный захват воздуха, расход которого растет с понижением уровня воды в шахте и увеличением высоты падения струи. При этом очевидно, что увеличение воздухозахвата, и соответственно, уменьшение сбросного расхода приводит и к наибольшей степени аэрации



потока.

потока показывает, что при исследованных режимах в тангенциальном завихрителе гасится

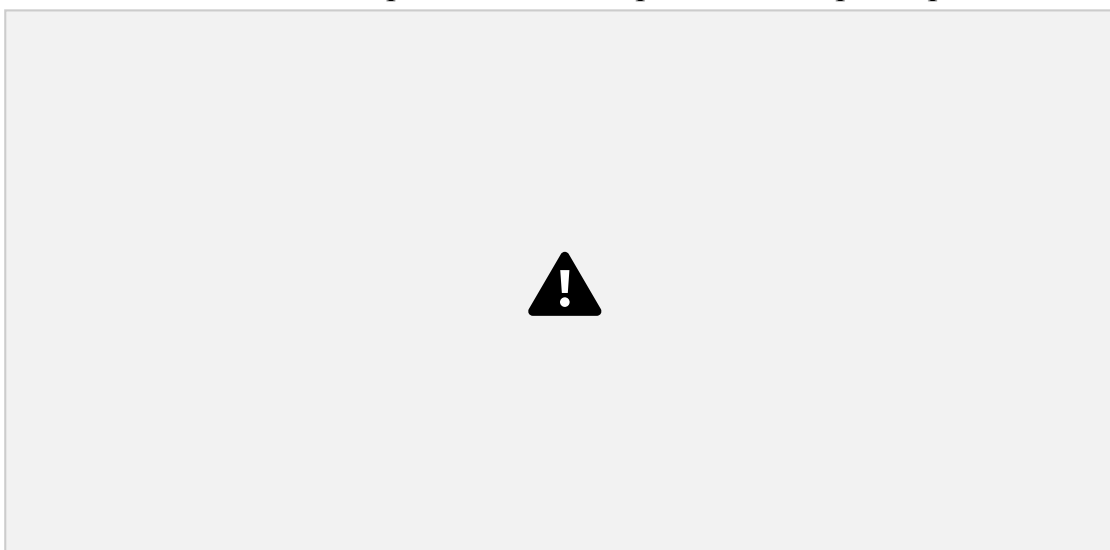
**Рис. 6. Изменение коэффициента концентрации воздуха в шахте в зависимости от расхода  $Q/Q_{\text{зат}}$**

Анализ процесса гашения энергии

31÷45%, а в отводящем водоводе 39÷45% энергии. При выборе режима работы вихревого водосброса, определяемого параметром  $A$ , приходится

49

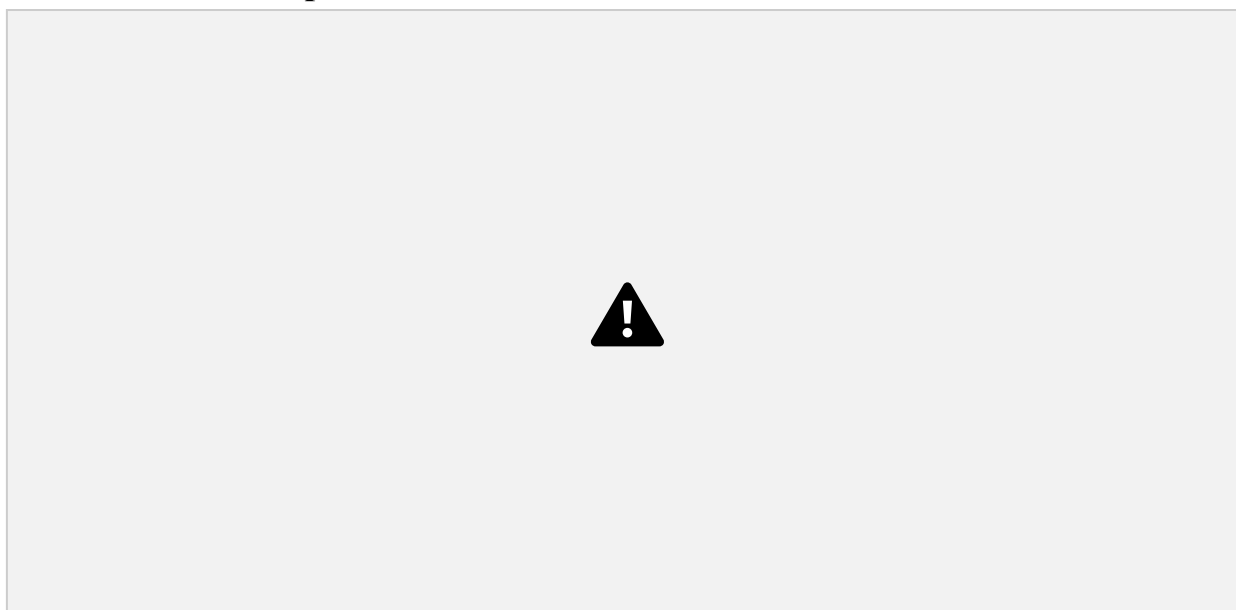
увязывать необходимую степень гашения энергии в отводящем водоводе, размеры водосбросной системы. Из анализа пропускной способности степени гашения энергии и оптимального размера водосбросной системы наиболее оптимальным является завихритель с геометрическим параметром  $A=0,925$ .



----- кривая по А.Зуйкову без воздуха; кривая по автору с воздухом; кривая по эксперименту

**Рис. 7. Распределение тангенциальных скоростей**

**Рис. 8. Распределение осевых скоростей**



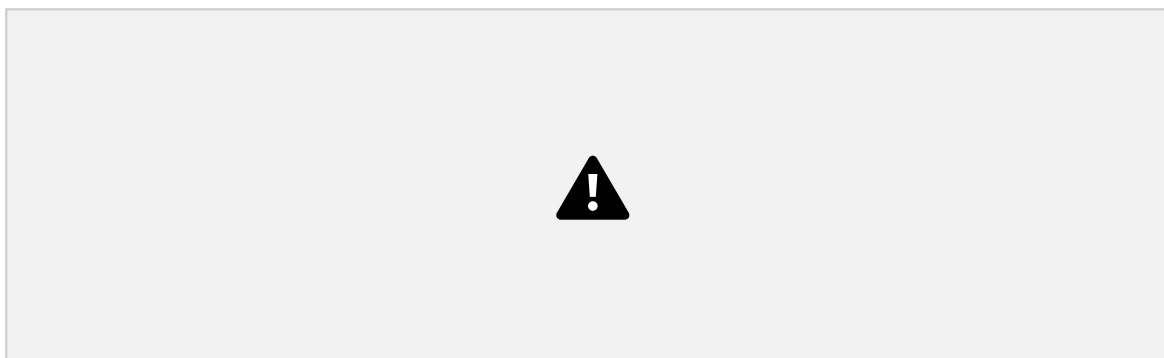
## Рис. 9. Распределение давления Рис. 10. Распределение удельной энергии

На рисунках 7-10 показаны сопоставление теоретических расчетов распределения тангенциальных и осевых скоростей, давления и удельной энергии для закрученного потока в условиях аэрации с воздухом (расчетная зависимость автора) и без воздуха (кривая по А.Зуйкову), а также результаты эксперимента на одинаковой длине  $Z=4R$ . Можно видеть, что результаты расчетов соответствуют экспериментальным данным. Небольшое отклонение объясняется несимметричностью закрученного потока, когда закручивающее

50

устройство-тангенциальный завихритель. В качественном отношении они сходны, но в количественном отношении имеет расхождение. С увеличением концентрации воздуха, увеличиваются углы закрутки, следовательно, происходит увеличение тангенциальных скоростей и давления о стенки, что обеспечивает кавитационную безопасность стенки туннеля.

На рисунке 11 показаны зависимости изменения в начальном сечении интегрального параметра закрутки потока от геометрического параметра тангенциального завихрителя ( )  $\Pi_0 = f(A)$ . С ростом величины  $A$  значения параметра  $\Pi_0$  увеличиваются. На рисунке 12 показано изменение интегрального параметра закрутки вдоль водовода. Кривые 4 и 5 обобщены зависимостью  $\Pi = f(l)$  из работы Б. Животовского водовода круглого поперечного сечения и полученные экспериментально нами. Видно, что получается хорошее совпадение характеров изменения  $\Pi$  вдоль исследованной длины водовода  $l = l / d = 50$ .



1 – из работы Б.Животовского; 2 – по данным автора.

**Рис. 11. Зависимость  $\Pi_0=f(A)$  для тангенциального завихрителя зависимости**

1, 2, 3 –  $A=0.6, 0.925, 1.245$  соответственно;  
4 – обобщенная зависимость для водовода

круглого сечения из работы Б.Животовского; 5 – обобщенная зависимость по данным настоящих исследований.

