

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/07.06.2024.T.106.07
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

O‘TBOSAROV SHUXRATJON RUSTAMJON O‘G‘LI

**YUQORI BOSIMLI SUV OMBORLARI SUV CHIQARISH VA SUV TASHLASH
INSHOOTLARI KONSTRUKSIYALARINI MODELLASHTIRISH**

05.09.07 – “Gidravlika va muhandislik gidrologiyasi”

**TEXNIKA fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Farg‘ona-2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)
dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi**

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

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

О'тbosarov Shuxratjon Rustamjon o'g'li

Yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruksiyalarini
modellash tirish..... 3

Ўтbosаров Шухратжон Рустамжон ўғли

Моделирование конструкции водовыпуска и водосброса высоконапорных
водохранилищ..... 23

Utbosarov Shukhratjon Rustamjon ugli

Modeling of Water Release and Spillway Structures of High-Pressure
Reservoirs..... 46

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ
List of published works..... 50

**FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/07.06.2024.T.106.07
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

FARG‘ONA DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

O‘TBOSAROV SHUXRATJON RUSTAMJON O‘G‘LI

**YUQORI BOSIMLI SUV OMBORLARI SUV CHIQARISH VA SUV
TASHLASH INSHOOTLARI KONSTRUKSIYALARINI
MODELLASHTIRISH**

05.09.07 – “Gidravlika va muhandislik gidrologiyasi”

**TEXNIKA fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.2.PhD/T4781 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Farg‘ona davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy Kengash veb-sahifasida (www.fstu.uz) va “ZiyoNet” Axborot-ta’lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Xudaykulov Savet Ishankulovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Nosirov Faxriddin Jaylovovich
texnika fanlari doktori, professor

Jo‘rayev Sherali Sharipovich
texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot:

**Andijon qishloq xo‘jaligi va
agrotexnologiyalar instituti**

Dissertatsiya himoyasi Farg‘ona davlat texnika universiteti huzuridagi ilmiy daraja beruvchi PhD.03/07.06.2024.T.106.07 raqamli ilmiy kengashning «30» «12» 2025 yil soat 10⁰⁰ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 150107, Farg‘ona sh., Farg‘ona ko‘chasi 86-uy. Tel.: (+99873) 241-12-06; faks: (+99873) 241-13-03, e-mail: fstu_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Farg‘ona davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ ___ raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 150107, Farg‘ona sh., Farg‘ona ko‘chasi 86-uy). Tel.: (+99873) 241-12-06 e-mail: fstu_info@edu.uz.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «___» _____ kuni tarqatildi.
(2025 yil «___» _____ dagi ___-raqamli reestr bayonnomasi).

I.T.Karimov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash raisi, t.f.d., dotsent

Z.E.Abdulxayev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash ilmiy kotib, t.f.f.d, dotsent

L.N.Samiyev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash qoshidagi Ilmiy seminar
raisi, t.f.d., dotsent.

Kirish (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruksiyalaridagi gidravlik masalalarni modellashtirishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Buning sababi suv energetikasiga oid texnik muammolar majmuasining keng qamrovliligi, shuningdek, mazkur xalq xo'jaligi tarmog'iga xos bo'lgan jarayonlar doirasida gidravlik hodisalarning keng ko'lamda uchrashidir. Shu jihatdan suv omborlari, sel-suv omborlari va boshqa suv xo'jaligi obyektlari xavfsizligini hamda ishonchli ishlashini ta'minlash maqsadida suv chiqarish inshootlari gidravlik hisobini takomillashtirgan holda loyihalash va qurishning samarali usullarini ishlab chiqish, ularni samarali boshqarish texnologiyalarini takomillashtirish dolzarb ahamiyatga ega hisoblanadi¹.

Jahonda gidrotexnik inshootlarning mustahkamligi va ulardan barqaror foydalanish imkoniyatini ta'minlash, jumladan yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlarida yuzaga keladigan murakkab gidravlik jarayonlarni hisobga olgan holda, matematik modellashtirish mezonlari asosida inshoot konstruksiyalarini takomillashtirishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Jumladan suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruktiv elementlariga oqimning ta'sirini aniqlash, oqimning fazoviy-parametrik xususiyatlarini sonli usullar asosida o'rganish orqali inshootlarning optimal parametrlari va ishonchli ish rejimlarini asoslash ustuvor ahamiyat kasb etmoqda. Bu borada yuqori bosimli suv omborlari konstruksiyasini takomillashtirish, suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlaridagi oqim dinamikasini tavsiflovchi matematik modellashtirish algoritmlaridan foydalanish hamda zamonaviy raqamli texnologiyalar (CFD, RANS-SST modeli va boshqalar) asosida modellashtirish natijalarini amaliy loyihalashda joriy etish masalalari dolzarb hisoblanmoqda.

Respublikamizda so'nggi yillarda yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlarida oqim dinamikasini modellashtirish yuzasidan samarali ishlar olib borilmoqda. "...Suv omborlarini suv bilan to'ldirish va suvni chiqarish rejimi tartibini ishlab chiqish hamda ilmiy tadqiqotlar natijalari asosida suv omborlari, sel-suv omborlari, boshqa yirik suv xo'jaligi obyektlari, daryolar va gidrotexnika inshootlarining xavfsizligini ta'minlash, ishonchligini oshirish va ularni ishlatish bo'yicha yo'riqnomalar ishlab chiqish..."² bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Ushbu vazifalarini amalga oshirishda, jumladan, suv omborlaridan suv chiqarish rejimi tartibini ishlab chiqish va aniqlash uslubini takomillashtirishda ularga ta'sir etuvchi omillarni inobatga olgan holda oqim dinamikasini modellashtirish, suv tashlash inshootining konstruktiv-texnologik yondashuvini aniqlash va tavsiyalar ishlab chiqish dolzarb ahamiyat kasb etmoqda.

¹ "O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020 — 2030-yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'g'risida" O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 10.07.2020 yildagi PF-6024-son

² "O'zbekiston Respublikasi Suv xo'jaligi vazirligi faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" O'zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori, 06.04.2021 yildagi PQ-5055-son

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022 — 2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”, 2020-yil 10-iyuldagi PF-6024-son “O‘zbekiston Respublikasi suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020-2030 yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Farmonlari va 2019-yil 9-oktyabrdagi PQ-4486-son «Suv resurslarini boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» va 2019 yil 25-oktyabrdagi PQ-4499-son “Qishloq xo‘jaligida suv tejovchi texnologiyalarni joriy etishni rag‘batlantirish mexanizmlarini kengaytirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalarini rivojlanishining IV. “Qishloq xo‘jaligi, biotexnologiya, suv muammolari, ekologiya va atrofmuhit muhofazasi” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi: Hozirgi vaqtda suv omborlarining ta’sir ko‘lami, ularning dinamikasi hamda yuqori bosimli suv omborlarida suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruksiyasini modellashtirish masalalari dolzarb hisoblanadi. Yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va suv tashlash inshootlaridagi oqim dinamikasining nazariy asoslari va hisoblash usullaridagi muammolar A.B.Avakyan, S.T.Altunin, K.M.Berkovich, V.F.Brekhovskix, X.A.Ismagilov, A.V.Karashev, O.A.Kayumov, A.B.Kitaev, Yu.M.Matarzin, D.A.Nikiforov, Ya.F.Pleshkova, Sh.R.Pozdnyakov, L.V.Potapov va boshqa tadqiqotchilarning ishlarida bayon etilgan hamda ilmiy asoslangan ijobiy natijalarga erishilgan.

Xususan, suv chiqarish inshootlari konstruksiyalarining maqbul parametrlarini ishlab chiqish, ularda yuzaga keladigan gidravlik jarayonlar hamda qonuniyatlarini o‘rganish, ularni hisoblash usullari bo‘yicha bir qator mahalliy olimlar J.F.Fayzullaev, K.Sh.Latipov, A.A.Xamidov, A.M.Arifjonov, O.Sh.Bozorov, B.X.Xujayorov, S.I.Xudayqulov, A.M.Fatxulloyev, I.K.Xujaev, Z.M.Malikov, U.U.Jonqobilov va boshqa olimlar tomonidan keng qamrovli ilmiy tadqiqot ishlar olib borilgan.

Bugungi kunda ushbu yo‘nalishda olib borilgan keng qamrovli ilmiy va amaliy tadqiqotlarga qaramasdan, yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va suv tashlash inshootlari xavfsizligini baholashda matematik modellashtirish orqali gidravlik hisob ishlarini amalga oshirish masalalari yetarlicha o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti “Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti”ning ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq KXA-A-QX-2018-291 “Yuqori bosimli to‘g‘onlardagi tutashuvchi oqimlar konstruksiyasini takomillashtirish va hisoblash usullarini ishlab chiqish” (2018 - 2020 y.y.) mavzusidagi amaliy loyiha doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlarida yuzaga keladigan gidrodinamik jarayonlarni baholash orqali ularning ish rejimini tavsiflovchi matematik modellashtirish usullarini takomillashtirish hamda zamonaviy raqamli texnologiyalar (CFD, RANS-SST modeli va boshqalar) asosida modellashtirish natijalarini amaliy loyihalash va ekspluatatsiya jarayonlariga integratsiyalashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

yuqori bosimli suv chiqarish va suv tashlash inshootlari bo'yicha ilg'or ilmiy manbaalarni tizimli tahlil qilish va ularning konstruksion, gidravlik hamda ekspluatatsion xususiyatlarini baholash.

Karkidon suv omborining suv chiqarish va suv tashlash inshootlarida suv oqimining dinamikasini matematik modellashtirish, oqimning fazoviy-parametrik xususiyatlarini sonli usullar asosida o'rganish.

gidrodinamik hisoblashlar asosida Karkidon suv ombori suv tashlash inshootlaridagi oqimning qarshilik koeffitsientlarini aniqlash.

suv tashlash inshootining burilish qismida hosil bo'ladigan bosim va tezlik taqsimotlarini hisobiy modellashtirish orqali tajriba natijalari bilan taqqoslash, modellar ishonchliligini verifikatsiyalash va kalibrlash.

Tadqiqotning obykti sifatida Farg'ona viloyatidagi Karkidon suv omborining suv chiqarish va suv tashlash inshootlari olingan.

Tadqiqotning predmetini gidrodinamika usullari, hisoblash mexanikasi matematik modellari va suv omborlarining suv chiqarish hamda suv tashlash dinamikasi tashkil etadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot ishida "Tezlik maydon", modellashtirish orqali topilgan yechimlarni eksperiment natijalari bilan taqqoslash, gidravlika va gidrologiyada umum qabul qilingan uslublar, matematik modellashtirish va ularni sonli yechish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

Karkidon suv ombori suv chiqarish inshootida ikki fazali oqim muhitida CFD modellashtirish asosida zatvorga ta'sir etuvchi gidrodinamik bosimlar, ularning pulsatsion harakteri va energiya yo'qotishlar bilan bog'liq qonuniyatlari aniqlangan hamda ikki fazali oqimning zatvor konstruksiyasiga ta'siri gidrodinamik qonuniyatlar asosida baholangan;

suv chiqarish inshootlari kirish qismlaridagi gidravlik qarshilik koeffitsientlarini inobatga olib, bu orqali turli shakldagi kirish qismlarining oqim barqarorligiga ta'siri baholanib, energiya yo'qotishlarni kamaytirish va oqim ajralishi ehtimolini pasaytirishni ta'minlovchi elliptik va silliq o'tishli kirish konturlari maqbul konstruksiya shakllari sifatida tavsiya etilgan;

yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlaridagi oqim dinamikasini tavsiflovchi matematik modellashtirish algoritmlaridan foydalanib, inshoot burilish qismidagi oqim tezligi va bosim taqsimotini hisoblash usullari mahalliy gidravlik qarshiliklar hamda burilish geometriyasining ta'sirini hisobga olgan holda takomillashtirilgan.

Karkidon suv ombori misolida suv chiqarish va suv tashlash inshootining burilish qismidagi bosim va tezlik taqsimotlari CFD, xususan, turbulentslikning

SST modeli yordamida modellashtirilib, olingan hisobiy natijalar eksperimental hamda amaliy ko'rsatkichlar bilan solishtirilganligi, bunda SST modeli bo'yicha nisbiy xatolikning o'rtacha 2,32% ni tashkil etganligi sababli, matematik modelning ishonchliligi tasdiqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

ikki fazali muhitga oqim chiqish dinamikasini tavsiflovchi matematik modellashtirish ifodalari orqali chiqish qismidagi konusli zatvorga ta'sir etayotgan bosimni yuqori aniqlikda hisoblash imkoniyati yaratilgan;

suv tashlash inshootlari kirish qismlarida gidravlik qarshilik koeffitsientlari aniqlashtirilgan hamda turli shakldagi kirish qismlarining (elliptik, dumaloq, burchakli) samaradorligi baholanib, optimal konstruktiv konturlarni tanlash metodikasi takomillashtirilgan;

inshoot quvurining burilish qismlarida bosim va tezlik taqsimotlari aniqlangan hamda ular Karkidon suv omborining real inshoot sharoitlarida CFD modellashtirish asosida sinovdan o'tkazildi va tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslanib, adekvatligi isbotlangan;

suv tashlash inshootlarida oqim dinamikasini modellashtirish asosida bosim va tezlik taqsimotlarini hisoblash usullari ishlab chiqilgan va bu asosida olingan natijalar amaliy loyihalash jarayonida qo'llash uchun tavsiya etilgan;

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi olingan natijalarning fizikaning umumiy qonunlari va matematik modellashtirish usullariga asoslanganligi, ularning haqqoniyligi tajriba ma'lumotlari hamda boshqa olimlar tomonidan olingan ilmiy ishlanmalar bilan solishtirish orqali tasdiqlanganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati yuqori bosimli suv chiqarish va suv tashlash jarayonlarini aniqlash va bashorat qilish bo'yicha usullarni takomillashtirish imkoniyatini berishi bilan ifodalanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati yuqori tezlikdagi oqimlarning inshoot zatvoriga bosim ta'sirini o'rganish orqali zatvorning zararlanish darajasini baholash imkonini berishi bilan izohlanadi.

Tadqiqotlar natijalarining joriy qilinishi. Yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruksiyalarini modellashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

Karkidon suv ombori suv chiqarish inshootida ikki fazali oqim muhitida CFD modellashtirish asosida zatvorga ta'sir etuvchi gidrodinamik bosimlar, ularning pulsatsion harakteri va energiya yo'qotishlar bilan bog'liq qonuniyatlari aniqlangan hamda ikki fazali oqimning zatvor konstruksiyasiga ta'siri gidrodinamik qonuniyatlarda baholanganligi hamda suv chiqarish inshootlari kirish qismlaridagi gidravlik qarshilik koeffitsientlarini inobatga olib, bu orqali turli shakldagi kirish qismlarining oqim barqarorligiga ta'siri baholanib, energiya yo'qotishlarni kamaytirish va oqim ajralishi ehtimolini pasaytirishni ta'minlovchi elliptik va silliq o'tishli kirish konturlari maqbul konstruksiya shakllari yuzasidan takliflar "Farg'ona viloyati suv omborlaridan foydalanish boshqarmasi" faoliyatida foydalanilgan (Suv xo'jaligi vazirligining 2024-yil 23-sentabr 05/13-3443-son ma'lumotnomasi). Natijada yuqori bosimli suv tashlash inshootlari

konstruksiyalariga turbulent oqim ta'siri baholanib, inshootdan xavfsiz va samarali foydalanish imkoniyati yaratilgan;

yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlaridagi oqim dinamikasini tavsiflovchi matematik modellashtirish algoritmlaridan foydalanib, inshoot burilish qismidagi oqim tezligi va bosim taqsimotini hisoblash usullari mahalliy gidravlik qarshiliklar hamda burilish geometriyasining ta'sirini hisobga olgan holda takomillashtirilganligi hamda Karkidon suv ombori misolida suv chiqarish va suv tashlash inshootining burilish qismidagi bosim va tezlik taqsimotlari CFD, xususan, turbulentlikning SST modeli yordamida modellashtirilib, olingan hisobiy natijalar eksperimental hamda amaliy ko'rsatkichlar bo'yicha tavsiyalar "Sirdaryo So'x ITHB" faoliyatida foydalanilgan (Suv xo'jaligi vazirligining 2024-yil 23-sentabr 05/13-3443-son ma'lumotnomasi). Natijada inshootning suv chiqarish qismidagi konusli zatvorga ta'sir etadigan kuch va bosimni SST modeli bo'yicha aniqlashdagi nisbiy xatolikni o'rtacha 2,32% ga kamaytirish imkoniyati yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari xalqaro, respublika va universitetlar miqyosida anjumanlarda muhokama qilingan va ma'qullangan, jumladan 3 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 13 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqola, jumladan 3 tasi Respublika, 3 tasi xorijiy jurnallarda nashr qilingan, 5 ta maqola xalqaro va mahalliy konferensiya materiallarida chop etilgan bo'lib, shulardan, 1 tasi Scopus bazasidagi konferensiyada, 4 tasi xalqaro va mahalliy konferensiyalarda va 2 ta EHM hisoblash dasturi uchun guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 124 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqot maqsadi va vazifalari, tadqiqot obyekti va predmeti to'g'risida ma'lumotlar keltirib o'tilgan. Bajarilgan tadqiqotlarning Respublika fan va texnologiyalarni rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalar bayon etilgan. Olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati yoritib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishining **"Yuqori bosimli suv omborlarida suv chiqarish va suv tashlash inshootlarini tadqiq etishga oid adabiyotlar tahlili"** deb nomlangan birinchi bobida suv omborlari suv chiqarish va tashlash inshootlari

turlari ularning ishlash prinsiplari haqida va joylashuviga ko'ra ularning tasniflari keltirib o'tilgan.

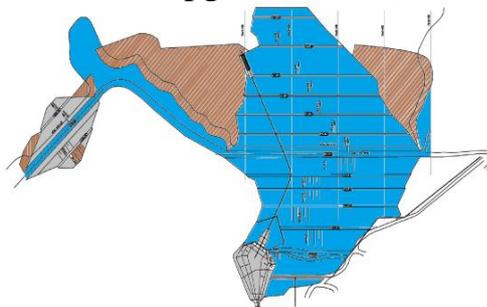
Tahlillardan ma'lum bo'lmoqdaki, yuqori bosimli suv omborlar tarkibidagi suv chiqarish va tashlash inshootlarida oqim odatda yuqori tezlikda bo'ladi. Bu esa o'z navbatida yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlari gidravlik samaradorligi va ekspluatatsion ishonchliligini ta'minlash, ularni loyihalash jarayonida kompleks muhandislik–ilmiy yondashuvni talab etadi.

Olib borilgan tadqiqotlar tahlilidan yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va tashlash inshootlarining kavitatsiya bilan shikastlanishi, oqim aeratsiyasi va deaeratsiyasining inshootlarga ta'sirini baholashning nazariy asoslarini ishlab chiqish, suv chiqarish jarayonida inshootlardagi bosim va tezlik taqsimoti, shuningdek, turbulent oqimlar bilan strukturaning o'zaro ta'siri oqibatlarini bo'yicha nazariy va amaliy tadqiqotlar olib borish kerakligi asoslangan.

Yuqoridagi tahlillar asosida dissertatsiya ishining maqsad va vazifalari belgilangan.

Dissertatsiya ishining **“Karkidon suv omborining bosimli suv tashlash va suv chiqarish inshootlaridagi oqim dinamikasini modellashtirish”** deb nomlangan ikkinchi bobida tanlab olingan tadqiqot obyektida inshoot suv chiqarish quvuridan oqimning chiqishidagi bosimni aniqlash, turbulent oqimning inshoot ish tartibiga ta'sirini o'rganish bo'yicha olib borilgan tahlillar natijalari keltirilgan.

Tadqiqot doirasida ko'rib chiqilayotgan gidrotexnik inshootlarning to'g'on devori materiali tabiiy shag'al-qumli tuproqli turiga mansub bo'lib, ularning konstruktiv yechimida to'g'on tanasida suv o'tkazuvchanlikni kamaytirish uchun maxsus gidroizolyatsion qatlam qo'llanilgan. To'g'on tanasining asosiy materiali shag'alli-qumli gruntlardan tashkil topgan. (1-rasm).

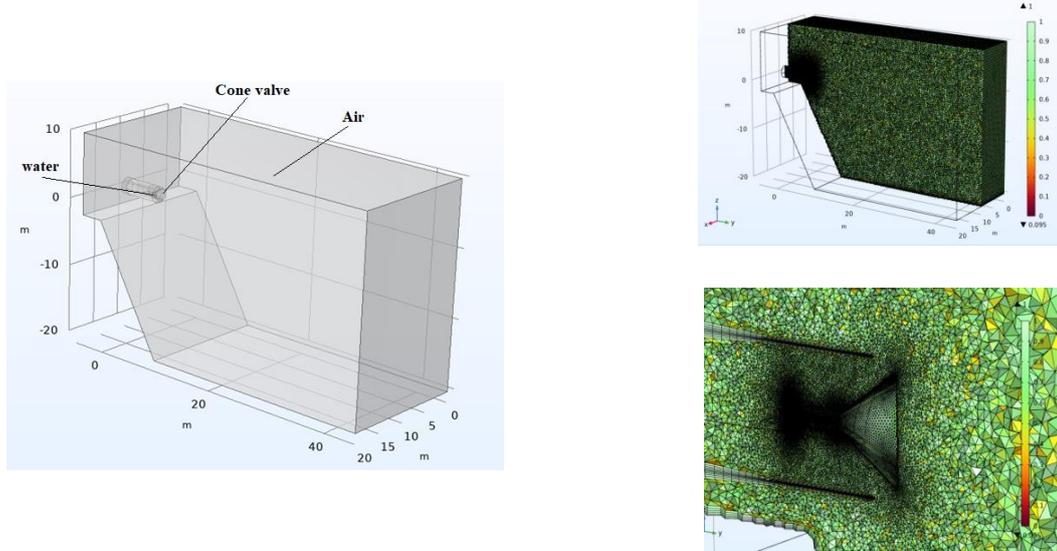


1-rasm. Karkidon suv omborining qirg'oqli suv tashlash inshooti

Tadqiqot davomida suv chiqarish va tashlash inshootining suv chiqish qismidagi ikki fazali turbulent oqim bo'yicha izlanishlar olib borilgan. Ushbu bobda Karkidon suv omborining suv chiqarish va tashlash tizimi CFD yordamida matematik modellashtirildi. Asosiy maqsad — suv tashlash inshooti ichidagi suv harakatini tahlil qilish va uning faoliyati davomida yuzaga keladigan turbulent strukturalarni o'rganishdir. Oqim harakatini tavsiflash uchun RANS (Reynolds Averaged Navier–Stokes) tenglamalari, turbulentlikni modellashtirish uchun esa SST modeli qo'llanildi. Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — suv tashlash tizimining samaradorligini baholash hamda turbulentlik va yuqori yuklama yuzaga kelishi mumkin bo'lgan muammoli zonalarini aniqlashdan iboratdir. Olingan

natijalar suv tashlash tizimining loyihasini optimallashtirish va uning ishonchligini oshirishga xizmat qilishi mumkin.

Suv diametri 2200 mm bo'lgan quvurdan 5 atmosfera bosim ostida chiqadi (2-rasm).



2-rasm. Karkidon suv omborining suv chiqarish qismining geometriyasi va hisoblash setkasi

Quvur chiqishida konus shaklidagi zatvor o'rnatilgan bo'lib, suv ushbu zatvor ichiga tushadi va keyinchalik ochiq muhitga chiqariladi. Masalaning umumiy geometrik shakli va hisoblash uchun ishlatilgan tarmoq 2-rasmda ko'rsatilgan bo'lib, barcha o'lchamlar metrlarda ifodalangan. Hisoblash jarayonida 8 979 132 dona noaniq strukturali (unstructured) elementlardan iborat tarmoqdan foydalanildi.

Suv chiqish qismidagi ikki fazali turbulent oqimni sonli modellashtirish uchun Reynolds bo'yicha o'rtachalashtirilgan Navier-Stoks tenglamalari (RANS - Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations) qo'llaniladi. Bu tenglamalar beqaror oqimni o'rtachalash natijasida hosil bo'ladigan turbulent kuchlanishlarni qo'shish orqali turbulentlik ta'sirini hisobga olish imkonini beradi. Umumiy ko'rinishda turbulentlikni hisobga olgan holda siqilmaydigan suyuqlik uchun harakat tenglamasi quyidagicha yoziladi: Uzlaksizlik tenglamasi

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Bu yerda ρ – zichlik, u, v, w – tezliklarni komponentalari.

Impuls (harakat) tenglamalari:

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho g_x, \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho g_y, \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g_z. \end{cases} \quad (2)$$

Bu yerda τ_{ij} – tenzor kuchlanish, g -gravitatsion kuch.

Tensorga kiruvchi kesim kuchlari odatda quyidagicha yoziladi (Boussinesk gipotezasi):

$$\tau_{ij} = \mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}. \quad (3)$$

bu yerda: $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ — umumiy (laminar + turbulent) qovushqoqlik, k — turbulent kinetik energiya, δ_{ij} — Kroneker simvoli.

Reynolds bo'yicha o'rtachalashtirilgan Navier-Stoks tenglamalaridan foydalanish oqimdagi turbulent effektlarni hisobga olish imkonini beradi. Bu tenglamalar sonli usullar bilan yechiladi, masalan, chekli elementlar usuli bilan, maxsus dasturlar paketini qo'llagan holda, masalan, Comsol Multiphysics.

SST turbulentlik modellari.

SST (Shear Stress Transport) modeli aerodinamik oqimlarni raqamli modellashtirishda qo'llaniladigan eng keng tarqalgan va samarali turbulentlik modellaridan biridir. U ikkita turbulentlik modelning afzalliklarini birlashtiradi: chegara qatlamidagi tezlik gradiyentlarini aniq tavsiflash uchun devor yaqinida ishlatiladigan k-omega modeli va turbulent dissipatsiyani modellashtirish uchun oqimning asosiy qismida qo'llaniladigan k-epsilon modeli. Bunday kombinatsiya SST modeliga turli sharoitlarda turbulent oqim xususiyatlarini aniqroq va barqarorroq bashorat qilish imkonini beradi.

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = P_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \\ \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \omega)}{\partial x_i} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}. \end{cases} \quad (4)$$

Bu yerda k - solishtirma turbulent kinetik energiya ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$), ω - turbulent dissipatsiyaning solishtirma tezligi (s^{-1}).