**Рис. 12. Изменения интегрального параметра  $\Pi$  вдоль водовода круглого сечения**

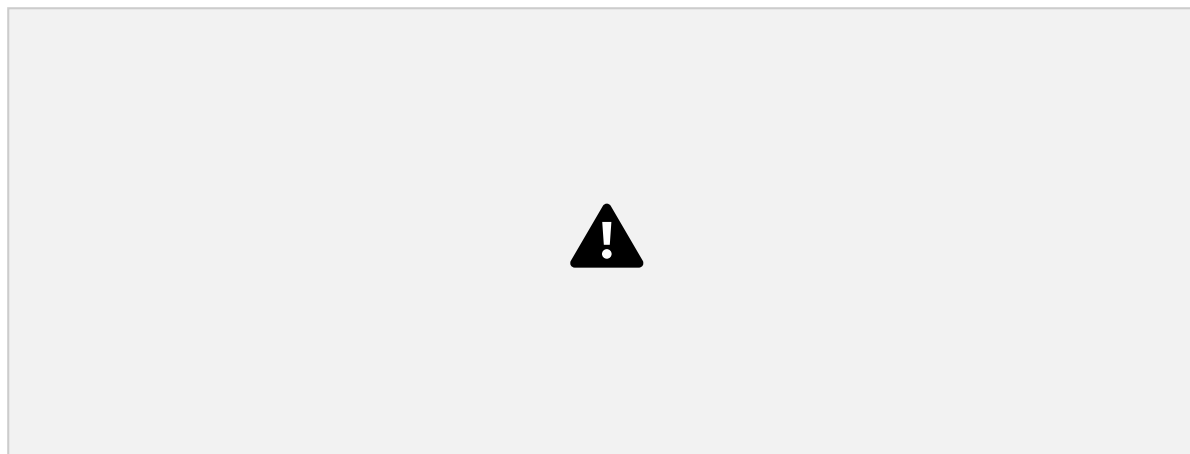
Небольшое отличие вызвано более сложной структурой закрученного потока за тангенциальным завихрителем в сравнении с вихревым затвором. С помощью обобщенной зависимости  $\Pi = f(l)$ , зная начальную закрутку  $\Pi_0$ , можно определить значение  $\Pi$  для каждого последующего сечения водовода.

Начальная закрутка  $\Pi_0$  определяется требуемой степенью гашения избыточной кинетической энергии потока и обеспечивается соответствующей геометрией закручивающего устройства.

Графики изменения значений коэффициентов сопротивления в завихрителе в зависимости от интенсивности закрутки потока на выходе из него приведены на рис. 13. С ростом параметра интенсивности закрутки растет гидравлическое сопротивление в завихрителе, его изменения составляют 0,42...0,6 исследованных в настоящей работе гидравлических режимов.

51

График зависимости коэффициента гидравлического сопротивления тангенциального завихрителя с плоской срезкой шахты от геометрического параметра  $A$ , (кривая 1, полученная в работе Б.Животовского) приводится на рис.14.



**Рис. 13. График зависимости**

$$\frac{f\zeta_{з.у.}}{\Pi_1} = f(A)$$

1 – из работы

Б.Животовского, 2 – по данным автора.

**Рис. 14. График зависимости**

$$\zeta_{з.у.} = f(A)$$

Как видно, обе кривые существенно отличаются. Причиной является то, что одинаковое значение параметра  $A$ , даже при работе сооружения в автомобильной зоне, не обеспечивает одинаковую структуру закрученного потока за завихрителем. Необходимо, чтобы закручивающие устройства были геометрически подобны.

В результате анализа был сделан вывод о том, что при расчетах нужно пользоваться значениями  $\xi_{з.у.}$  завихрителя т.к.

$\xi_{з.у.}$  вычисленными на выходе из

коэффициент расхода, вычисленный по этим сопротивлениям, наиболее соответствует коэффициенту расхода, определенному по расходу через мерный водослив:

$$\mu_+ = \frac{Q}{\mu_{gH}}$$

$$\alpha \xi_{з.у.} = \mu_{gH}$$

$$= \dots, (26) \omega_u \kappa^2$$

При этом значение до 0,58.

$\xi_{3,y}$  изменялось от 0,43

Значения  $\xi_{3,y}$  вычисленные с использованием по средней скорости,

составляют 2,0...5,2, что хорошо согласуется с зависимостью – 2 на рис.14.

Исследования показывают, что конструкция отводящего водовода резко влияет на характеристики потока. Характер изменения (показывает, что по длине рассматриваемых конфузоров происходит более интенсивное возрастание осевых скоростей и затухание окружных (для участка с  $l/d = 3,84$  при одинаковом расходе (II-3

$$\theta u/z u) =$$

$$1,96 \dots 1,7, 0.9 \dots 0.61^3 =$$

$$II - P_{\text{конф}} \text{ и } 0.9 \dots 0.84,$$

<sup>I</sup>  $P_{\text{цил}}$  здесь и далее: индексы I

I

=

52

и II-3 – соответствуют обозначению вариантов исследованных конструкций отводящего туннеля).

При наличии конфузора за завихрителем на стенках формируются значительные пьезометрические давления и полная удельная энергия существенно больше, чем при аналогичных расходах в цилиндрическом

$$\text{водоводе (конф } u_{cp} \text{ ) } g \text{ } \frac{u_{\text{цил}} u_{cp}}{u} \text{ } \frac{u^2}{2}$$

$$\rho \gamma = \dots ( ) ; \text{ и } g$$

$$/ 24$$

$$e^{II \text{ ср}}$$

$$\rho \gamma = g$$

=). Это

$$/ 6,5$$

$$^3 =$$

$$30$$

$$e^{I \text{ ср}}$$

$$2$$

$$2$$

$$g$$

$$\text{конф } 2$$

$$15$$

$$\text{цил } 2$$

обстоятельство снижает вероятность возникновения кавитации на поверхности завихрителя потока.

Из анализа пропускной способности и степени гашения энергии более оптимальным вариантом является конфузор по варианту II-2. При этом параметры конфузора следующие: угол конусности по вертикали  $\alpha = 5,47^\circ$ , в плане  $\alpha = 2,74^\circ$ , длина конфузора  $l = 3.85 d_{\text{ш}}$  (где  $d_{\text{ш}}$  – диаметр шахты). Степень

гашения энергии завихритель – водовод (камеры гашения) составляет  $\frac{E}{E_0}$ . В предложенном варианте в зависимости от

$$\frac{H_{\text{вх}}}{H_0} \cdot 100\% = 80\%$$

пропускаемого расхода, гашения энергии, т.е. переход от закрученного потока в осевой происходит на длине  $l=(20...30) d_{\text{ш}}$ , т.к. в цилиндрическом водоводе такая степень гашения происходит на длине  $l>50 d_{\text{ш}}$  (Патент на полезную модель №FAP 01104).

В пятой главе диссертации «Методы гидравлического расчета вихревых водосбросов с тангенциальными завихрителями» даются методы гидравлического расчета вихревых водосбросов с тангенциальными завихрителями в условиях воздухозахвата.

Выбор типа водосброса с закруткой потока зависит от конкретных условий гидроузла и требуемой степени гашения избыточной кинетической энергии потока. При длинном отводящем водоводе  $l/d>50...60$  ( $l$ ,  $d$ -длина и диаметр водовода) целесообразно плавно погасить энергию по длине туннеля с круглой, подковообразной или корытообразной формой поперечного сечения. При меньшей относительной длине отводящего водовода  $20...30 <l/d< 50...60$  можно применить конфузор с камерой гашения круглой, подковообразной или корытообразной формой поперечного сечения или квадратную, треугольную формы его поперечного сечения. При длине водовода  $l/d< 20...30$  возможно применение схемы контр вихревого гасителя для водосброса.

Расчет пропускной способности водосброса выполняется по формуле напорной системы: где формуле:  $\mu = 1$   
 $\mu$  – коэффициент расхода,  
определяемый по

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_{\text{подв}} + \xi_{\text{з.у.}} + \xi_{\text{отв}} + \xi_V}} \quad (27)$$

$\mu + + +$

где  $\xi_{\text{подв}}$  – суммарный коэффициент потери в подводящем водоводе, определяется по классической формуле Гидравлике;  $\xi_{\text{з.у.}}$  – коэффициент потери закручивающего устройства;  $\xi_{\text{отв}}$  – суммарный коэффициент потери

отводящем водоводе;  $\xi_V$  – коэффициент потерь, учитывающий остаточную закрутку на выходе из отводящего водовода.

Коэффициент

$\xi_{\text{отв}}$  определяется по формуле:  $\xi_{\text{отв}} = \sum_{i=1}^n \Delta l_i$

$$= \sum_{i=1}^n \Delta l_i$$

$$\sum_{i=0}^n \xi_i = \sum_{i=0}^n \xi_i + \phi, \quad (28)$$

$$\xi_i = \frac{d_i}{d_0} \xi_0$$

соответственно для осевого потока

где  $\xi_0$  и  $\phi$

$\xi_{z,i}$  — коэффициенты потерь

$\xi = \lambda$  — и дополнительных потерь, обусловленных закруткой в отводящем водоводе;  $\Delta l$  — соответственно длина участка и диаметр отводящего водовода,

$\phi$  — коэффициент, учитывающий соотношение потерь закрученного потока к осевому.

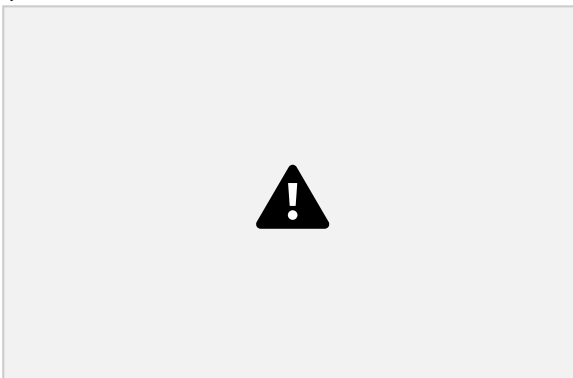
Коэффициент  $\xi$  определяется как отношение удельной кинетической энергии вращения потока на выходе из водовода к скоростному напору,  $v_{cp}^2$  подсчитанному по средней расходной скорости:

$$\xi = \frac{\theta}{v_{cp}^2}, \quad (29)$$

В первом приближении величину  $\xi$  можно определить также по формуле:

$$\xi = \frac{P}{1 + P^2}, \quad (30)$$

где  $P$  — значение интегрального параметра в конце отводящего водовода. В зависимости от требуемой степени гашения избыточной кинетической энергии принимается значение начального интегрального параметра в пределах  $P_0 = 0,6 \dots 0,8$  (меньшие значения  $P_0$  относятся к меньшим напорам). Требуемое значение  $P_0$  обеспечивается техническими характеристиками закручивающего устройства. Зная  $P_0$  из графика рис. 11 получаем значение геометрического параметра тангенциального завихрителя  $A$ . При известном параметре  $A$  из рис. 14 получаем гидравлическое сопротивление завихрителя  $\xi_z$ .