SST modeli laminar va turbulent oqimlarni o'z ichiga olgan keng ko'lamli oqim rejimlarida turbulent ta'sirlarni aniqroq bashorat qilishni ta'minlaydi. U, ayniqsa, turli oqim rejimlari mavjud bo'lgan erkin sirt va boshqa murakkab geometriyalarni modellashtirishda qo'l keladi. SST modeli chegaraning yaqin qatlamidagi qovushqoqlikning ta'sirini ham, chegaraning uzoq qatlamidagi energiya dissipatsiyasining ta'sirini ham hisobga oladi, bu esa oqimdagi turbulent tuzilmalarni aniqroq tavsiflash imkonini beradi. Bu aerodinamik oqimlarni raqamli modellashtirish bilan shug'ullanadigan muhandislar va tadqiqotchilar uchun SST modelini afzal tanlovlardan biriga aylantiradi.

Turbulent qovushqoqlik quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \cdot \frac{1}{\max\left(1, \frac{\alpha^* \omega}{SF_2}\right)}. \quad (5)$$

Ikki fazali oqimlarda ya'ni, suyuqlik va gaz yoki ikki xil suyuqlik fazalari bir vaqtning o'zida mavjud bo'lgan hollarda — fazalar chegarasini aniq aniqlash

va kuzatish zarur bo‘ladi. Bunday holatlarda COMSOL Multiphysics dasturida Level Set metodi qo‘llaniladi. COMSOL’dagi Level Set tenglamasi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \bar{u} \cdot \nabla \phi = \gamma \left(\nabla \cdot \left(\varepsilon \nabla \phi - \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right). \quad (6)$$

bu yerda: u oqim tezligi vektori (uch fazada — u, v, w), γ : sirt kuchlanishini boshqaruvchi parameter (re-initialization), ε : fazalar o‘rtasidagi sirt qalinligi (diffuzlik), ϕ : Level Set funksiyasi (fazani ifodalaydi). Level Set yondashuvi orqali fazalar o‘rtasidagi o‘zaro harakat, yuzaga keladigan deformatsiyalar, sirt tarangligi, va boshqa murakkab oqim hodisalari (masalan, pufakchalar, tomchilar, ajralish) aniq modellashtiriladi. Bu ayniqsa suv va havo aralashmasi bilan bog‘liq muhandislik hisoblashlarida dolzarb hisoblanadi.

Ikki fazali turbulent oqimni modellashtirishda COMSOL Multiphysics dasturining Level Set yondashuvi asosida vaqtga bog‘liq hisoblash usuli (time-dependent solver) qo‘llanildi. Bu yondashuvda interfeys (fazalar chegarasi) harakati Level Set tenglamasi orqali ifodalanib, oqimdagi harakat va bosim parametrlarining o‘zgarishi RANS tenglamalari bilan modellashtirildi. Hisoblashda vaqt bo‘yicha differensial tenglamalarni yechish uchun BDF (Backward Differentiation Formula) metodi tanlandi, bu esa yuqori barqarorlik va aniqlikni ta’minladi.

Vaqt bo‘yicha har qanday o‘zgaruvchi (t) ning hosilasi quyidagicha differensiallashtiriladi:

$$\frac{du}{dt} \approx \sum_{j=0}^k \alpha_j u^{n-j}. \quad (7)$$

bu yerda: u^{n-j} vaqtning oldingi, j -bosqichlaridagi qiymatlari, α_j BDF koeffitsiyentlari (qadam tartibiga bog‘liq), k BDF tartibi (COMSOL’da odatda $k=1$ yoki $k=2$ tanlanadi)

BDF metodining asosiy afzalligi barqarorligi. Bu metod xatto katta vaqt qadamlarida ham yechimni buzilmasdan davom ettirish imkonini beradi, bu esa ikkita faza chegarasida sodir bo‘ladigan keskin o‘zgarishlar uchun muhim hisoblanadi.

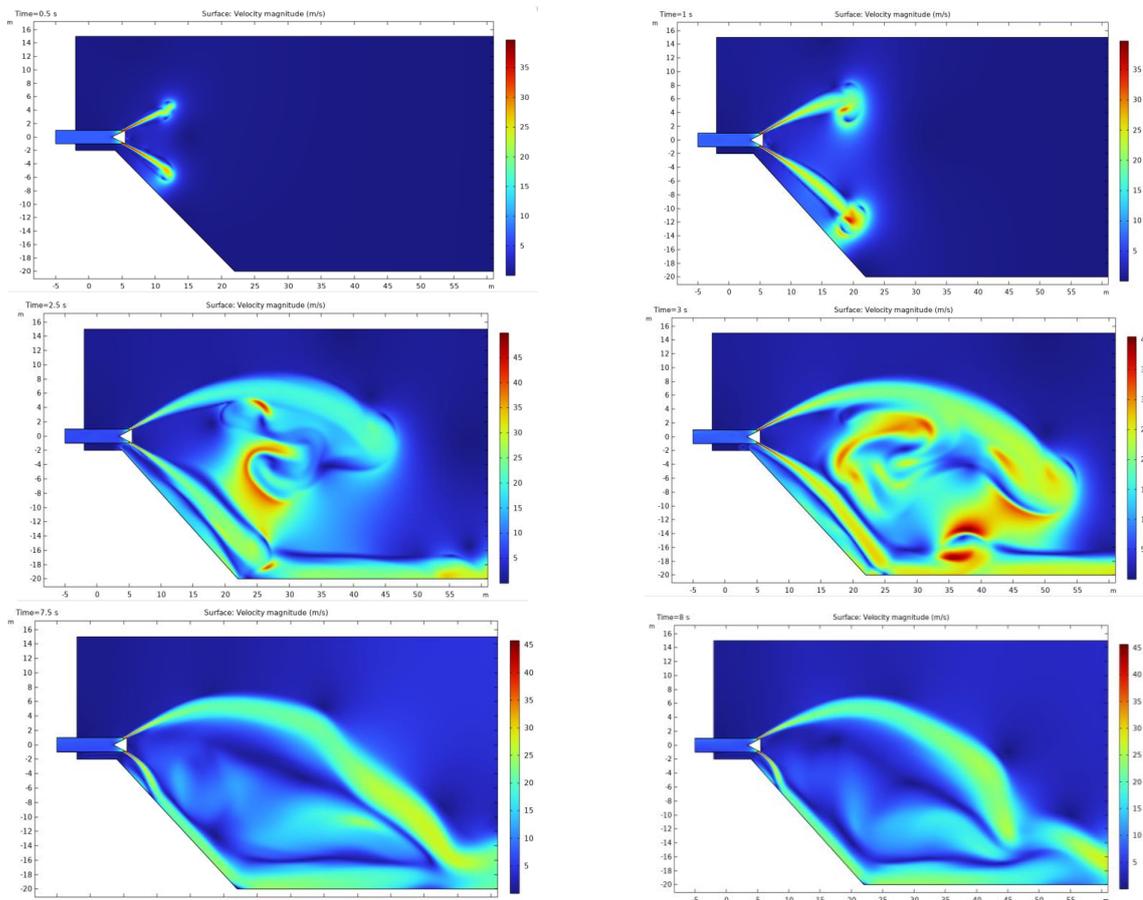
COMSOL’da vaqt oralig‘i quyidagicha belgilanadi:

$$t \in [0, T], \quad t_0 = 0, \quad \Delta t = 0.01s, \quad T = 10000s \quad (8)$$

Vaqt qadamining uzunligi avtomatik tanlanadi, barqarorlik va aniqlikka qarab, lekin maksimal va minimal chegaralar orqali nazorat qilinadi. Bu modelda “Free” time stepping ishlatilgan, bu esa tizimdagi fizik holatlarga mos ravishda vaqt qadamini dinamik o‘zgartirish imkonini beradi.

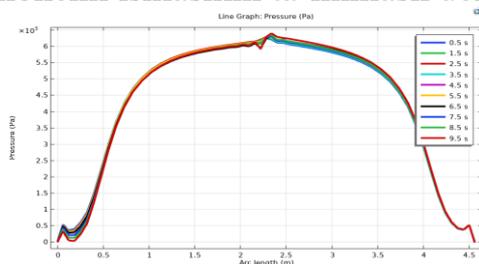
Yuqorida keltirilgan RANS-SST/Level Set tenglamalari bu nolinci, bog‘langan va ko‘p parametrlil PDE (qisman differensial tenglamalar) tizimi hisoblanadi. Bunday tizimni bevosita to‘g‘ridan-to‘g‘ri yechish hisoblash resurslari nuqtai nazaridan juda qimmat bo‘lib, ko‘pincha barqarorlik muammolarini keltirib chiqaradi. Shuning uchun COMSOL’da Segregated solver (bo‘linma yechim yondashuvi) ishlatiladi. 3-rasmda har bir sekundda qayd etilgan tezlik izoliniyalarining o‘zgarishi batafsil ko‘rsatilgan. Ushbu grafik tezlik taqsimoti vaqt o‘tishi bilan qanday o‘zgarishini ko‘rsatib, oqim dinamikasini kuzatish imkonini

beradi. Tezlik izoliniyalari turli xil tezlik xususiyatlariga ega bo'lgan hududlarni ko'rsatadi, bu esa oqimlarning harakatlanishini vizualizatsiya qilish va yuqori hamda past tezlikdagi asosiy hududlarni aniqlash imkonini beradi. Bu ma'lumotlar oqimning turli sharoitlardagi xatti-harakatlarini tushunish va uning sirtlar va tizimning boshqa elementlari bilan o'zaro ta'sirini keyingi tahlil qilish uchun juda muhimdir.



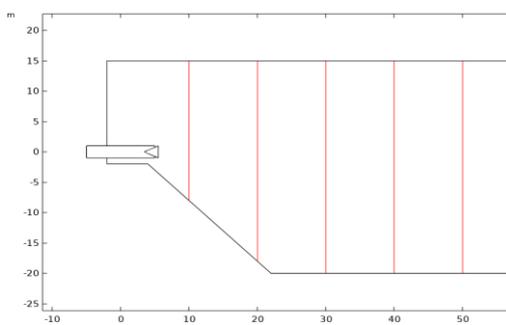
3-rasm. Tezlik izoliniyalarining o'zgarishi.

4-rasmda suyuqlikning konussimon zatvorga beradigan bosimining o'zgarishi ko'rsatilgan. Ushbu grafik bosimning zatvor yuzasi bo'ylab qanday taqsimlanishini va vaqt o'tishi bilan o'zgarishini ko'rsatadi. Bosimning o'zgarishiga turli omillar, masalan, oqim tezligining o'zgarishi, turbulent ta'sirlar yoki tizimning kirish va chiqishidagi o'zgaruvchan sharoitlar sabab bo'lishi mumkin. Ushbu ma'lumotlarni tahlil qilish turli ish rejimlarida zatvora tushadigan yuklamani tushunish imkonini beradi, bu esa uning optimal loyihalash va ishonchli ishlashini ta'minlash uchun muhimdir.



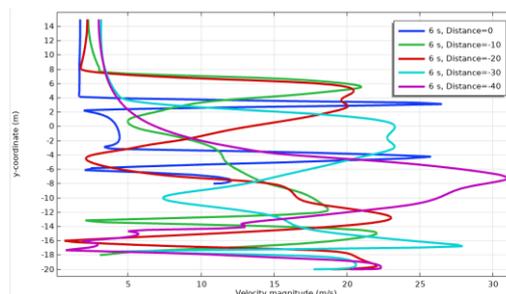
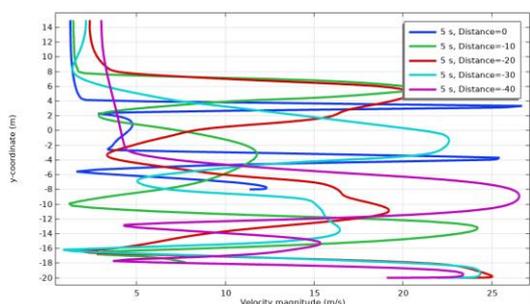
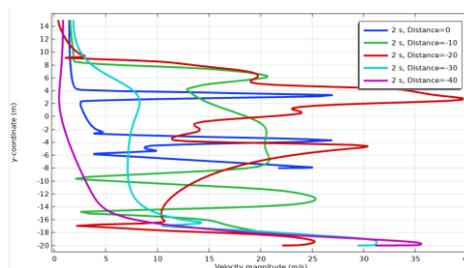
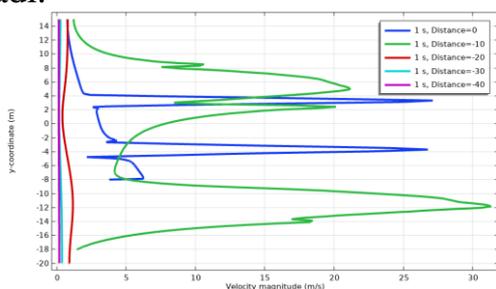
4-rasm. Bosimning o'zgarishi

5-rasmda chiqish joyida 10 metr masofada suvning 5 ta kesimi ko'rsatilgan.