Варианты:  — цилиндр круглого поперечного сечения;  — конфузор;  при наличии вихревого затвора —

Для определения величины  $\xi_{отв}$  отводящий водовод разбивается на  $n$  участков, для каждого из которых находится среднее значение  $\xi$ . Расчет  $\phi_i$  (рис. 15).

кривая по Животовскому Б.А

**Рис. 15. Изменение коэффициента  $\phi$  в зависимости от параметра  $P$**  начинается с определения интегрального параметра закрутки

П.  $l = l$  из рис. 12.

Затухание закрутки вдоль водовода устанавливается путем

определения значений интегрального параметра закрутки  $\Pi$  для соответствующих поперечных

сечений, отстоящих от начального сечения  $l_0 = 4d$  на расстоянии.

54

Определив величины  $\Phi_0, \varphi_i$  для отводящего участка вычисляют суммарный коэффициент расхода  $\mu$ .

$\xi_{отв}$ , далее коэффициент

Расчет распределение давления и удельной энергии по длине отводящего водовода вычисляются по разработанной автором программы для ЭВМ, задаваясь исходными параметрами и размерами сооружений.

Рассчитываются действительные значения давления и удельной энергии путем умножения относительных величин на масштаб скорости, т.е. на среднюю расходную скорость:

$$P = p \cdot u_{cp}; E = e \cdot u_{cp} \quad (31)$$

Расчет начинается с начального участка и ведется последовательно вдоль водовода. В результате расчета определяется изменение давления и полной удельной энергии закрученного потока по всему водоводу.

Расчет распределение тангенциальных и осевых скоростей по длине отводящего водовода тоже вычисляются по разработанной автором программы для ЭВМ, задаваясь исходными параметрами и размерами сооружений.

Рассчитываются действительные значения профили тангенциальной и осевой скоростей путем умножения относительных величин на масштаб скорости, т.е. на среднюю расходную скорость:

$$U_\theta = u_\theta u_{cp}; U_z = u_z u_{cp}; (u_{cp} = Q \omega) \quad (32)$$

В шестой главе диссертации «**Оценка эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов**» рассматриваются вопросы эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов.

Непосредственное использование вероятностных методов при расчетах надежности и безопасности гидротехнических сооружений было начато трудами Ц.Е.Мирцхулавы и получило дальнейшее развитие в работах В.И. Велитченко, Г.А.Воробьева, Г.К.Габричидзе, Т.В.Гавриленко, Э.Г.Гагиева.

В главе приведены некоторые примеры аварий и повреждений водохранилищных гидроузлов в мире.

По данным Международной комиссии по большим плотинам в настоящее время в мире построено более 45 тыс. больших плотин, более 60% из них являются грунтовыми. Приблизительно на 45% плотин различных типов были зафиксированы аварии, а также прорывы напорного фронта.

К типичным видам разрушений в водосбросных сооружениях можно отнести: коррозию металлических частей; заклинивание затворов; повреждение опорно-ходовых устройств; кавитационно-эрозионные повреждения водосбросного тракта; недопустимая фильтрация по трещинам в бетонной обделке; разрушение от гидродинамической нагрузки и

При расчёте надёжности сооружения, его расчлняют на отдельные конструкции, конструкции – на составляющие элементы и т.д. Расчёт выполняется последовательно от простого к сложному, по установленным количественным характеристикам отказа отдельных элементов  $F(t)$ .

Вероятность отказа (неисправной работы) элементов или всего гидротехнического сооружения можно определить по формуле:  $\binom{n}{n} n^t$

( )

$$F t = , \quad (33)$$

0

$N_0$  – количество элементов сооружения.

$$P(t) + F(t) = 1 \quad (34)$$

$F(t)$  – вероятность отказа гидротехнических сооружений.

Составлены сценарии дерева отказов вихревого водосброса. При аварии водохранилища существенным является риск отказа водосброса. Вероятность безотказной работы вихревого шахтного водосброса на период времени  $t$

можно определить по следующей формуле:  $P(t) \text{ и } F(t),_{t \rightarrow c} = -\epsilon^{-c} \quad (35)$

где вероятность отказа водосброса.  $( ) ( ) ( ) ( ) ,_{123} F t F t F t F t$   
 $\dots$

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t () () () ()$$

$$()()()()(), ()()()()$$

$${}_{123}F\,t = F\,t \cdot F\,t \cdot F\,t$$

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \quad ( ) ( ) ( ) ( )$$

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \quad ( ) ( ) ( ) ( )$$

$$F_{t=141} = F_{t=141} \cdot F_{t=142} \cdot F_{t=143}, \quad (36)$$

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t$$

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

$$F t = F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t \cdot F t$$

2 1 211 212 213 214 215 216 217 218

( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( )

22 221 222

 ${}_1F_t$  ПОЯВЛЯЮТСЯ ${}_{11}F t$ , за счет повреждения ${}_{12}F t$ ; за счет повреждения ${}_{13}F t$ ; за счет повреждения водобойного $_{14}F t .$ 

${}_2F$  тот снижения пропускной

21  $F t$  - отказа затворного

22 *F t* - повреждения входа водосливной

56

$_{23}F t$  - террористического акта; ( )

## 24 $F t$ - СКОПЛЕНИЯ

25  $F t$  -сверхрасчетного паводка и ливня.

3.  $F$  от землетрясения выражается за

$_{31} F t$  - разрушения водосброса от вибрации; ( )

$_{32}F t$  - затопления и

$F$  появляются за счет вышеперечисленных причин и

дополнительно от кавитационной эрозии в коленах шахты, на поворотах в отводящем туннеле, в водобое и на гасителях энергии (формулы 36).

Сведения о среднегодовых частотах базовых отказов могут использоваться справочные, нормативные, литературные издания и публикации в сфере анализа риска и оценки уровня безопасности ГТС, а также статистики натурных данных об авариях ГТС.

В конце главы приведено сопоставление вероятностей отказов и надежностей элементов вихревых и шахтных водосбросов.

Анализ позывает, что 22% разрушений на ГТС происходит от кавитационной эрозии. Ввиду отсутствия кавитационной эрозии в вихревых водосбросах они надежнее, чем шахтные водосбросы.

## ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований докторской диссертации на тему: «Совершенствование конструкций, расчетного обоснования и эксплуатационной надежности вихревых шахтных водосбросов высоконапорных гидроузлов» следующие:

1. Разработана математическая модель азрированного закрученного потока в полуограниченной цилиндрической трубе в вихревых шахтных водосбросах с тангенциальными завихрителями в условиях воздухозахвата. Уравнение движения сформулировано по критериям подобия чисел Фруда, Эйлера и Рейнольдса, что даёт возможность определять и проектировать сооружения и параметры потока в широком масштабе.

2. Определено, что осевые  $u_z$  и тангенциальные  $u_\theta$  скорости закрученного потока на радиусе туннеля  $0,2...0,32r$  достигает максимума, уменьшается к оси туннеля большим, а к стенке, меньшим градиентом. Значения давлений и удельной энергии в закрученном потоке показывает понижение их в центральной приосевой зоне, вплоть до вакуума, к периферии потока они нарастают с градиентом, равным центробежному ускорению, при этом на стенках водовода может иметь место значительное избыточное давление, препятствующее развитию кавитационных явлений.

3. Усовершенствована методика гидравлического расчета вихревых водосбросов в условиях воздухозахвата. Разработанные программы для ЭВМ

57

(DGU 03451, DGU 03452) рекомендуются при проектировании вихревых водосбросов. Эти программы дают возможность быстро и достаточно точно проанализировать структуру потока и гидравлические характеристики потока в высоконапорных вихревых водосбросах, в том числе, дать оценку кавитационного условия и определить гидравлические потери.

4. В вихревых шахтных водосбросах в условиях воздухозахвата в тангенциальном завихрителе гасится  $31\div45\%$ , в отводящем водоводе  $39\div45\%$ , а в месте завихритель-водоводе  $70\div90\%$  энергии перед завихрителем.

5. Определены закономерности распределения эпюр скоростей,

давления и удельной кинематичной энергии в закрученном потоке и гидравлические сопротивления тангенциального завихрителя и закрученного потока в условиях воздухозахвата. При этом наблюдается увеличение гидравлического сопротивления тангенциального завихрителя, диапазон изменения  $\zeta_{з,у}$  составляет от 0,42 до 0,6. В отводящем тракте с увеличением воздухозахвата из шахты гидравлическое сопротивление в закрученном потоке увеличивается, что позволяет определить интенсивность гашения энергии.

6. Разработано новое устройство гашения энергии в отводящем водоводе (№ FAP 01104). При этом параметры конфузора следующие: угол конусности по вертикали  $\alpha=5,470$ , в плане  $\alpha=2,740$ , длина конфузора  $l=3.85 d_{ш}$  ( $d_{ш}$  – диаметр шахты).

7. Теоретический расчет профилей тангенциальных, осевых скоростей, а также давления и удельных энергий проверен сопоставлением с экспериментальными профилями, полученными при исследованиях закрученных потоков на лабораторной установке. Получено удовлетворительное совпадение опытных и теоретических расчетов параметров закрученного потока.

8. Выбор типа водосброса с закруткой потока зависит от конкретных условий гидроузла и требуемой степени гашения избыточной кинетической энергии потока. Созданное новое устройство гашения энергии в отводящем водоводе применяется при меньшей относительной длине отводящего водовода  $20 \dots 30 < l/d < 50 \dots 60$  и круглой, подковообразной или корытообразной формой поперечного сечения.

9. Разработан приближенный метод оценки надежности шахтных и вихревых водосбросов на этапе эксплуатации при анализе статистики аварий водосбросных сооружений, а также при расчетном обосновании работы его отдельных элементов, выполненных с использованием как вероятностных, так детерминистических методов расчета.

10. Для строительства Тупалангского водохранилища предложенный вариант дает экономию больше 40% капитальных вложений. Причем годовой экономический эффект от использования вихревого водосброса для Тупалангского водохранилища составляет 6,5 млрд. сум (в ценах 2015 года).

**YANGIEV ASROR ABDIHAMIDOVICH**

**IMPROVING THE STRUCTURE, DESIGN JUSTIFICATION AND  
OPERATIONAL RELIABILITY OF VORTEX SHAFT DISCHARGERS OF  
HIGH PRESSURE HYDROSYSTEMS**

**05.09.07- Hydrotechnical and meliorative construction**

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

**Tashkent-2016**



## **INTRODUCTION (abstract of doctoral dissertation)**

**The urgency and relevance of the theme of dissertation.** At present a

number of accidents have been happening in hydraulic structures build around the world, and 35 percent of them took place due to failing of reservoir discharge structures and water overflow through the top of dams<sup>7</sup>. These type of large accidents has taken place in USA, France, Italy, Brazil, South Korea and other countries. In hydraulic structure construction practice, water flow velocity in structures over 100m reach 50-60 m/s, hydrodynamic pressure increase in outflow tunnels, failing of structures against cavitation erosion and tailrace protection structures are observed. Therefore while designing high pressure hydraulic structures and constructing them a particular attention is given to their safe operation, implementation of vortex flow in discharge structures in order to dissipate energy and protect from cavitation erosion, development of deep discharge structures which allow safe passage of emergency flood waters.

In Uzbekistan implementation of organization of effective measures for effective operation and reconstruction of water reservoirs has been done in a wide scale. Water reservoirs have been used for irrigation purposes for many years in Uzbekistan too. Thus, included, in 2013-2017 construction and reconstruction<sup>8</sup> of 8 mudflood and water reservoir is planned with total volume of 40 mln. m<sup>3</sup>, improvement of their structure, providing their reliable and safe operation, increasing carrying capacity, improvement of operation regime of discharge structures, improving mechanisms of their effective operation have an important practical value.

Particular attention is paid to the improvement of the structures, basics of design justification, determining the reliability of high pressure reservoir hydrosystem shaft vortex spillways during operational periods. In this area, the realization of target science researches, including conduction of science research is priority task for the following areas: development of disperse mixture swirled flow mathematical model for semi-closed cylindrical pipe of vortex shaft dischargers in air intake conditions; development of hydraulic design methodics for vortex spillways in air intake conditions; development of computer software for designing velocity in air intake conditions, pressure and full specific energy profiles for swirled flow in air intake conditions; development of a new tailwater path energy dissipation device; determining the influence of air concentration and tailwaterway on swirled flow energy dissipation structure; development of vortex shaft spillway operational reliability estimation methods.

The dissertation to some extent may contribute to implement problems, defined in Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No 2272 “Organization of State inspection on surveillance of the technical condition of

<sup>7</sup>Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации связанные с гидротехническим строительством // Журнал “Гидротехническое строительство” – Москва, 2009. -№12. С.1-16.

<sup>8</sup>Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-1958 от 19 апреля 2013 года «О мерах по дальнейшему улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель и рациональному использованию водных ресурсов на период 2013-2017 годы»

Republic of Uzbekistan” dated March 24, 1999; Resolution of the Cabinet of Ministers “About the measures on implementation of the law of the Republic of Uzbekistan “About the safety of hydraulic structures” No.499 dated November 16, 1999, “About organization of Tashkent irrigation and melioration institute” No.150 dated March 30, 2004.

**Research conformity with the directions of sciences development and technologies of the republic.** The research is performed in accordance with priority fields of science and technology of the republic V. “Agriculture, Biotechnology, Ecology and Environmental protection”.

**A review of international research on the topic of dissertation<sup>9</sup>.** Science research aimed to issues of flow energy dissipation in tailwater path with application of flow swirling in discharge structures is performed in leading centers and higher education organizations around the world, including Bordo University (France), Bologna University (Italy), McGill (Canada), UCDAVIS University (USA), Kyushi University (Japan), Berlin Technical University (Germany), University of Natural Resources and Life Sciences (Austria), Moscow State Construction University, Moscow State Nature Conservancy University (Russia), Tashkent Institute of Irrigation and Melioration (Uzbekistan).

Researches performed around the world in the field of energy dissipation in tailwater path with the application of flow swirling in discharge structures delivered a number of science results including: development of structures on excess kinematic energy dissipation in discharge path (Bologna, Italy); development of hydraulic design methodics for vortex shaft discharge structures, mathematical models for determining main characteristics of swirled flow (Bordo, France, Moscow State Natural Conservancy University, Russia).

Researches on discharge structures with swirled flow performed around the world include the following priority fields: development of new structures for tunnel dischargers with effective energy dissipation in tailwater tunnel, providing safe and reliable operation of the whole discharge path and tail race; improving the design methodics for such dischargers, development of the model, algorithm and computer design software for estimation of swirled flow structure in various conditions of discharge structure operation, and developing a computerized system for monitoring of vortex discharge structure operation.

**The degree of study of the problem.** K.Drioli, M.Viparlli, M.Pic, F.Knapp (Bologna University), D.Janpierra and A.Lashala, P.Akers and E.Kramp (Bordo University), X.Stefana, A.Cleyshrot (UCDAVIS University), T.X.Axmedova,

<sup>9</sup> – A review of international research on the topic of dissertation is done on the basis of: F.H.Knapp. Ausfluss. uberfall und durchfluss in Wasserbau// VKarlsruhe, Verlag G. Braun. 2002. pp. 502-517; C.Drioli. Esperienze su installazioni con pozzo di scarico a vortices// "L' Energia Elettrica", 1993, Xo 6, pp. 399-409; M.Pica. Scarication a vortice// L'Energia Elettrica. 2006. vol. 47, №4 pp. 271-234; D.Jeanpierre, A.Lachal. Dissipation d'energie dans un puits a vortex// La Houille Blanche. 1966. vol. 21, №7 pp. 85-92; Gidroulic modelling of vertical dropshaft structures – International conference on the Hydraulic modelling of civil Engineering structures. London. Sept. 1982; P.Acrers, E.S.Grump. The vortex drop// The Inst. Of Civil Engineers. Proceeding. London: 2000. vol. 16, №8 pp. 443-442; H.Stefan. Betrachtungen sur Wirkunasweise von wirbelfallsehachten// Die Bautechnik. 1988. vol.45. №7, pp. 221-226 and other sources.

N.Xanov (Moscow State Nature Conservancy University) and others has performed research on the structure of swirled flow, vortex shaft discharger hydraulic design methodics.

Researches related with creation subsurface vortex discharge structures, improvement of hydraulic design methodics and development of mathematical model were performed by a number of scientists, including G.I.Krivchenko, A.P.Mordasov, A.M.Temirkhanov, A.L.Zuykov, B.A.Jivotovski, P.S.Galperin, N.N.Rosanova, G.N.Tsedrov and others. The study of swirled flow structure was done mostly for cylindrical spillways, particularly by A.Y.Milovich, B.A.Pyshkin, K.S.Bekhol, A.Chervinski, N.A.Chiger, B.A.Jivotovski, A.P.Mordasov, V.V.Volshanik, I.S.Novikova, N.N.Rozanova and others and positive results were obtained in some degree.

In present many proposed works are known in the field of redundant kinematic energy dissipation in spillway structures. Energy loss is increased due to imposition of additional resistances in the form of diaphragm row along the length of spillway tailrace path. A.S.Abelev has proposed a schematic for contiguously set gates in deep pressure discharge outlets, which is an efficient way for energy dissipation. In addition, there is a schematic for pressure energy dissipator, proposed by A.G.Chanishvili, tunnel spillway with shaft dissipating basin, a device in sudden expansion path in pressure discharge outlets, discharge outlets equipped with dissipation chamber of Mike type with flat and diaphragm gates. Still in present there are a number of problems, needing solution. Earlier existing methods for designing discharge structures with flow swirling required clarification and in a number of occasions they did not allow for obtaining expected results during the design of such structures. The influence of geometrical form of tangential swirler and tailwaterway structure on the structure of swirled flow for shaft air intake conditions. Existing theoretical design methods do not consider the influence of air concentration on swirled flow hydraulic structure, vortex shaft discharger operational reliability estimation has not been studied.

**Communication of the theme of dissertation with the scientific-research works of higher educational institution, which is the dissertation conducted in:**

The dissertation work is done within the scope of science research plans with works in Tashkent Institute of Irrigation and Melioration on subject matter 2.8 – “Improving the structure, development of basis for design, provision of hydraulic structure safety” of (2014-2015), USA project UB-ABS-20 MCX on subject “Studying reliability of hydrotechnical structures and developing measures on improving their operation safety” (2003-2005), Sectoral contract research work with the Ministry of agriculture and water management of the Republic of Uzbekistan on the subject “Developing measures on increasing the technical reliability of reservoir hydrosystems in operation and under reconstruction (2006, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013), Sectoral contract research work with “Davsuvhujaliknazorat” (State water management inspection) on subject “Inspection of technical condition of water reservoirs and hydrosystems” (2012-

2014), applied projects No. 14-02 “Improvement of structural elements, providing reliable and safe operation of earthfill dams” (2012-2014).

**The aim of the research work** is to improve the structure, basis for design justification and to develop estimation methods for operational reliability of shaft vortex discharge structures with tangential swirlers, operating with intensive air intake through shaft.