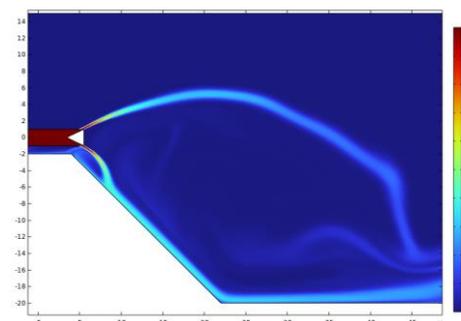
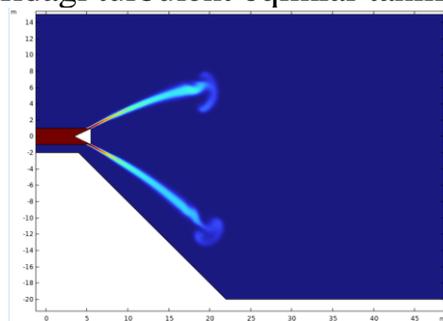
5-rasm. Chiqish qismidan 10 metr oraliq masofada joylashgan suvning beshta uchastkaga bo'lingan Kesimi

6-rasmda ko'rsatilgan beshta bo'limda tezlikning o'zgarishi keltirilgan. Ushbu grafik tizim yoki modelning turli qismlaridagi oqim tezliklarini aniq taqqoslash imkonini beradi. Turli bo'limlardagi tezlik ma'lumotlarini tahlil qilish tizimning turli nuqtalarida oqimning taqsimlanishi va intensivligini tushunishga, yuqori yoki past tezlikka ega bo'lishi mumkin bo'lgan hududlarni aniqlashga, shuningdek, energiya yoki resurslardan yanada samarali foydalanishga yordam beradi.



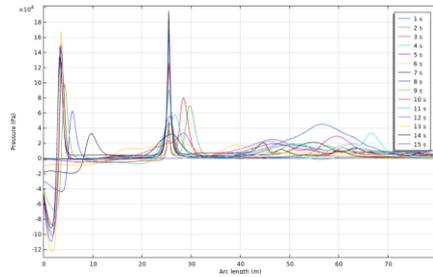
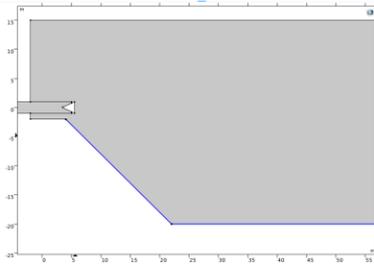
6-rasm. Beshta bo'limda tezlikning o'zgarishi.

Ushbu paragraf davomida Comsol Multiphysics dasturiy paketida SST (Shear Stress Transport) modelidan foydalangan holda konussimon zatvor atrofidagi turbulent oqimlar tahlil qilindi.



7-rasm. Ikki fazali muhitdagi suvning konsentratsiyasi.

SST modeli turbulent oqimlarni tahlil qilish uchun samarali vosita bo'lib chiqdi. Undan foydalanish klapan atrofida tezlik va bosimning taqsimlanishi haqida batafsil ma'lumot olish imkonini berdi.



8-rasm. Qiya sirdagi suvning bosimini o‘zgarishi

Konussimon zatvor yuzasidagi bosimning o‘zgarishi uning ishlashi va samaradorligiga katta ta’sir ko‘rsatadi. Ma’lumotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, bosim taqsimoti bir xil emas va zatvorning ish rejimiga bog‘liq.

Tizimning turli qismlarida tezlikning o‘zgarishi samaradorlikni baholash va konstruksiyani optimallashtirish uchun asosiy parametr hisoblanadi. Kuzatilayotgan tezlikning o‘zgarishi oqimning qarshiligi yuqori bo‘lishi mumkin bo‘lgan tor joylar yoki hududlarni ko‘rsatishi mumkin. Ushbu paragraf natijalaridan konussimon zatvorlar konstruksiyasini takomillashtirish va optimallashtirish uchun foydalanish mumkin.

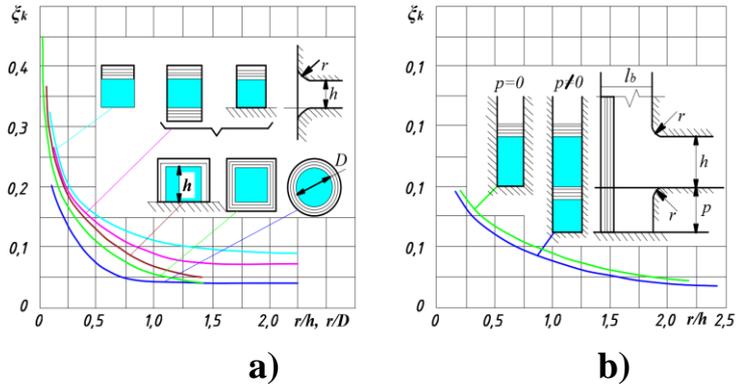
Dissertatsiya ishining **“Karkidon suv omborining bosimli suv tashlagichlarida qarshilik va sarf koeffitsientlarining gidrodinamik hisobi”** deb nomlangan uchinchi bobida suv chiqarish inshootidagi sarf koeffitsienti hamda kirish qismidagi qarshilik koeffitsientlarini aniqlash uchun gidrodinamik hisoblash bo‘yicha nazariy tadqiqotlar olib borilgan. Sarf koeffitsientini aniqlash jarayonida suv tashlagichning kirish qismidan chiqish kesimigacha bo‘lgan barcha uchastkalar bo‘yicha qarshilik koeffitsientlari yig‘indisi hisobga olinadi. Yig‘indini shakllantirishda har bir qarshilik koeffitsienti suv tashlagichning chiqish kesimi maydoniga keltiriladi. Agar suv oqimi zatvor ostidan chiqayotgan bo‘lsa, u holda qarshilik koeffitsientlari siqilgan kesim maydoniga nisbatan keltiriladi. Agar suv tashlagich 0–1 va 1–2 uchastkalaridan tashkil topgan bo‘lib, 1–1 va 2–2 kesimlarida maydonlari mos ravishda ω_1 va ω_2 ushbu uchastkalar uchun qarshilik koeffitsientlari qiymatlari esa ξ_1 va ξ_2 ga teng bo‘lsa, u holda ξ_1 qarshilik koeffitsientini 2–2 kesimiga keltirish shuni inobatga olgan holda amalga oshiriladi, 0–1 uchastkadagi bosim yo‘qotishlari qaysi kesim tezligi orqali hisoblanganidan qat’iy nazar o‘zgarmaydi.

Buni inobatga olgan holda $\omega_1 \mathcal{G}_1 = \omega_2 \mathcal{G}_2$, $\mathcal{G}_1 = \frac{\mathcal{G}_2 \omega_2}{\omega_1}$ biz quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$h_{\omega 0-1} = \zeta_1 \frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} = \zeta_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} \quad (9)$$

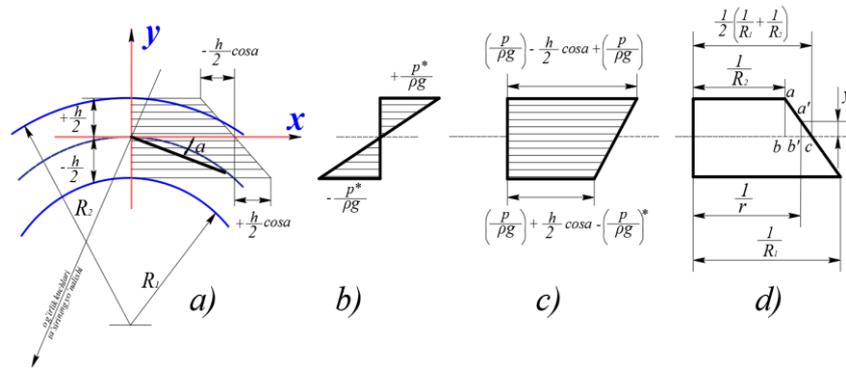
Shunday qilib, ω_B chiqishdagi yuzasi kichiklashgan bo‘limlarning umumiy qarshilik koeffitsienti n quyidagiga teng bo‘ladi:

$$\sum \zeta = \zeta_1 \left(\frac{\omega_B}{\omega_1} \right)^2 + \zeta_2 \left(\frac{\omega_B}{\omega_2} \right)^2 + \dots + \zeta_n \left(\frac{\omega_B}{\omega_n} \right)^2 = \omega_B^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i} \quad (10)$$



9-rasm. Kirish qismidagi qarshilik koeffitsientlarining r/h va r/D nisbatlariga bog‘liqligi

a) – to‘rtburchak va doira shaklidagi kirish qismlar uchun
b) – qirrali va yumaloqlangan kirish qismi uchun



10-rasm. Burilishda bosimni hisoblash.

a) — gidrostatik bosimning tarkibiy qismi b) — kinetik bosim tarkibiy qismi
c) — to‘liq bosim d) — oqim egriligi bo‘yicha bosim taqsimotining qabul qilingan o‘zgarishi

Bosimli suv tashlagichning egri chiziqli qismi kesimida oqimning o‘rtacha tezligini ifodalovchi quyidagi ifoda hosil bo‘ladi:

$$u_x = \frac{g e^{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{y}{2}}}{1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24}} \quad (11)$$

Kinetik bosim formulasini chiqarish uchun $p^* = \rho \int \frac{u_\theta^2}{r} dr$ tenglamadan kelib chiqib:

$$\frac{p^*}{\rho g} = \frac{1}{g} \int \frac{u_x^2}{r} dr \quad (12)$$

e^x funksiyasining qatorga yoyilishini inobatga olib, integrallashdan so‘ng quyidagini olamiz:

$$\frac{p^*}{\rho g} = \frac{g^2 \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{y}{2} - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^2 \frac{y^2}{4} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{y^3}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)^2 \frac{y^4}{4h^2} \right]}{g \left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (13)$$

Kinetik bosim ifodasini quyidagi ko‘rinishda yozib,

$$\frac{P^*}{\rho g} = C_{pi}^* \frac{g^2}{2g}$$

unda katta egrilik radiusiga ega quvur uchun, ($y = \frac{h}{2}$)

$$C_{p2}^* = \frac{2 \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{3}{R_2} \right) \frac{h}{8} - \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{5h^2}{64} - \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{h^2}{16} \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (14)$$

Ichki sirt (kichik egrilik radiusiga ega) quvur uchun ($y = -\frac{h}{2}$)

$$C_{p1}^* = \frac{-2 \left[\left(\frac{3}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{8} - \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{5h^2}{64} + \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{h^2}{16} \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (15)$$

Radiuslar R_1 , R_2 10-rasmga muvofiq aniqlanadi. Bu radiuslar egri uchastkaning ichki va tashqi R_1 , R_2 sirtlariga tegishli bo‘lib, ular oqimning burilish qismidagi gidravlik xususiyatlarni belgilab beradi. (11)-formula asosida hisoblangan qiymatlar tajriba natijalari bilan taqqoslanganda, ularning to‘liq mos kelmasligi kuzatildi. Bu tafovut amaliy sharoitlarda oqim strukturasi murakkabligi, devor (sirt) yaqinidagi turbulent zonalar va ikkilamchi oqimlarning hisobga olinmaganligi bilan izohlanadi. Shu sababli formulaga emperik tuzatma kiritish zarur deb hisoblandi. Bunday tuzatma hisobiy tezlik epyurasining tajriba natijalari bilan mos kelishini ham konsentrik joylashgan sirtlar holida, ham to‘g‘ri chiziqli suv o‘tkazuvchi quvurda ta‘minlaydi. Kiritilgan tuzatmani hisobga olgan holda formula quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$u_x = A \frac{e^{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{y}{2}}}{1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24}} C^B \quad (16)$$

Bu yerda

$$A = 1 + \frac{0,125}{1 + 10 \frac{h}{R_0}}; \quad B = 0,125 - 0,0833 \left(\frac{h}{R_0} \right)^{0,113}; \quad C = 1 - \left(\frac{y}{h} \right)^2$$

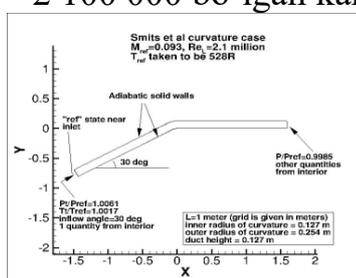
A , B , C koeffitsientlar qiymatlari 1-jadvalda keltirilgan. Taklif etilayotgan tezliklarni hisoblash formulalari burilishdagi tezliklar taqsimotiga suv o‘tkazuvchi quvurning nisbiy balandligi h/b va ishqalanish koeffitsienti λ ning ta‘sirini hisobga olmaydi.