**The tasks of the research work:**

- to develop a mathematical model for disperse mixture swirled flow in a semi-closed cylindrical pipe under air intake conditions for vortex shaft dischargers with tangential swirlers;

- to develop the methods for hydraulic computation of vortex dischargers under air intake conditions;

- to determine swirled flow velocity profile, pressure and full specific energy distribution under air intake conditions;

- to develop a new energy dissipation device for tailwaer path;

- to determine the influence of air concentration and tailwaterway structure on characteristics and swirled flow energy dissipation;

- to compose emergency scenario for failproof operation of vortex shaft discharger and to develop methods for evaluation of vortex shaft discharger operational reliability;

**The objects of the research work** are shaft discharge structures of high pressure water reservoir hydraulic structrure systems being designed water reservoir hydraulic structure systems under operation (including Charvak, Tupalang, Gissarak and Chimkurgan water reservoirs).

**The subject of the research work** is vortex shaft discharge structure energy dissipator, development of mechanism, algorithm, software for swirled flow model in air intake conditions and providing discharge structure reliability.

**Methods of the research work.** Mathematical and hydraulic modeling methods, experimental result processing, developing of computer software program was applied in the process of the research.

**Scientific novelty of the research work:**

- hydraulic computation method for vortex dischargers in air intake conditions has been developed;

- tangential swirler and swirled flow hydraulic resistance influence was determined;

- a new energy dissipation device for tailwaer path was developed; the influence of air concentration and tailwaterway structure on characteristics and swirled flow energy dissipation was justified; emergency scenario for failproof operation was composed and vortex shaft discharger operational reliability estimation method was developed. **Practical results of the work** are in the following:

- swirled flow velocity profile, pressure and full specific energy distribution for air intake conditions was determined;

mathematical model for disperse mixture (aerated flow) swirled flow in semi-closed cylindrical pipe with tangential swirlers has been developed for air intake conditions for vortex shaft dischargers;

mathematical model and computer software program was developed to design swirled flow velocity profile, pressure and full specific energy distribution along the length of tailwaterway, which gives the opportunity to estimate cavitation conditions at tunnel walls and the thickness of tunnel lining; (№ DGU 03451, № DGU 03452);

a new energy dissipation device was developed, which allows to dissipate energy on short distance of a vortex discharger tailwater tunnel (№ FAP 01104); values of tangential swirling device and swirled flow hydraulic resistances for determining vortex discharger carrying capacity in air intake conditions were determined;

hydraulic design methodics was improved for vortex discharge structure with tangential swirler in air intake conditions, which allows to calculate all the necessary hydraulic parameters of swirled flow while designing a vortex discharge structure;

vortex shaft discharger operational reliability estimation method was developed.

**The reliability of the research results** is justified by estimation of measuring device accuracy, comparison of the experimental results with design and theoretical data, application of basic physics laws and approved mathematical methods for development of main theoretical ratios and comparison of the results with other research works.

#### **Theoretical and practical significance of the study.**

Scientific relevance of the research is defined in the development of theoretical basics and mathematical models, contributing in the development of swirled flow theory, development of the new energy dissipation device, improving design methodics.

Practical value of the work consists of the opportunity to directly apply obtained results in designing high pressure shaft discharge structures. In addition, the developed computer software programs may be used to estimate cavitation conditions at tunnel wall and operational reliability.

**Implementation of the research results.** The scheme of energy dissipation in waterway with application of swirled flow and design methodics have been applied in water reservoirs, which belong to Republican association “Uzsuvtamirfoydalanish”, including Gissarak, Chimkurgan, and Pachakamar water reservoirs, to institute “Gidroproekt” during design of one of the options of discharge structure in Tupolang water reservoir, (certificate No.04/30-147 dated February 18, 2016, from the Ministry of Agriculture and Water Management of the Republic of Uzbekistan). Implementation of the dissertation results in practice allowed to improve operational conditions of tailrace water passage structures

against washout, improve ecological situation and provide their reliable and safe operation. In addition, according to the research results for Tupolang water

65

reservoir construction, the proposed option allows to save more than 40% of capital investments.

**Approbation of the research results.** The research results were tested in 22 scientific-technical conferences, including TIAME “Improving design, construction and operation of hydraulic structures, pump stations for Uzbekistan conditions” (Tashkent, TIAME, 1994-2003); “Hydrotechnical structure reliability and safety issues” (Tashkent, TIIM, 2006); “Current problems in agriculture and water management” (Tashkent, TIIM, 2007-2015); “Modern problems and perspectives of mechanics” (Tashkent, Institute of Mechanics, 2006); “Current issues, prospects in melioration and water management of the Republic of Uzbekistan” (Tashkent, TIIM, 2008); “Social-economic and ecologic issues in agriculture and water management” (Russia, Moscow, 2010); “II Urkumbaev readings” (Kazakhstan, Taraz, 2013)

**Publication of the research results.** Total 40 scientific works were published on the dissertation subject. These include 1 monograph, 16 scientific papers, 14 of them are in republican journals, 2 of them are in international journals, recommended by the Higher attestation committee of the Republic of Uzbekistan for publication of main scientific results of doctoral dissertations.

**The structure and volume of the thesis.** The structure of the dissertation consists of introduction, six chapters, conclusion, list of references, appendixes. The volume of the dissertation makes up 197 pages.

### THE MAIN CONTENTS OF THE RESEARCH PAPER

**In the introduction** of the dissertation, the topicality and relevance of the research are substantiated, the aim and objectives of the research, its object and subject are formulated, its conformity with the priorities of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan is shown, the scientific novelty and practical results of the study are described, the theoretical and practical significance of the obtained results are revealed, a list of introducing the research results into practice, published works and information on the structure of the dissertation are provided.

The first chapter of the dissertation «**Modern methods of energy dissipation in high pressure tunnel discharge structures**» gives literature review on modern methods of energy dissipation in high pressure tunnel discharge structures, including the ones operating with swirling flow conditions. The chapter analyses current level of the issue study about swirling flow motion in tailrace channel of discharge structure, vortex discharge hydraulic computation tasks, generalized swirled flow characteristics.

Currently many proposals on excess kinematic energy dissipation in discharge structure are known. It is noted, that out of all energy dissipation methods, listed in given work, the discharge structures with flow swirling are worthy of attention, since they provide intensive dissipation of kinematic energy of high velocity flow and boosting pressure on waterway walls, which decreases the

danger of cavitation when flow bypasses tunnel coating. Herewith discharge systems with guiding hydroturbine apparatus type regulating vortex gate have been researched. However, in spite of the advantages of discharge structure with vortex gates, verified by model studies, are not implemented into practice, considering complexity of production and operation of vortex gates.

There are number of proposals to utilize other types of flow swirling devices, for example in «Мосгидросталь» (Moscow hydrosteel) they proposed a discharge structure with flow swirling, which is equipped with simple gates of regular structure, fabricated in factories (plain and radial). In Moscow State Construction University V.V.Kuybishev they proposed and studied “counter vortex” discharge structures with interacting swirling flows. The research works showed that the proposed discharge system allows to dissipate the significant part of flow energy in small size mixing chamber and to improve cavitational and dynamical conditions in flowing system. However, constructive complexity of the proposed discharge system limits its application field.

Shaft discharge structure is built as part of Charvak water reservoir and designed as one of the options of discharge structure for Tupolang water reservoir. This system also uses quite simple high pressure gates: plain and radial, where kinematic energy dissipation is carried out by interacting concentric inversely swirling flows. It is also noted, that integral parameter is the simplest and sufficiently reliable for swirling characteristics. This parameter is a ratio of shear stress  $\tau_u$  tangential component to full stress  $\tau$  at wall, which practically is the same as the ratio of peripheral velocity  $V_u$  to full velocity  $V$  at wall:

$$\frac{\tau}{\tau} = \frac{V_u}{V} \quad (1)$$

67

In swirled flow centrifugal forces significantly effects on velocity distribution. Centrifugal forces depend upon flow swirling and continuously change along waterway.

The chapter describes energy loss calculation, which are formed by swirling, hydraulic resistance and pressure coefficient in swirled flow by known methods. The second chapter of the dissertation «**Theoretical research of disperse mixture (aerated flow) swirled flow movement in semi-closed cylindrical pipe**» of the dissertation brings up main information about theoretical research of aerated flow dispers mixture movement in a semi-closed cylindrical pipe with circular cross-section.

Laminar and turbulent movement rejimes of dispers mixture particles which take place in high pressure discharge structures have been studied. It has bee stated that mechanism of air intake by flow takes place and it results in formation of three-ply flow, consisting of water, water-air, air-droplet flow mix. Fluid swirled flow is formed by swirler, located near semi-closed cylindrical circular pipe, which forms local flow swirling. X.A.Raxmatulin’s model is used for mixtures.

In order to obtain an analytical solution of a problem about swirled axially

symmetric flow of viscous fluid incompressible mixture in a semi-closed pipe an equation by Navie-Stoks in Gromeko-Lamba form and continuity equation is given. Movement equation in Ozeen approximation will be as follows:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \int_{-1}^1 u \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 u^2 \, dz \right) = - \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 p \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 \tau_{rz} \, dz \right) \\ & \text{where } \tau_{rz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned}$$

Thus the movement equation can be written as follows:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left( \rho \int_{-1}^1 u \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 u^2 \, dz \right) = - \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 p \, dz \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho \int_{-1}^1 \tau_{rz} \, dz \right) \\ & \text{where } \tau_{rz} = \mu \frac{\partial u}{\partial z} \end{aligned}$$



$$\partial_{22} u'' + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{z}{\partial} \frac{\partial}{\partial \theta} \right) = +1 - \frac{2}{\partial} - \frac{2}{\partial} \quad (6)$$

We shall include automodel transformation to equations sets (5) and (6) in  $\text{Re}^2$

the following form:  $z^y$

= (7)

Where  $\text{Re}$  and  $\text{Re}_t$  - Reynold's numbers for fluid laminar and turbulent flow,  $\text{Re}^2$ ,  $\text{Re}$

which is determined by equalities:  $y$

$$\frac{y}{t} \varepsilon \varepsilon = \frac{\varepsilon \varepsilon}{4} \frac{z}{t} + \frac{+}{t}$$

Thus the equations (5) and (6) will be transformed into the following set of equations for input functions  $\Gamma(y)$ ,  $\Phi(y)$ :

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) &= - \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) \frac{\varepsilon}{d \theta} \\ \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) &= - \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) \frac{\varepsilon}{d \theta} \\ \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) &= - \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \right) \frac{\varepsilon}{d \theta} \end{aligned} \quad (8)$$

The solution for the first equation set (8) with these conditions and for swirled laminar flow will be as follows:

$$\text{for } m=0 \quad \Gamma \quad u r z y, 1 \exp \quad = - - \left[ \right] r$$

$$1, \exp^m$$

$$= \begin{bmatrix} - & - \\ & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \\ \end{bmatrix}$$

$$-[\ ] = \Gamma - - | |_{[ ]}, (m = 0, 1, 2) \quad (10)$$

Then the solution for equation (8) is

1 [ ] [ ] ( ) ( ) ( ) ( )

$$\begin{array}{r} 2 \\ u \\ 2 \end{array}$$

$$z \quad \text{where } {}_2y = \begin{matrix} x \\ 0 \end{matrix} \quad 2$$

$$q_{zx} x x x E i x E i x = \overset{u}{\underset{3_0}{- - - + - - + - + - -}} | || || | | \cup \cup | ] () () () () () ()$$

For turbulent flow (in the absence of vortex twist)  $\lambda$

$$() () ()^{222}{}_{1uzrrrrr}$$

$$, 1 2 1 3 2 \ln \gg = + - + - (12)$$

$$\frac{z}{z} R \quad \lambda \lambda \quad 8 \quad x$$

Radial velocity is determined fro the continuity equation by the following equality:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u) \quad (13)$$

$$= \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{u}{r} \right) \frac{r}{r}$$

Further pressure and specific energy distributions are determined for various input parameters:

69

$$2 \Pi = - - z i r i 1 \cos \theta (14) \text{ where } i - \text{slope.}$$

For example, for laminar rejime the pressure distributions is determined by the following equality

$$r i z P z l z l u \quad 16 \ln \quad ( ) ( )_{2_0} = - - - - + (15)$$

$$R \operatorname{Re}^z \quad r l$$

Specific energy distributions is determined by the following equality , , , , E

$$z r P z r u z r u z r u z r \theta z r = + + + \left[ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} \right] (16) \quad 222$$

$$( ) ( ) ( ) ( ) ( )$$

rated to mean axial velocity pressure in entrance section  $\frac{1}{2_0} \rho V$ .

For disperse mixture we have the following equations

$$\hat{1} \quad 2 \quad - - \left[ \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} \right] \left[ \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} \right] \quad \varepsilon 1 \wedge \quad \frac{\partial}{\partial u} \quad u \quad \frac{\partial}{\partial u} \quad \hat{1} \wedge \quad \frac{\partial}{\partial u} \quad \left[ \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} \right] \left[ \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} \right] \quad \frac{\partial}{\partial u}$$



$$dy \quad dy \quad y$$

$$\begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big] \\ \\ \begin{matrix} | & | & | \\ | & | & | \end{matrix} \Big) \\ \\ \wedge$$

$$1$$

$$\wedge \wedge \wedge$$

$$\begin{matrix} | & | & | \\ | & | & | \end{matrix} \Big)$$

$$\begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big( \qquad \begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big( \qquad + + \begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big) \qquad \begin{matrix} | & | \\ | & | \end{matrix} \Big) \\ \\ \varepsilon_{\theta}$$

$$\begin{matrix} du \\ | \\ | \end{matrix} \Big( \qquad \begin{matrix} d \\ du \end{matrix} \qquad \begin{matrix} d \\ d \end{matrix} \qquad du \qquad \begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big( \qquad \begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big) \qquad \begin{matrix} d \\ d \end{matrix} \qquad du \\ \\ y \, u^{\tilde{n} \, \tilde{i} \, \tilde{n} \tilde{z} \, \tilde{n} \tilde{z} \, t \, \tilde{n} \tilde{z}} \, \wedge (19) \, \wedge$$

$$- + dy$$

$$\begin{matrix} \tilde{n} \, i \\ \theta \end{matrix} dy \, \varepsilon$$

$$\begin{matrix} dy \\ y \\ dy \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} | \\ | \end{matrix} = \\ \\ \begin{matrix} dy \\ y \\ dy \\ y \\ dy \\ y \\ dy \\ 1 \\ \varepsilon \\ dy \\ y \\ dy \\ y \end{matrix}$$

where<sub>0</sub> =. equation (18) solution will be as follows: <sup>\*</sup>^

$$\begin{matrix} \varepsilon_+ \qquad \qquad \qquad {}^t u \\ \\ 1^z \\ \varepsilon \\ t \qquad \qquad \qquad \wedge \\ \\ \begin{matrix} \theta \, \rho \, \theta \\ f u f u + \end{matrix} \\ \\ - \\ y \\ \begin{matrix} | \\ | \end{matrix} \Big( - \end{matrix}$$

$$u^2 \Gamma = \frac{ye}{u} = \frac{1}{1122} = \frac{erf y}{\theta_+} \frac{\rho}{\pi} \frac{ff}{12}, \quad (20)$$

Equation (19) solution will be in the following form:

70

$$u \frac{x r'}{r^2} = 1 - \frac{0}{- + - + - - +} \{1 (1^{222} - x - x r x r x r) [\exp() \exp() (1) \exp()]\}$$

$$n z \frac{22}{22} \left( \frac{t z t z t z t z}{8} \right) \frac{1}{-} \lambda \frac{\lambda}{\lambda}$$

$$+ + - - + - - - - \frac{\beta}{x x x r x r x} [(1) \exp() (1) \exp()] \frac{22}{t t t z t z t 8} \frac{2222}{2222}$$

$$- - - + - - - + - - \exp() 2(1) \exp() \ln() ( ) ( )] x r x r x r x r E i x$$

$$E i x r t z t z t z z t t z 2$$

$$\frac{\exp() \exp()}{- - -} \frac{x x r}{\lambda} \frac{-}{\lambda} (1 (1) [(1$$

$$x r \frac{20 t}{222} \frac{t z}{222} \frac{1}{- - - - + - + -} \exp(y r D r r)$$

$$\frac{1}{\lambda} (1) - \frac{2}{t z} \frac{2}{2} \frac{1}{1} \frac{22}{22}$$



Pressure distribution

$$p = p_0 + \frac{\rho}{2} V^2 - \frac{\rho}{2} \left( \frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 - \frac{\rho}{2} \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \quad (22)$$

Specific energy distribution will be determined with the following equation

$$E = \frac{1}{2} \rho V^2 + \frac{1}{2} \rho \left( \frac{\partial V}{\partial r} \right)^2 + \frac{1}{2} \rho \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 + \frac{1}{2} \rho \left( \frac{\partial V}{\partial \theta} \right)^2 \quad (23)$$

where  $\rho = \rho_i + \rho_f$

The chapter gives analyses of velocity, pressure and specific energy distributions in a cylindrical pipe by theoretical correlations.

Calculations are carried out for pipes in sections, located at distances equal to 1, 4, 16, 64R radiuses from pipe origin and are shown at Fig.1 for Reynold's numbers  $Re = 2,16 \cdot 10^4$ . From tangential velocity distribution graphics material it must be stated, that quite fast attenuation of swirling takes place at pipe origin in

areas of active transformations of both laminar and turbulent flows. On 0,2r...0,3r radiuses maximum tangential velocities are observed and further intensive attenuation takes place in central paraxial zone and mild attenuation takes place at the walls along the radius. It must be stated that the tangential velocity value in aerated swirled flows are larger than in flows without aeration. Thus, tangential

velocity and therefore pressure at the walls increase with the intensity of air intake, which result in the increase of cavitation safety of tunnel walls. The general trend of circular velocity profile in both laminar and turbulent movement regimes is quite fast attenuation of swirling in central paraxial zone of flow as compared with its attenuation at the periphery of pipe walls, and consequently, gradual shifting of maximal velocities from pipe axes to its walls as flow moves along the pipe.

Velocity component distribution graphics as a function of the radius from the pipe entrance is shown in Fig.2. The Figure shows that axial velocity is characterized with the fact that as  $r \rightarrow 1$  (near pipe wall) the velocities decrease, and at the same time, the tangential velocities gradually increase in paraxial zone along the pipe.

Fig.1 shows that for swirled turbulent flow maximum axial velocities are smaller than those of tangential maximums. It is true if we compare axial velocity profiles in Fig.1 and Fig.2 at distances from pipe origin, where flow has a substantial swirling.

$$Z=4R$$

**Fig.1 Tangential component of mixture velocity. Fig.2 Axial component of mixture velocity.**

Flow pressure distribution charts for the function of radius and distance from head range in a horizontal pipe are shown in Fig.3. We can see that pressure increases significantly at the pipe beginning, and at the distance of 16 radiuses from head range the swirling practically doesn't influence the pressure distribution along pipe section. Therefore, in a swirled flow pressure increases from the center to pipe walls by gradient equal to centrifugal acceleration  $u^2/r$ .

It allows to provide significant excess pressure on streamlined coatings for high pressure hydrotechnical tunnel discharge structures, especially at the beginning parts of waterways, where flow velocities are high. The excess pressure decreases the danger of cavitation, and in case of cavitation occurrence as a result of buoyancy force in centrifugal field of forces, the excess pressure takes out the cavitation jet inside of flow away from pipe walls. Flow specific energy distribution charts are shown in Fig.4.