1-jadval

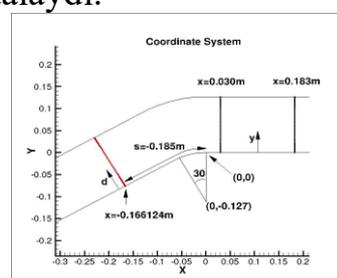
h/R_0	0,00	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,00
A	1,125	1,100	1,083	1,071	1,062	1,042	1,031	1,025	1,021	1,018	1,016	1,014	1,012	1,011
B	0,125	0,070	0,036	0,033	0,060	0,056	0,052	0,050	0,048	0,046	0,045	0,044	0,043	0,042

$\frac{y}{h/2}$	0,999	0,998	0,997	0,993	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990	0,985	0,980	0,975	0,970
C	0,002	0,004	0,003	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,019	0,029	0,039	0,049	0,059
$\frac{y}{h/2}$	0,965	0,960	0,955	0,953	0,945	0,940	0,935	0,930	0,925	0,920	0,915	0,910	0,905	0,900
C	0,069	0,078	0,088	0,098	0,107	0,116	0,126	0,135	0,144	0,153	0,163	0,172	0,181	0,191

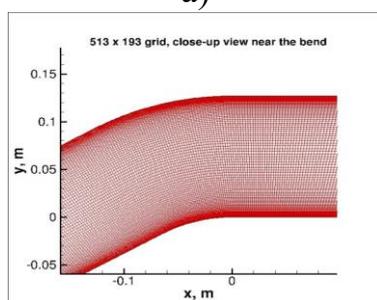
Dissertatsiya ishining “**Suv tashlash inshooti burilish kesimidagi bosim va tezliklarning hisobiy hamda tajribaviy ma’lumotlarini taqqoslash**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida Karkidon suv ombori bosimli suv tashlagichi burilish qismidagi bosimni hisoblash uchun gidravlik ifodalar hamda SST modeli yordamida inshoot quvurining burilish kesimidagi oqimlarni matematik modellashtirish natijalari keltirilgan. Turbulentlik modellarining adekvatligini tekshirishda eksperimental ma’lumotlarga asoslangan klassik test masalalaridan foydalanish keng tarqalgan. Shulardan biri — Smits va Metzger (1980) tomonidan o‘tkazilgan egilgan devor bo‘ylab turbulent qatlam (convex curvature boundary layer) bo‘yicha tajribalar bo‘lib, ular keyinchalik NASA Turbulence Modeling Resource (TMR) tomonidan standart validatsiya test sifatida qabul qilingan (NASA TMR, 2023). Ushbu masala ayniqsa SST (Shear Stress Transport) modeli kabi RANS turbulentlik modellarining fizik jarayonlarni qanchalik aniq ifodalashini baholash uchun juda qulaydir. Chegaraviy qatlam suyuqlikka nisbatan harakatlanayotgan jism sirtida hosil bo‘lgan suyuqlikning yupqa qatlamidir. Chegaraviy qatlamlarni o‘rganish ko‘plab muhandislik ilovalarida, jumladan, aerodinamika va gidromexanikada muhim ahamiyatga ega. Ushbu testning asosiy maqsadi Comsol Multiphysicsda ikki suyuqlikli turbulentlik modelining amalga oshirilishini tekshirish va olingan natijalarni NASA veb-saytida egri quvurda turbulent oqim uchun taqdim etilgan eksperimental ma’lumotlar bilan taqqoslash hisoblanadi. Tajribada balandligi 0,127 m bo‘lgan o‘zgarmas yuzali quvuridan foydalanilib, 30 gradusga egilgan (ichki egrilik radiusi 0,127 m) 8-rasm. Tajribada o‘tkazgich tomonlarining nisbati 6:1 edi. Bu hol Max soni $M = 0,093$ va Reynolds soni $Re = 2\,100\,000$ bo‘lgan kanaldagi oqimni ifodalaydi.



a)



b)



c)

11-rasm. Quvur burilish qismi.

- a) chegaraviy shartlar
- b) koordinatalar sistemasi
- c) hisoblash setkasi.

11-rasmda (U_{ref}) kirish yaqinidagi o'rtacha tezlik 31,9 m/s. Pt umumiy bosim, P statik bosim va Tt umumiy harorat. Oqim bo'ylab yuqoriga kirishgacha bo'lgan masofa shunday tanlanadiki, bunda to'liq turbulent chegaraviy qatlamning tabiiy rivojlanishi va egilish oldidan chegaraviy qatlamning taxminan to'g'ri qalinligi ta'minlanadi. Yuqori va pastki chegaralar adiabatik qattiq devorlar bilan modellashiriladi. NASA veb-saytida taqdim etilgan 513x193 o'lchamdagi hisoblash setkasi ishlatilgan. Sirtqi bosim koeffitsientining kanal devorida taqsimlanishi uning sirtidagi bosimning biror nuqtadan uzoqlashgan sari o'zgarishi bilan harakterlanadi.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{0.5\rho U_0^2} \quad (17)$$

bu yerda r - profil yuzasidagi nuqtadagi bosim, P_∞ - erkin oqim bosimi, ρ - erkin oqim zichligi, U_0 - erkin oqim tezligi.

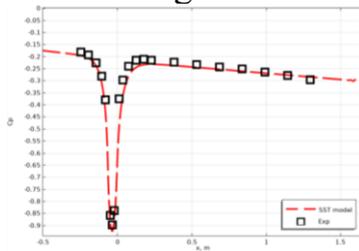
Sirtiy ishqalanish koeffitsienti C_f deb, profil sirtiga ta'sir etuvchi ishqalanish kuchining erkin oqimning dinamik bosimiga nisbatiga aytiladi.

$$C_f = \frac{F}{0.5\rho U_0^2 S} \quad (18)$$

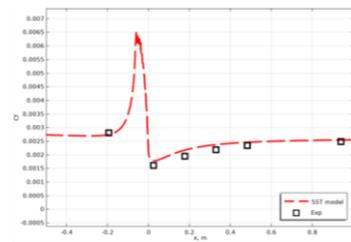
bu yerda F - profil yuzasiga ta'sir etuvchi ishqalanish kuchi, S - oqim bo'ylab yo'nalgan profil yuzasi.

SST modelining adekvatligini tekshirish

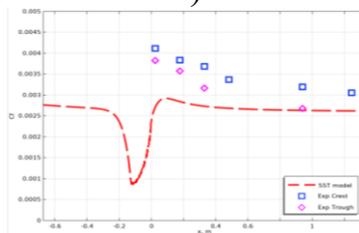
Quyida olingan sonli natijalarni ma'lum tajriba ma'lumotlari bilan taqqoslash ko'rsatilgan.



a)



b)

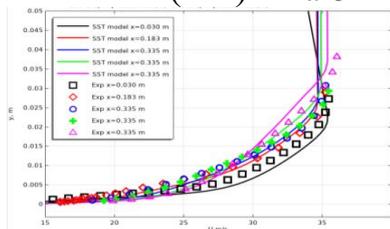


c)

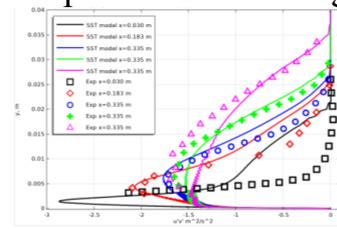
12-rasm.

- a) bosim koeffitsienti;
- b) quvur pastki qismining ishqalanish koeffitsienti
- c) quvur yuqori qismining ishqalanish koeffitsienti.

13-rasmda oqim bo'ylab turli kesimlarda quvurning pastki yuzasi bo'ylab bo'ylama tezlik U (m/s) va $\overline{u'g'}$ turbulent kuchlanishlar profilari ko'rsatilgan.



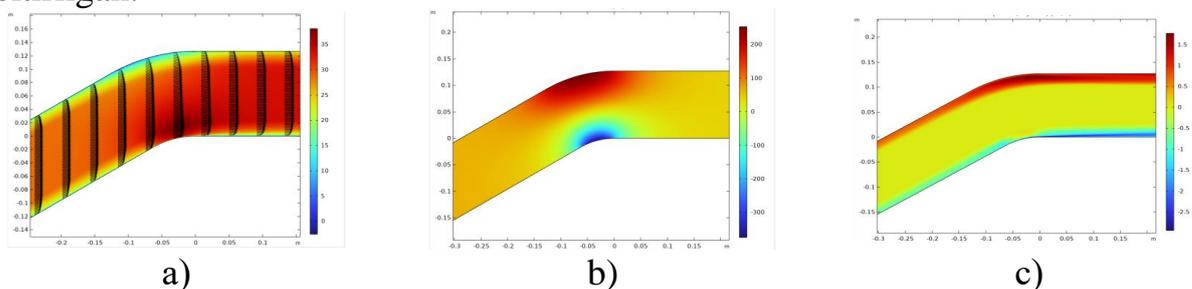
a)



b)

13-rasm. Quvur pastki yuzasidagi bo'ylama tezlik va turbulent kuchlanishlar profilari.

13-rasmdan ko‘rinib turibdiki, SST model natijalari tajriba natijalariga yaqin. Turbulent kuchlanishlar natijalari egilishdan uzoq masofalarda tajriba ma’lumotlaridan farq qiladi. 14-rasmda quvurning botiq qismida SST modeli bo‘yicha tezlik, bosim, shuningdek, turbulent kuchlanishlarning izolinialari keltirilgan.



14-rasm. a) tezlik m/s, b) bosim Pa, c) turbulent kuchlanish m^2/s^2 quvurning botiq qismi izochizqlari.

Ma’lumki, qavariq devorlar yaqinida turbulentlik sathlari to‘g‘ri devorlar yaqinidagi oqimga nisbatan kamayadi. Bu yerda turbulentlik modelini ushbu ta’sirni ushlab qobiliyatiga qarab baholash mumkin. Aytish mumkinki, SST modeli bu holatni juda yaxshi ko‘rsatib beradi. Ushbu bob doirasida bajarilgan tadqiqotda Comsol Multiphysics dasturlar paketida chekli elementlar usulidan foydalangan holda standart SST turbulentlik modeli natijalari ko‘rsatilgan. SST modelini validatsiya qilish uchun chegaraviy qatlamning 2D qavariq egriligi masalalari ko‘rib chiqilgan. Olingan natijalardan ko‘rinib turibdiki, SST modeli yuqori aniqlikka ega. Tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, SST modeli bir nechta afzalliklarga ega:

- U qovushqoqlikni ham, turbulentlikning aralashuvini ham hisobga oladi, bu esa tezlik gradiyentlari juda farq qiladigan sohalarida aniqroq natijalar olish imkonini beradi.

- Model tezlik va qovushqoqlik gradiyentlari kabi oqimning mahalliy xususiyatlarini hisobga oladi, bu esa oqimning turli sohalarini aniqroq modellashtirish imkonini beradi.

- Model bashoratlarning aniqligi va hisoblash samaradorligi o‘rtasida yaxshi muvozanatga ega bo‘lib, bu oqilona bajarish vaqti bilan hisob-kitoblarni amalga oshirish imkonini beradi.

Shuning uchun SST modelini turbulent gidrodinamikaning muhandislik masalalarini hisoblash uchun tavsiya etish mumkin.

XULOSALAR

“Yuqori bosimli suv omborlari suv chiqarish va suv tashlash inshootlari konstruksiyalarini modellashtirish” mavzusidagi texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar asosida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Yuqori bosimli suv omborlarining suv chiqarish va suv tashlash inshootlarini loyihalashda tizimli tahlil hamda zamonaviy matematik modellashtirish usullaridan foydalanishning samaradorligi asoslandi. CFD (Computational Fluid Dynamics), xususan SST (Shear Stress Transport) modeli

yordamida olingan hisobiy natijalar konstruksiyaviy yechimlarni optimallashtirishga xizmat qiladi.

2. Chiqish qismidagi o'rtacha potensial energiya quvurdagi bosim taqsimotiga bog'liq bo'lib, bu energiya bosim o'zgarishlari asosida aniqlanadi. Bu o'zgarishlar suv chiqish rejimining (bosimli yoki erkin) fizik holatiga mos tarzda o'zgaradi.

3. Karkidon suv ombori misolida suv oqimining chiqish qismidagi ortiqcha bosimning vertikal bo'yicha o'zgarishi (noldan maksimalgacha) matematik tarzda tavsiflandi, bu oqim yuzasida joylashgan struktura elementlarining kuchlanishini aniqlash va oldindan baholash imkonini berdi.

4. Kavitatsiya xavfi, ayniqsa inshoot konturlarining aerodinamik shakli yetarlicha silliq bo'lmagan holatlarda va quvurning burilish qismida yuzaga chiqishi mumkin. Bu konstruktiv yemirilish va kavitatsiya xavfini oshiradi.

5. Bosimning pasayish koeffitsienti oqim yo'nalishida (ayniqsa burilish sohaslarida) potensial energiyaning kinetik energiyaga aylanishi va tezlanishlar natijasida yuzaga keladigan bosim yo'qotishlari bilan bog'liq. Bu koeffitsient oqim tezligi va strukturaviy shakl orqali aniqlanadi.

6. Oqim boshqarish zatvorining geometrik shakli – oqimning butun uzunligi bo'yicha yoki qisman egri chiziqli shaklda bo'lishiga – oqim barqarorligini ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Elliptik yoki dumaloq yoyli shakllar oqim ajralishini kamaytirish va pulsatsiyalarni kamaytirishda afzalliklarga ega.

7. Kirish qismi chuqurligi strukturaviy va ekspluatatsion parametrlarni bevosita belgilaydi. Chuqurlik ortganda zatvor mexanizmlariga tushadigan yuk ortadi va ularga texnik xizmat ko'rsatish murakkablashadi. Aksincha, kirish qismi sathi yuqoriroq joylashtirilsa, zatvorlar bilan ishlash qulaylashadi.

8. Bosimli suv tashlagichlarning o'tish (qo'shilish) qismlarida kesim shakli va o'lchamlarining o'zgarishi oqim rejimining bosimli oqimdan erkin oqimga o'tishini keltirib chiqaradi. Bu esa zatvor kamerasi oldidagi maydonni qisqartiradi va oqimning barqarorligini saqlash uchun konstruktiv yechimlarni talab etadi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/07.06.2024.Т.106.07 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ФЕРГАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ФЕРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЎТБОСАРОВ ШУХРАТЖОН РУСТАМЖОН ЎҒЛИ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОДОВЫПУСКА И
ВОДОСБРОСА ВЫСОКОНАПОРНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ**

05.09.07 – Гидравлика и инженерная гидрология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Фергана – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирован в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2024.2.PhD/T4781

Диссертация выполнена в Ферганском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу (www.fstu.uz) и на Информационно-образовательном портале “ZiyoNet” по адресу www.ziyo.net

Научный руководитель:

Худайкулов Совет Ишанкулович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Носиров Фахриддин Жайлович
доктор технических наук, профессор

Жураев Шерали Шарипович
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2025 г. ____ часов на заседании научного совета PhD.03/07.06.2024.T.106.07 при Ферганском государственном техническом университете. Адрес: 150107, г.Фергана, ул. Фергана 86.. Тел. (+99873) 241-12-06; faks: (+99873) 241-13-03, e-mail: fstu_info@edu.uz.

С диссертацией (PhD) можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ферганского государственного технического университета (зарегистрировано № ____). Адрес: 150107, г.Фергана, ул. Фергана 86.. Тел. (+99873) 241-12-06; faks: (+99873) 241-13-03, e-mail: ferpi_info@edu.uz

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2025 года.
(протокол рассылки № ____ « ____ » _____ 2025 г.).

И.Т.Каримов

Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., доцент

З.Э.Абдулхаев

Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.ф.н., доцент

Л.Н.Самиев

Председатель научного семинара при
научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н., доцент.

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мировой практике особое внимание уделяется моделированию гидравлических задач, возникающих в конструкциях водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ. Это обусловлено широтой и комплексностью технических проблем, связанных с гидроэнергетикой, а также масштабным проявлением гидравлических явлений в рамках процессов, характерных для данной отрасли народного хозяйства. В этой связи разработка эффективных методов проектирования и строительства водовыпускных сооружений на основе совершенствования гидравлических расчётов, а также совершенствование технологий их эффективного управления и эксплуатации с целью обеспечения безопасности и надёжной работы водохранилищ, селевых водоёмов и других объектов водного хозяйства является актуальной научно-технической задачей³.

В мировой практике ведутся научно-исследовательские работы, направленные на обеспечение прочности гидротехнических сооружений и возможности их устойчивой эксплуатации, в том числе на совершенствование конструкций водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ на основе критериев математического моделирования с учётом сложных гидравлических процессов, возникающих в процессе их функционирования. В частности, приоритетное значение приобретает определение воздействия потока на конструктивные элементы водовыпускных и водосбросных сооружений, а также обоснование оптимальных параметров и надёжных режимов их работы на основе численного исследования пространственно-параметрических характеристик потока. В этой связи актуальными являются вопросы совершенствования конструкций высоконапорных водохранилищ, использования алгоритмов математического моделирования, описывающих динамику течения в водовыпускных и водосбросных сооружениях водохранилищ, а также внедрения в практику проектирования результатов моделирования, выполненного на основе современных цифровых технологий (CFD, модель RANS–SST и др.).

В Республике в последние годы ведётся активная и эффективная работа по моделированию динамики течения в водовыпускных и водосбросных сооружениях высоконапорных водохранилищ. В частности, в нормативных документах определены важные задачи по «...разработке режимов наполнения и сброса воды водохранилищ, а также по обеспечению безопасности, повышению надёжности и разработке инструкций по эксплуатации водохранилищ, селевых водоёмов, других крупных объектов водного хозяйства, рек и гидротехнических сооружений на основе

³ “O‘zbekiston Respublikasi suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020 — 2030-yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida” O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni, 10.07.2020 yildagi PF-6024-son

результатов научных исследований...»⁴. В процессе реализации указанных задач, в том числе при разработке и совершенствовании методик определения режимов водовыпуска из водохранилищ, особую актуальность приобретает моделирование динамики потока с учётом факторов, оказывающих на неё влияние, определение конструктивно-технологических решений водосбросных сооружений и разработка соответствующих научно обоснованных рекомендаций.

Настоящая диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № PF-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», от 10 июля 2020 года № PF-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020–2030 годы», а также постановлениями от 9 октября 2019 года № PQ-4486 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами» и от 25 октября 2019 года № PQ-4499 «О мерах по расширению механизмов стимулирования внедрения водосберегающих технологий в сельском хозяйстве», а также другими нормативно-правовыми документами, регулирующими данную сферу деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в рамках IV приоритетного направления развития науки и технологий республики «Сельское хозяйство, биотехнология, водные проблемы, экология и охрана окружающей среды».

Степень изученности проблемы. В настоящее время актуальными являются вопросы масштаба воздействия водохранилищ, их динамики, а также моделирования конструкции водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ. Теоретические основы и методы расчета динамики потока в водовыпускных и водосбросных сооружениях высоконапорных водохранилищ изложены в работах А.Б.Авакяна, С.Т.Алтунина, К.М.Берковича, В.Ф.Бреховских, Х.А.Исмагилова, А.В.Караушева, О.А.Каюмова, А.Б.Китаева, Ю.М.Матарзина, Д.А.Никифорова, Я.Ф.Плешковой, Ш.Р.Позднякова, Л.В.Потапова и других исследователей, где достигнуты научно обоснованные положительные результаты.

В частности, ряд отечественных ученых, таких как Ж.Ф. Файзуллаев, К.Ш.Латипов, А.А.Хамидов, А.М.Арифжонов, О.Ш.Бозоров, Б.Х.Хужаёров, С.И.Худайкулов, А.М.Фатхуллоев, И.К.Хужаев, З.М.Маликов, У.У.Жонкобилов и другие, провели обширные научные исследования по разработке оптимальных параметров конструкций водовыпускных сооружений, изучению происходящих в них гидравлических процессов и закономерностей, а также методов их расчета.

⁴ «O‘zbekiston Respublikasi Suv xo‘jaligi vazirligi faoliyatini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida» O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori, 06.04.2021 yildagi PQ-5055-son

На сегодняшний день, несмотря на широкомасштабные научные и практические исследования, проведенные в этом направлении, вопросы выполнения гидравлических расчетов путем математического моделирования при оценке безопасности водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ изучены недостаточно.

Связь темы диссертации с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских работ Научно-исследовательского института «Ирригации и водных проблем» в соответствии с планом НИР по прикладному проекту КХА-А-QX-2018-291 «Совершенствование конструкций сопрягающихся потоков на высоконапорных плотинах и разработка методов их расчёта» (2018–2020 гг.).

Цель исследования. Совершенствование методов математического моделирования, описывающих режим работы высоконапорных водохранилищ путем оценки гидродинамических процессов, происходящих в водовыпускных и водосбросных сооружениях, а также интеграция результатов моделирования в процессы практического проектирования и эксплуатации на основе современных цифровых технологий (CFD, модель RANS-SST и др.).

Задачи исследования:

провести системный анализ передовых научных источников, проведение системного анализа передовых научных источников по водовыпускным и водосбросным сооружениям высокого давления и оценка их конструктивных, гидравлических и эксплуатационных характеристик.

математическое моделирование динамики потока воды в водовыпускных и водосбросных сооружениях Каркидонского водохранилища, изучение пространственно-параметрических характеристик потока на основе численных методов.

определение коэффициентов сопротивления потока в водосбросных сооружениях Каркидонского водохранилища на основе гидродинамических расчетов.

сравнение распределений давления и скорости, возникающих в поворотной части водосбросного сооружения, с результатами экспериментов путем расчетного моделирования, верификация и калибровка достоверности моделей.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выбраны водовыпускные и водосбросные сооружения Каркидонского водохранилища, расположенного в Ферганской области.

Предмет исследования. Предмет исследования составляют методы гидродинамики, математические модели вычислительной механики, а также динамика водовыпуска и водосброса в водохранилищах.

Методы исследования. В исследовательской работе использованы метод «поля скоростей», сопоставление решений, полученных в результате моделирования, с экспериментальными результатами, общепринятые методы

гидравлики и гидрологии, а также методы математического моделирования и их численного решения.

Научная новизна исследования:

на основе CFD-моделирования двухфазного потока в водовыпускном сооружении Каркьидонского водохранилища определены гидродинамические давления, воздействующие на затвор, их пульсационный характер и закономерности, связанные с энергетическими потерями, а также на основе гидродинамических законов выполнена оценка влияния двухфазного потока на конструкцию затвора.

с учётом коэффициентов гидравлического сопротивления входных участков водовыпускных сооружений выполнена оценка влияния различных форм входных участков на устойчивость потока, в результате чего в качестве оптимальных конструктивных решений рекомендованы эллиптические и плавно переходные входные контуры, обеспечивающие снижение энергетических потерь и уменьшение вероятности отрыва потока.

с применением алгоритмов математического моделирования, формализующих динамику течения в водовыпускных и водосбросных сооружениях высоконапорных водохранилищ, усовершенствованы методы расчёта распределений скоростей и давлений потока в поворотных участках сооружений с учётом влияния местных гидравлических сопротивлений и параметров геометрии поворота.

на примере Каркьидонского водохранилища распределения давления и скорости в поворотной части водовыпускных и водосбросных сооружений были смоделированы с использованием CFD-подхода, в частности турбулентной модели SST, при этом полученные расчётные результаты сопоставлены с экспериментальными и эксплуатационными показателями, а среднее значение относительной погрешности по модели SST, составившее 2,32 %, подтвердило достоверность и надёжность математической модели.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе математических выражений, описывающих динамику истечения потока в двухфазной среде, создана возможность высокоточного расчёта давления, воздействующего на конический затвор в выходной части сооружения.

уточнены коэффициенты гидравлического сопротивления во входных участках водосбросных сооружений, выполнена оценка эффективности входных участков различной формы (эллиптической, круглой и угловой), а также усовершенствована методика выбора оптимальных конструктивных контуров.

определены распределения давления и скорости в поворотных участках трубопроводов сооружений, которые были апробированы в реальных эксплуатационных условиях Каркьидонского водохранилища на основе CFD-моделирования и сопоставлены с экспериментальными данными, что подтвердило их адекватность.

на основе моделирования динамики потока в водосбросных сооружениях разработаны методы расчёта распределений давления и

скорости, а полученные на этой основе результаты рекомендованы к применению в практике проектирования гидротехнических сооружений.

Достоверность результатов исследований. Достоверность полученных результатов обусловлена их основанностью на общих законах физики и методах математического моделирования, а также подтверждена путём сопоставления с экспериментальными данными и научными разработками, полученными другими исследователями.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в возможности совершенствования методов определения и прогнозирования процессов водовыпуска и водосброса в условиях высокого напора.

Практическая значимость результатов исследования обусловлена возможностью оценки степени повреждаемости затвора сооружения на основе анализа силового воздействия высокоскоростных потоков на его конструкцию.

Внедрение результатов исследования:

На основе полученных научных результатов по моделированию конструкций водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ:

На основе CFD-моделирования двухфазного потока в водовыпускном сооружении Каркьидонского водохранилища определены гидродинамические давления, воздействующие на затвор, их пульсационный характер и закономерности, связанные с энергетическими потерями, а также на основе гидродинамических законов оценено влияние двухфазного потока на конструкцию затвора; с учётом коэффициентов гидравлического сопротивления входных участков водовыпускных сооружений оценено влияние различных форм входных участков на устойчивость потока, и предложения по применению эллиптических и плавно переходных входных контуров, обеспечивающих снижение энергетических потерь и уменьшение вероятности отрыва потока, использованы в деятельности Управления по эксплуатации водохранилищ Ферганской области (справка Министерства водного хозяйства от 23 сентября 2024 года № 05/13-3443). В результате выполнена оценка воздействия турбулентного потока на конструкции высоконапорных водосбросных сооружений, что позволило обеспечить возможность их безопасной и эффективной эксплуатации;

С использованием алгоритмов математического моделирования, описывающих динамику течения в водовыпускных и водосбросных сооружениях высоконапорных водохранилищ, усовершенствованы методы расчёта распределений скорости и давления потока в поворотных участках сооружений с учётом влияния местных гидравлических сопротивлений и геометрии поворота, а также на примере Каркьидонского водохранилища распределения давления и скорости в поворотной части водовыпускных и водосбросных сооружений были смоделированы с использованием CFD, в частности турбулентной модели SST, и разработанные по результатам расчётов рекомендации использованы в деятельности «Сырдарья–Сох

ИТХБ» (справка Министерства водного хозяйства от 23 сентября 2024 года № 05/13-3443). В результате создана возможность снижения средней относительной погрешности определения силы и давления, воздействующих на конический затвор в водовыпускной части сооружения, по модели SST до 2,32 %.

Апробация результатов исследования. Результаты настоящего исследования были обсуждены и одобрены на международных, республиканских и университетских научно-практических конференциях, в том числе представлены на 3 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследований. По теме диссертации опубликовано в общей сложности 13 научных работ, из них 6 статей — в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени доктора философии (PhD), включая 3 статьи в республиканских и 3 статьи в зарубежных журналах. 5 статей опубликованы в материалах международных и местных конференций, в том числе 1 в конференции, индексируемой в базе данных Scopus, и 4 в других международных и национальных научно-практических форумах. Кроме того, получены 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 124 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость выбранной темы диссертационного исследования, приведены сведения о цели и задачах исследования, объекте и предмете работы. Показано соответствие выполненных исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты. Раскрыто теоретическое и практическое значение полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, о публикациях автора и о структуре диссертации.

В первой главе диссертационной работы, озаглавленной «**Анализ литературы, посвящённой исследованию водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ**», рассмотрены типы водохранилищ и их водовыпускных и водосбросных сооружений, принципы их функционирования, а также приведена классификация сооружений в зависимости от их конструктивного расположения и назначения.

Проведённый анализ показал, что в водовыпускных и водосбросных сооружениях высоконапорных водохранилищ потоки, как правило, характеризуются высокими скоростями, что, в свою очередь, требует комплексного инженерно-научного подхода при их проектировании с целью

обеспечения гидравлической эффективности и эксплуатационной надёжности.