**Fig.3 Energy distribution Fig.4 Specific energy distribution** At the beginning of pipe the pressure increases significantly along radius from the center to walls, but at the distance of 16R radiuses from the pipe beginning the swirling practically doesn't influence specific energy distribution in cross section.

The third chapter of the dissertation «**Experimental research of swirled flows**» of the dissertation gives the description for experimental assemblies, research methods and experimental data processing and cover issues of hydraulic modeling features for swirled flows in vortex discharge structures.

Hydraulic research was conducted on models of operational dischargers of high pressure hydrosystems with pressures exceeding 150m, similar to Tupolang discharger of two series: series "A" in 1:50 scale – fragment models, series "B" in 1:60 scale – general model. Fig.6. displays fragments for researched cylindrical waterway and conical suppressor on tailrace part of shaft discharge structure. Series "A" model consisted of a vertical shaft, flow swirler of tangential type and horizontal tailrace tunnel. Two main options of tailrace tunnel structure were researched on models of the given series: I-option with cylindrical watersay with 0,26m diameter and  $l = 2,45\text{m}$  length, which has a tunnel of pan shaped section behind it, and II-option with convergent conjugation element, which has cylindrical waterway type suppression chamber and further a tunnel of a pan shaped section behind it.

Energy dissipation device was researched in three ways: II-1, II-2, II-3 with the same length  $L_K$  and varying conicity angle with corresponding area ratios  $\omega_{K.K}/\omega_{H.K} = 0,716; 0,48; 0,29$ , which provide the following coefficient values for sudden expansion at the point of conjugation of the converging element with tailrace  $\omega$

$${}^{K\Gamma}K_{ep}$$

tunnel

cross section areas at the  $\omega$

${}^{K\Gamma}$

$= 1,4; 2,09; 3,45$  (where  $\omega_{K.K}, \omega_{H.K}$  –

beginning and at the end of the converging element,  $\omega_{K,\Gamma}$  – cross section area of suppression chamber).



**Fig. 5. Fragments of researched cylindrical waterway and conical energy dissipator in tailwater part of shaft discharge structure. Model 1:50.**

Model of series «B» is a whole discharge structure (shaft and deep located), except access part of deep discharger. Three options of tailrace tunnel structure were studied on this model: cylindrical waterway (option III); tunnel with converger (option IV); convergent tunnel at the beginning, which connects with pan shaped cross sectional tunnel without sudden expansion (option V).

The research was conducted with the use of the following measuring devices: axial flow velocity – Pito pipe, in swirled flow – five-channel ball pipe with 8 mm ball diameter, flow air concentration – aeration sensor by Gidroproekt research sector.

It is known, that due to this reason flow uniformity may break in swirled flow and hollow nucleus may form there. The stated circumstance leads to necessity of considering pressure forces in swirled flow besides viscosity and gravity forces, that is, the conditions must be met for model and in reality:

$E_u = \text{idem}$  (24) B.L.Jivotovski proposed using integral swirling parameter for swirled flow similarity criteria:

$$\Pi = \text{idem} \quad (25)$$

The physical parameter  $\Pi$  represents the extent of centrifugal force ratio to inertia forces, that is the forces determining processes in swirled flow, estimation

74

of flow swirling intensity, therefore it is used for integral estimation of the flow condition and its structure.

Analyses of experimental observations show that the integral parameter  $\Pi$  is  $E_u$  number by its nature.

The given research studies the operation of discharge structure, which is characterized by presence of flow of various structure, that is, it is in swirled, free flow and aerated axial flow conditions at the same time. Considering the presence of the the above circumstance the modeling was carried out according to the law of gravitaional similarity of Froude  $Fr$ , accounting the self-similarity of the phenomenon under study by Reynold's number  $Re$ .

$$Fr = \text{idem}; Re > Re_{ep}.$$

It has been determined that for tonnel section with swirled flow the variation range for  $Fr$  and  $Re$  numbers is as follows:  $Fr = 0,397 \dots 79,5$ ;  $Re = 6,5 \cdot 10^4 \dots 2,16 \cdot 10^4$

The fourth chapter of the dissertation «**Hydraulic characteristics of swirled flow in vortex discharge structures, their comparison with theoretical design**» expounds the results for experimental hydraulic research of swirling device and deferent waterway swirling discharger with cylindrical and convergent sections under shaft air intake conditions.

The research deals with wide range of discharge change in discharger, therefore various hydraulic regimes formed in the vertical shaft, including pressure regime, charachterized with absence of air intake; nonpressure rejime along the full shaft height (free falling current); nonpressure regime at the beginning section of shaft with further changing into pressure regime or forming of water-air cushion of relevant height.

Visual observation of swirled flow in cylindrical pipe (swirling device - tangential swirler) show that steam-air nucleus is not stable along the length and nucleus axes is not symmetric relative to waterway geometric axes.

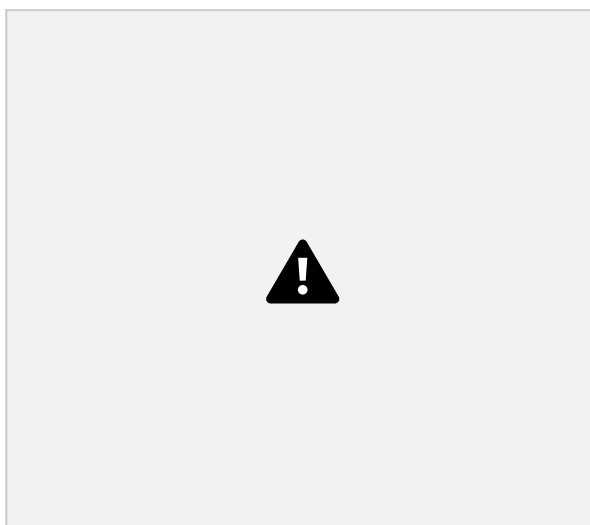
Fig.6 shows the shaft air consentration coefficient change curve (at swirler key section)  $Q/Q$

$$W = \text{as a function of relative discharge } Q < Q_{3am}, \text{ (where } f^a$$

$$\frac{W_{6030}}{W_{600}}$$

$W_{6030}$ ,  $Q_a$  – correspondingly air volume and discharge,  $W_{600}$ ,  $Q$  – water volume and discharge). It must be noted that deferent tonnel structure doesn't influence air

intake process. Intense air intake takes place at interim water levels, and its discharge increases with the decrease of shaft water level and increase of current falling height.



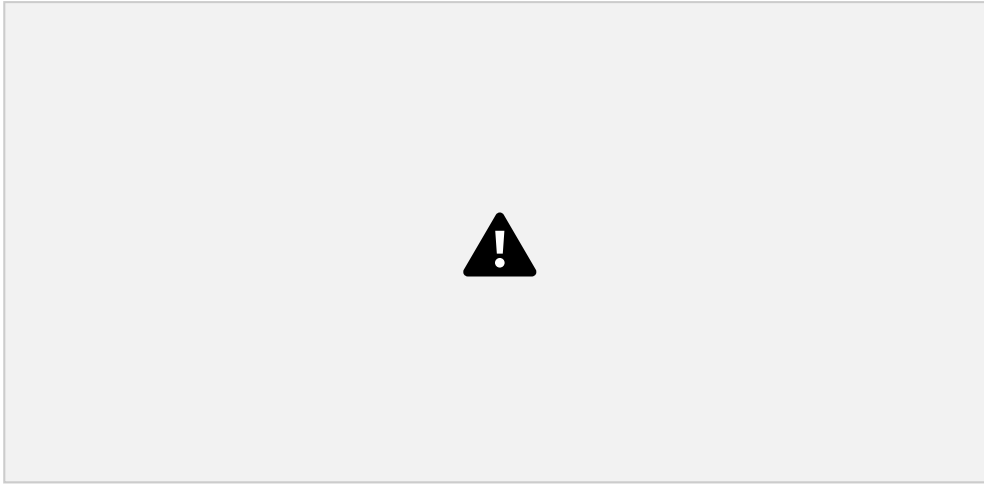
**Fig. 6. Shaft air concentration coefficient as a function of discharge  $Q/Q_{3am}$ .**

It is obvious that air intake increase and discharge decrease results in the most degree of flow aeration. Flow energy dissipation process analysis show, that at research regimes 31÷45% of energy is dissipated in tangential swirler and 39÷45% of energy is dissipated at deferent waterway.

While choosing vortex discharger operation regime, which is determined by parameter A, it is necessary to

correlate required energy dissipation degree at deferent waterway, including discharge system sizes. Throughput, energy dissipation degree and discharge system optimal size analysis show, that the most optimal is the swirler with geometrical parameter  $A=0,925$ .

Figures 7-10 display comparison for theoretical calculation of distribution of tangential and axial velocity, pressure and specific energy for swirled flow in aerated conditions with air (authors rated relationship) and without air (A.Zuykov's curve) and also experimental results at the constant length  $Z=4D$ . We can see, that calculated results correspond to experimental data. Slight deflection can be explained with asymmetry of swirled flow, when swirling device is a tangential swirler. They are similar qualitatively, but vary considerably quantitatively.