Из анализа существующих исследований установлено, что для повышения устойчивости и надёжности водосбросных систем необходимо дальнейшее развитие теоретических основ оценки кавитационных повреждений, процессов аэрации и деаэрации потока и их воздействия на конструкции сооружений. Кроме того, требуется изучение распределений давления и скоростей в процессе водоотведения, а также исследование взаимодействия турбулентных потоков со структурными элементами сооружений на основе теоретических и экспериментальных методов.

На основании выполненного анализа определены цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе диссертационной работы, озаглавленной **«Моделирование динамики потока в напорных водосбросных и водовыпускных сооружениях Каркидонского водохранилища»**, приведены результаты анализа, направленного на определение давления потока на выходе из водовыпускного трубопровода исследуемого гидротехнического объекта, а также изучено влияние турбулентного течения на режим работы сооружения. В рамках исследования установлено, что материал плотины рассматриваемого гидротехнического сооружения относится к природным гравийно-песчаным грунтам. В конструктивном решении в теле плотины предусмотрен специальный гидроизоляционный слой, предназначенный для снижения фильтрационной способности и предотвращения просачивания воды. Основной массив плотины сформирован из гравийно-песчаных грунтов, обладающих необходимыми прочностными и фильтрационными характеристиками (см. рис. 1).

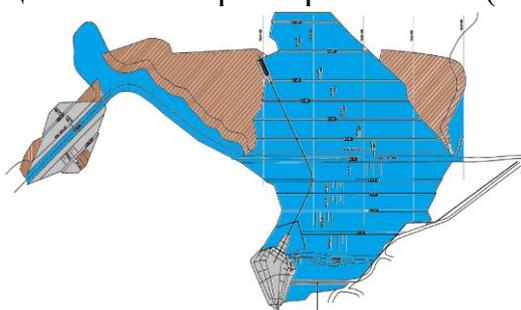


Рисунок 1. Береговое водосбросное сооружение Каркидонского водохранилища.

В ходе исследования были проведены изыскания, посвящённые анализу двухфазного турбулентного течения в выходной части водовыпускного и водосбросного сооружения. В данной главе представлено математическое моделирование системы водосброса и водовыпуска Каркидонского водохранилища с использованием методов вычислительной гидродинамики (CFD). Основной целью моделирования являлся анализ движения воды внутри водосбросного тракта и исследование турбулентных структур, возникающих в процессе его функционирования. Для описания движения потока применялись усреднённые по Рейнольдсу уравнения

Навье–Стокса (RANS), а для моделирования турбулентности использовалась модель SST (Shear Stress Transport). Целью проведённых исследований являлась оценка гидравлической эффективности системы водосброса, а также выявление потенциально проблемных зон, в которых могут возникать интенсивная турбулентность и повышенные гидродинамические нагрузки. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации проектных параметров водосбросной системы и повышения её эксплуатационной надёжности.

Диаметр водовыпускного трубопровода составляет 2200 мм, при этом вода выходит под давлением около 5 атмосфер (см. рис. 2).

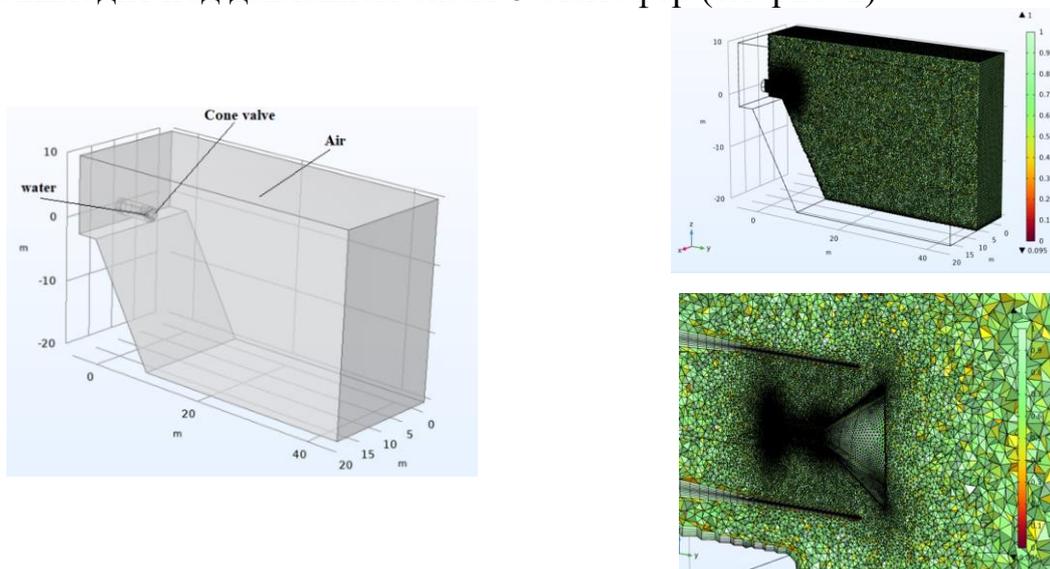


Рисунок 2. Геометрия выходной части водовыпускного сооружения и расчётная сетка Каркидонского водохранилища.

В выходной части трубопровода установлен конический затвор, в который поступает поток воды, после чего она выходит в открытую среду. Общая геометрическая конфигурация задачи и расчётная сетка, использованная при моделировании, представлены на рис. 2. Все геометрические размеры заданы в метрах. В процессе численного расчёта использовалась неструктурированная сетка, состоящая из 8 979 132 конечных элементов.

Для численного моделирования двухфазного турбулентного потока в выходной части водовыпускного тракта применялись усреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье–Стокса (RANS — Reynolds-Averaged Navier–Stokes equations). Эти уравнения позволяют учитывать влияние турбулентности за счёт введения турбулентных напряжений, возникающих при осреднении нестационарного потока. В общем виде уравнение движения несжимаемой жидкости с учётом турбулентности записывается следующим образом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Здесь: ρ – плотность, u, v, w – компоненты скорости.

Уравнения импульса (движения)

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho g_x, \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uv)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho g_y, \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho uw)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vw)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho g_z. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь: τ_{ij} – тензор напряжений, g – гравитационная сила

Сдвиговые напряжения, входящие в тензор, обычно записываются следующим образом (приближение Буссинеска):

$$\tau_{ij} = \mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}. \quad (3)$$

Здесь: $\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t$ — эффективная вязкость, включающая ламинарную и турбулентную составляющие, k — турбулентная кинетическая энергия, δ_{ij} — символ Кронекера.

Использование усреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса позволяет учитывать турбулентные эффекты потока. Эти уравнения решаются численными методами, например методом конечных элементов, с применением специализированных программных пакетов, таких как COMSOL Multiphysics.

SST модели турбулентности.

Модель SST (Shear Stress Transport) является одной из наиболее распространённых и эффективных моделей турбулентности, применяемых при численном моделировании аэродинамических потоков. Данная модель сочетает преимущества двух подходов к моделированию турбулентности: модели $k-\omega$, используемой вблизи стенок для точного описания градиентов скорости в пограничном слое, и модели $k-\epsilon$, применяемой в основной части потока для корректного воспроизведения процессов турбулентной диссипации.

Такое сочетание позволяет модели SST более точно и устойчиво прогнозировать характеристики турбулентных течений в широком диапазоне гидродинамических условий.

$$\begin{cases} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i k)}{\partial x_i} = P_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right], \\ \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i \omega)}{\partial x_i} = \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \beta \rho \omega^2 + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь: k – удельная турбулентная кинетическая энергия ($\text{m}^2 \text{s}^{-2}$), ω – удельная скорость диссипации турбулентности (s^{-1}).

Модель SST (Shear Stress Transport) обеспечивает более точное прогнозирование турбулентных эффектов в широком диапазоне режимов течения, включая как ламинарные, так и турбулентные потоки. Она особенно эффективна при моделировании свободных поверхностей и сложных геометрических областей, где наблюдается смена режимов течения. Модель

SST учитывает как влияние вязкости вблизи пристеночного слоя, так и диссипацию энергии в удалённых от стенки областях, что позволяет более точно описывать структуру турбулентности в потоке. Благодаря этому, SST-модель является одной из наиболее предпочтительных при численном моделировании аэродинамических и гидродинамических течений, применяемых в инженерных и исследовательских задачах.

Турбулентная вязкость определяется следующим выражением:

$$\mu_t = \frac{\rho k}{\omega} \cdot \frac{1}{\max\left(1, \frac{\alpha^* \omega}{SF_2}\right)}. \quad (5)$$

В двухфазных течениях, то есть в случаях, когда одновременно присутствуют жидкая и газовая фазы либо две различные жидкие фазы, возникает необходимость точного определения и отслеживания границы раздела фаз. В таких случаях в программном комплексе COMSOL Multiphysics применяется метод Level Set.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \phi = \gamma \left(\nabla \cdot \left(\varepsilon \nabla \phi - \phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right). \quad (6)$$

Здесь: u - вектор скорости потока (в трёх пространственных осях u , v , w), γ - параметр перенормировки (re-initialization), управляющий поверхностным натяжением, ε - толщина межфазной поверхности (диффузность интерфейса), ϕ - Функция Level Set (представляет фазу). Метод Level Set позволяет моделировать взаимодействие между фазами, а также деформации поверхности, силы поверхностного натяжения и другие сложные гидродинамические явления, такие как образование пузырьков, капель и разделение фаз. Данный подход особенно актуален при инженерных расчётах, связанных со смешением воды и воздуха, где необходимо точное описание поведения свободной поверхности и межфазного взаимодействия.

При моделировании двухфазного турбулентного течения использовался временной (нестационарный) решатель (time-dependent solver) программного комплекса COMSOL Multiphysics, основанный на подходе Level Set. В данном методе движение интерфейса (границы раздела фаз) описывается уравнением Level Set, тогда как изменение параметров скорости и давления в потоке моделировалось с использованием усреднённых по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса (RANS). Для решения дифференциальных уравнений по времени применялся метод обратного дифференцирования (BDF — Backward Differentiation Formula), обеспечивающий высокую численную устойчивость и точность расчётов.

Производная любой переменной по времени (t) дифференцируется следующим образом:

$$\frac{du}{dt} \approx \sum_{j=0}^k \alpha_j u^{n-j}. \quad (7)$$

Здесь: u^{n-j} значение переменной на предыдущем j -м временном шаге расчёта, α_j коэффициенты метода обратного дифференцирования (BDF)

определяются в зависимости от порядка аппроксимации k , где в среде COMSOL Multiphysics, как правило, используется первый или второй порядок ($k = 1$ или $k = 2$) для обеспечения устойчивости и точности временного интегрирования.

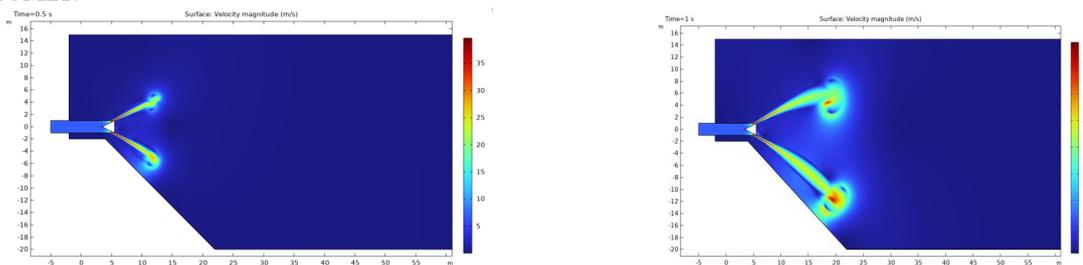
Основным преимуществом метода обратного дифференцирования (BDF) является его высокая численная устойчивость. Данный метод позволяет продолжать расчёт без потери сходимости даже при больших шагах по времени, что особенно важно при моделировании резких изменений параметров на границе раздела фаз.

В программном комплексе COMSOL Multiphysics временной интервал (шаги интегрирования по времени) задаётся следующим образом:

$$t \in [0, T], \quad t_0 = 0, \quad \Delta t = 0.01s, \quad T = 10000s \quad (8)$$

Длина шага по времени выбирается автоматически с учётом требований устойчивости и точности, при этом процесс контролируется за счёт заданных минимальных и максимальных пределов. В данной модели применена схема Free time stepping, которая позволяет динамически изменять шаг по времени в соответствии с текущими физическими состояниями системы.

Система уравнений RANS–SST / Level Set, приведённая выше, представляет собой нелинейную, связанную и многопараметрическую систему УЧП (уравнений в частных производных). Её прямое (моно-блочное) решение является вычислительно затратным и нередко приводит к проблемам численной устойчивости. Поэтому в COMSOL Multiphysics используется Segregated solver (раздельный/поблочный подход к решению), при котором подсистемы уравнений решаются последовательно по блокам, что снижает требования к ресурсам и повышает устойчивость итерационного процесса. На рис. 3 подробно показана эволюция изолиний скорости, регистрируемая с интервалом в одну секунду. Данный графический материал демонстрирует, как изменяется поле скоростей во времени, обеспечивая наглядное представление о динамике течения. Изолинии скорости выделяют области с различными скоростными характеристиками, что позволяет визуализировать траектории потоков и идентифицировать зоны повышенных и пониженных скоростей. Полученные данные имеют важное значение для понимания поведения потока в различных режимах, а также для последующего анализа взаимодействия с поверхностями и элементами системы.