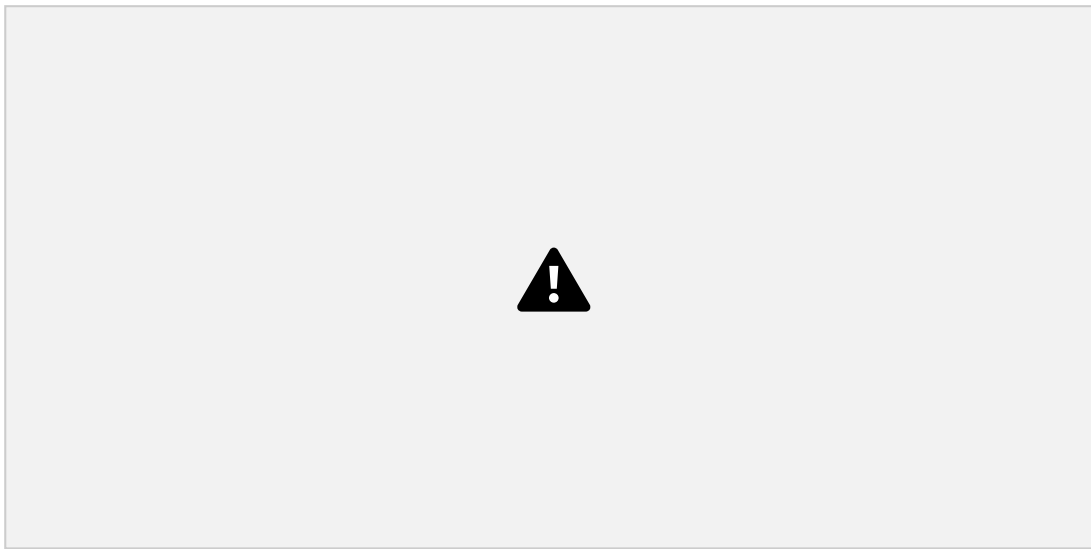


--- A.Zuykov's curve (without air); curve by author (with air) experimental curve

**Fig. 7. Tangential velocity distribution**

**Fig. 8. Axial velocity distribution**

76



**Fig.**

**9. Pressure distribution Fig. 10. Specific energy distribution** As the air concentration increase, so increases the swirling angles, therefore tangential velocities and pressure at walls increase, which provides cavitation safety at tunnel walls.

Figure 11 displays variation relationship at beginning section of flow swirling integral parameter as a function of tangential swirler geometrical parameter ( $\Pi_0 = f A$ ). As value A increases, so increases  $\Pi_0$  parameter values. Fig. 12 shows the change of integral parameter of swirling along waterway. Graphs 4 and 5 are summarized by ( $\Pi = f \varphi$ )

$\Pi = f \varphi$  relationship from B.Jivotovski's work on circular section waterways and experimentally obtained by us. We can see, that good match of  $\Pi$  changes along researched length of waterway  $\varphi = \varphi / d = 50$  is obtained. Small difference is aroused by complex structure of swirled flow behind tangential

swirler in comparison to vortex gate.



1 –by B.Jivotovski's work; 2 – by author's work

**Fig.11.  $\Pi_0=f(A)$  diagram for tangential swirler relationship**

1,2,3 –  $A=0.6, 0.925, 1.245$  correspondingly,  
4 – general relationship diagram for round section waterway by B.Jivotovski's work; 5 –

general relationship diagram by given work.

**Fig.12. Changing of integral parameter  $\Pi$  along round section waterway**

77

Using generalized relationship ( )

$\Pi = f(\dots)$ , knowing initial swirling  $\Pi_0$ , we can determine the value  $\Pi$  for every consecutive waterway section. Initial swirling  $\Pi_0$  is determined by the required dissipation degree of excess kinetic flow energy and provided by proper geometry of swirling device.

Variation graphics of coefficient of resistance in swirler as a function of flow swirling intensity at the outlet is shown on Fig.13. As swirling intensity parameter increases, so increases the hydraulic resistance in the swirler, this change is 0.42...0.6 for the hydraulic regimes researched in the given work.

Relationship graph for coefficient of hydraulic resistance of tangential swirler with plain shaft relief as a function of geometric parameter  $A$ , (curve 1, obtained in B.Jivotovski's work) is given in Fig.14.



**Fig.13. Relationship graph**

$f\zeta_{zy} = \dots$

1 – from B.Jivotovski's work, 2 – by author's data.

.. $\Pi_1$   
( )

**Fig.14. Relationship graph ( )  $\zeta_{3,y} = fA$ :**

Apparently, both curves vary significantly. The reason for it is that identical  $A$  parameter doesn't provide identical structure of swirled flow beyond the swirler even during structure operation in automodel zone. It is necessary for swirling devices to be geometrically identical.

As a result a conclusion was made about that during calculations one must use  $\xi_{3,y}$  value, determined at swirler outlet, since discharge coefficient, determined

by these resistances, is close to discharge coefficient, determined by discharge through measuring weir.

$$\mu_+ = \frac{1}{\alpha \xi} = \frac{\mu_g H}{\omega_u^2} \quad (26)$$

In so doing, value 0,55.  
 $\xi_{3,y}$  varied from 0,35 to

Research shows that deferent waterway structure sharply affects the flow characteristics. Change pattern ( length of  $\theta u/z u$ ) shows that along the observed confusers the axial velocities increase intensely and peripheral velocities dissipate (for section with  $l/d = 3,84$  for constant  $\theta u/z u$ ) = discharge of (  $\Pi_{\text{конф}} 2,22 \dots 0,76$

and (  $\Pi_{\text{улит}} 1,96 \dots 1,7, 0,9 \dots 0,61$ )  
 $\theta u/z u$ ) =  $\Pi_{\text{конф}}$  and  $0,9 \dots 0,84$ ,  
 $\Pi_{\text{улит}}$  here and further:  $\Pi_{\text{улит}} =$

78  
indexes I and II-3 correspond with marking of options of researched deferent tonnel structures).

At the presence of confuser beyond the swirler significant piezometric pressures form at walls and full specific energy is higher compared to analogical  $u_{\text{конф}} u_{\text{ср}}$

discharges in cylindrical waterway (for discharge ( )  $\rho \gamma =$

2  
 $u_{\text{улит}} u_{\text{ср}}$

$u$   $u$

and  $g$

( ) ;  $e^{II\ cp}$  =). This circumstance lowers the

$$\rho \gamma = g \quad e^{I\ cp}$$

$$/ 6,5 \quad 3 = \quad 30 \quad 15$$

$$2 \quad g \quad \text{конф } 2 \quad \text{цил } 2$$

possibility of cavitation formation at flow swirler surface.

The analysis of carrying capacity and energy dissipation level show that the most optimal confuser is the option II-2. In doing so confuser parameters are as follows:

conicity angle along the vertical line  $\alpha=5,47^0$ , in plan view  $\alpha=2,74^0$ , confuser length  $L=3.85 d_{III}$  ( where  $d_{III}$  – shaft diameter). Swiler waterway  $E E$ . For the given

(dissipation chamber) energy dissipation level is  $0.1 \cdot 100\% = 80\% H_{ex}$  depending on the discharge, dissipated energy, transition from swirled flow into axial flow occurs at length  $L=(20...30) d_{III}$ , since this dissipation level for cylindrical waterway occurs at length  $L>50 d_{III}$ . (**Patent for useful model № FAP 01104**).

Chapter five of the dissertation «**Hydraulic design methods for vortex discharge structures with tangential swirlers**» provides methods of hydraulic calculation of vortex dischargers with tangential swirlers in air intake conditions.

Choice of type for discharger with flow swirling depends on specific conditions of hydrosystem and required level of excess flow kinetic energy dissipation. In long deferent waterway  $l/d>50...60$  ( $l, d$  – length and diameter of waterway) it is reasonable gradually dissipate the energy along the length of tonnel with round, horseshoe-shaped or trough-shaped cross section. For smaller relative length of deferent waterway  $20...30 < l/d < 50...60$  it is possible to use a confuser with dissipation chamber of round, horseshoe-shaped, trough-shaped cross section or of square, triangular cross section. For the waterway length of  $l/d < 20...30$  it is possible to use schemes for counter-vortex dissipator for discharge structure.

Carrying capacity calculation for discharge structure can be carried out by the use of pressure system formula::

where

$\mu$  – discharge coefficient, determined by  $\mu + + +$   
the following formula::  $1$  (27)

$$\xi_{nods} \xi_{3y} \xi_{oms} \xi_V$$

where

$\xi_{nods}$  – summed loss coefficient in headrace waterway;

$\xi_{3.y.}$  – loss coefficient for swirling device;  
 $\xi_{oms}$  – summed loss coefficient in deferent

waterway;  
 $\xi_V$  – loss

coefficient, considering residual swirling at the outlet of deferent waterway.  $\xi_{om6}$  coefficient is determined as follows:

$$\xi_{om6} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta \phi_i}{\sum_{i=1}^n \Delta \phi_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{d_i^3}{d_0^3} \phi_i} \quad (28)$$

79

where  $\xi_{0u}$  – axial flow loss coefficient;  $\xi_{3,i}$  – respectively, loss coefficients for additional losses, и дополнительных потерь, specified by swirling in deferent waterway;  $\Delta \phi_i, d_i$  – respectively, length and diameter of deferent waterway,  $\phi$  – coefficient, considering relationship of swirled flow losses to axial flow losses.

Coefficient  $\xi_v$  is determined as the ratio of specific rotation to velocity pressure, determined by mean discharge velocity:

$$\xi_v = \frac{V_u}{V_{cp}} \quad (29)$$

In the first approximation the  $\xi_v$  value can be also determined by the following formula:

$$\xi_v = \frac{\Pi}{V_{cp}^2} \quad (30)$$

where  $\Pi$  – value of integral parameter at the end of deferent waterway. Depending on required level of excess kinenic energy dissipation level, the value of initial integral parameter can is accepted to be in the range of  $\Pi_0=0,6 \dots 0,8$  (lower  $\Pi_0$  values are for smaller pressures). Required  $\Pi_0$  value is provided by technical characteristics of swirling device. Knowing  $\Pi_0$  we obtain the value for tangential swirler  $A$  geometrical parameter from the graph in Fig.11.

Knowing parameter  $A$  we obtain hydraulic resistance of swirler Fig.14.  $\xi_{3,y}$  from the  $\xi_{om6}$  values the deferent waterway is divided into  $n$  sections, and for each section mean  $\phi_i$  value is determined. The calculation begins

In order to determine

by determining integral parameter of swirling  $\Pi$  (Fig.15.). Swirling dissipation along