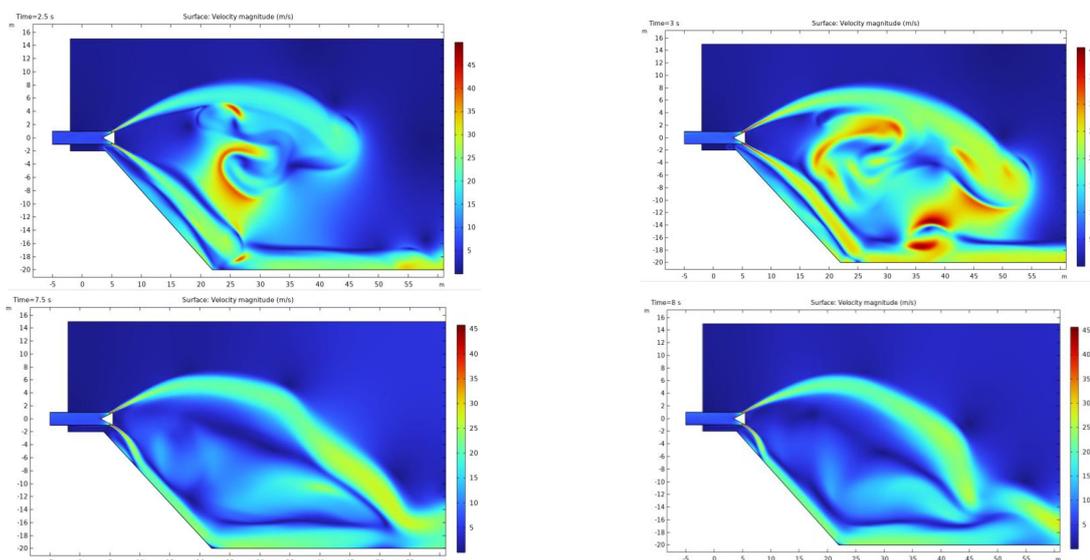


Рисунок 3. Изменение изолиний скорости.

На рисунке 4 представлено изменение давления жидкости на коническом затворе. Данный график отражает, как распределяется давление вдоль поверхности затвора и как оно изменяется во времени. На характер изменения давления могут влиять различные факторы — изменение скорости потока, турбулентные эффекты, а также колебания гидродинамических параметров на входе и выходе системы. Анализ представленных данных позволяет оценить нагрузку, воспринимаемую затвором при различных режимах работы, что имеет важное значение для его оптимального проектирования и обеспечения надёжной эксплуатации.

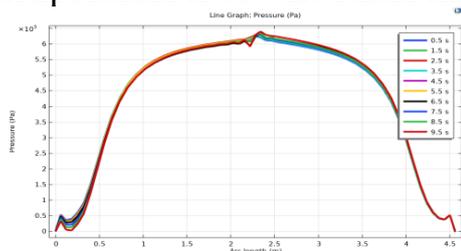


Рисунок 4. Изменение давления.

На рисунке 5 представлены пять сечений потока воды, расположенные на расстоянии 10 метров от выходного отверстия водовыпускного трубопровода.

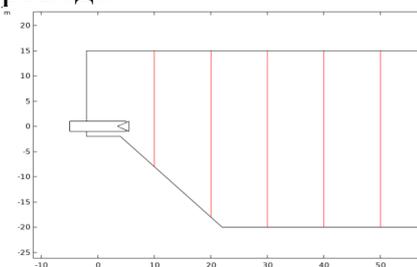


Рисунок 5. Поперечное сечение потока воды на расстоянии 10 м от выходной части водовыпускного трубопровода, разделённое на пять участков.

На рисунке 6 приведено изменение скорости потока в пяти рассматриваемых сечениях. Представленный график позволяет выполнить точное сравнение скоростей течения в различных частях системы или модели. Анализ данных по скорости в разных сечениях даёт возможность понять распределение и интенсивность потока в отдельных точках системы, выделить области с повышенными или пониженными скоростями, а также оценить эффективность использования энергии и гидравлических ресурсов.

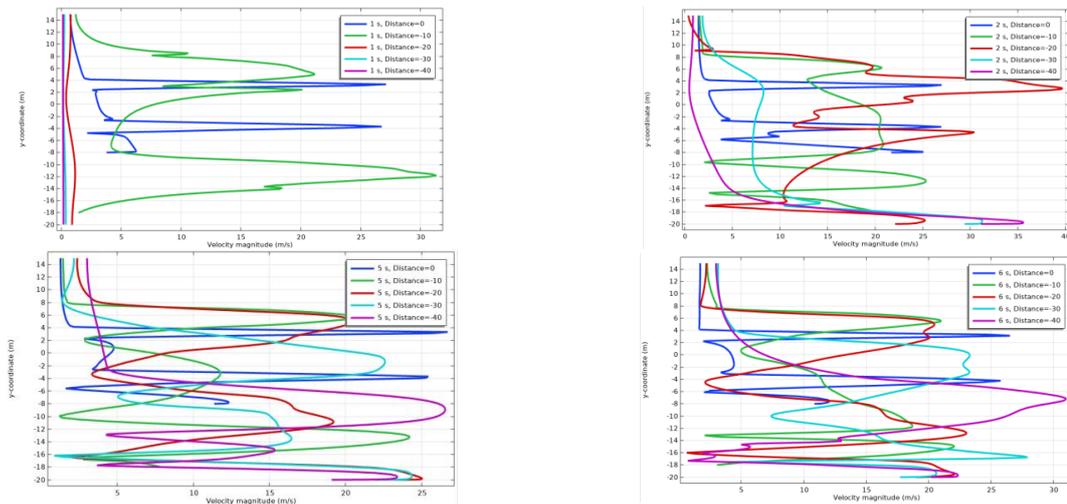


Рисунок 6. Изменение скорости потока в пяти сечениях.

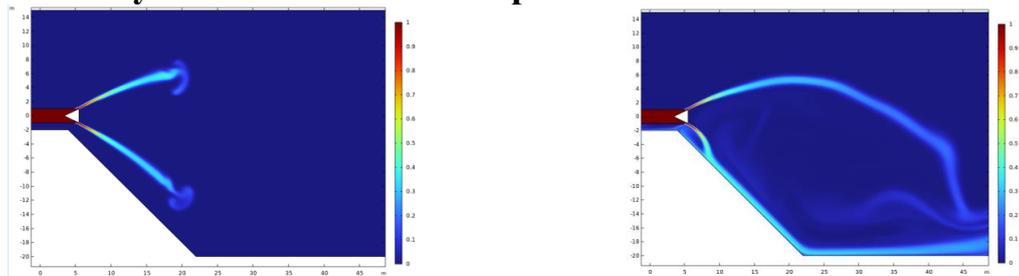


Рисунок 7. Концентрация воды в двухфазной среде.

Модель SST зарекомендовала себя как эффективный инструмент анализа турбулентных течений. Её применение позволило получить детализированную информацию о распределении скоростей и давлений в области затвора (клапана).

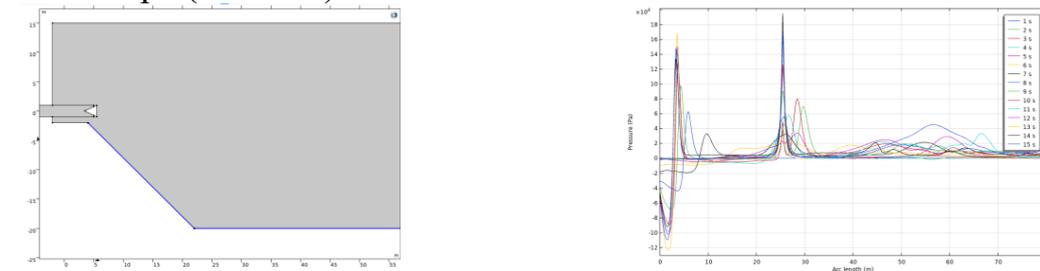


Рисунок 8. Изменение давления воды на наклонной поверхности.

Изменение давления на поверхности конического затвора оказывает существенное влияние на его работу и эффективность. Анализ полученных данных показал, что распределение давления является неравномерным и зависит от режима работы затвора.

Изменение скорости потока в различных частях системы служит основным параметром для оценки эффективности и оптимизации конструкции. Наблюдаемые колебания скорости указывают на зоны с повышенным гидравлическим сопротивлением, возникающие в суженных участках или локальных областях потока. Результаты данного анализа могут быть использованы для совершенствования и оптимизации конструкции конических затворов, с целью повышения их гидравлической эффективности и надёжности работы.

В третьей главе диссертационной работы, озаглавленной «Гидродинамический расчёт коэффициентов сопротивления и расхода в напорных водосбросах Каркидонского водохранилища», приведены теоретические исследования по гидродинамическому расчёту коэффициента расхода водовыпускного сооружения, а также определению коэффициентов сопротивления во входной части тракта. При определении коэффициента расхода учитывается суммарное гидравлическое сопротивление всех участков водосброса — от входного сечения до выходного участка. При формировании этой суммы каждый коэффициент сопротивления приводится к площади выходного сечения водосбросного тракта, что обеспечивает корректную оценку общего гидродинамического сопротивления системы.

Если поток воды выходит из-под затвора, то коэффициенты гидравлического сопротивления приводятся к площади сжатого сечения. Если водосброс состоит из двух участков 0–1 и 1–2, а скорости потока в сечениях 1–1 и 2–2 равны соответственно ω_1 и ω_2 , при этом коэффициенты сопротивления на этих участках обозначены как ξ_1 и ξ_2 , то приведение коэффициента сопротивления ξ_1 к сечению 2–2 выполняется с учётом соотношения скоростей потока. Следует отметить, что потери напора на участке 0–1 не зависят от того, по какой скорости они рассчитаны, и остаются неизменными при переходе от одного сечения к другому.

С учётом вышесказанного $\omega_1 \mathcal{G}_1 = \omega_2 \mathcal{G}_2$, $\mathcal{G}_1 = \frac{\mathcal{G}_2 \omega_2}{\omega_1}$ мы получаем следующее выражение:

$$h_{\omega 0-1} = \zeta_1 \frac{\mathcal{G}_1^2}{2g} = \zeta_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 \frac{\mathcal{G}_2^2}{2g} \quad (9)$$

Таким образом, при уменьшении площади выходного сечения скорость ω_B возрастает, и суммарный коэффициент сопротивления для суженных участков тракта n будет равен следующему выражению:

$$\sum \zeta = \zeta_1 \left(\frac{\omega_B}{\omega_1} \right)^2 + \zeta_2 \left(\frac{\omega_B}{\omega_2} \right)^2 + \dots + \zeta_n \left(\frac{\omega_B}{\omega_n} \right)^2 = \omega_B^2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i} \quad (10)$$

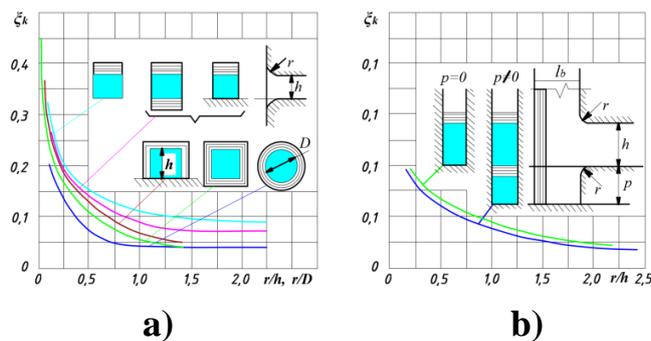


Рисунок 9. Зависимость коэффициентов сопротивления во входной части от соотношений r/h и r/D :

- а) — для входных участков прямоугольной и круглой формы;
- б) — для входных участков с острыми кромками и с закруглением.

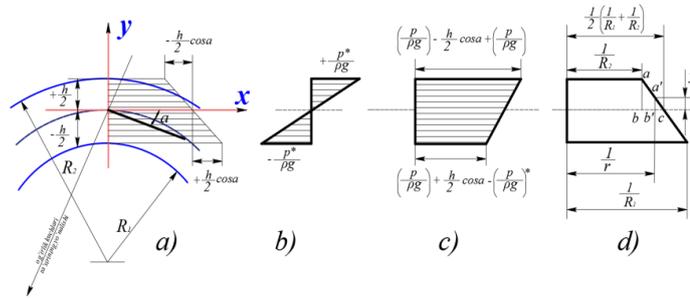


Рисунок 10. Расчёт давления в поворотном участке:

- а) — составляющая гидростатического давления;
 б) — составляющая кинетического давления;
 в) — полное давление; г) — принятая схема изменения распределения давления вдоль кривизны потока.

В сечении криволинейного участка напорного водосброса получено следующее выражение, определяющее среднюю скорость потока:

$$u_x = \frac{g e^{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \frac{y}{2}}}{1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \frac{h}{24}} \quad (11)$$

Для вывода формулы кинетического давления исходя из уравнения

$$p^* = \rho \int \frac{u_\theta^2}{r} dr, \text{ имеем:}$$

$$\frac{p^*}{\rho g} = \frac{1}{g} \int \frac{u_x^2}{r} dr \quad (12)$$

С учётом разложения функции e^x в ряд и после интегрирования получаем следующее выражение:

$$\frac{p^*}{\rho g} = \frac{g^2 \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \frac{y}{2} - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)^2 \frac{y^2}{4} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}\right) \frac{y^3}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)^2 \frac{y^4}{4h^2} \right]}{g \left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (13)$$

Выражение для кинетического давления можно представить в следующем виде:

$$\frac{p^*}{\rho g} = C_{pi}^* \frac{g^2}{2g}$$

при этом для трубопровода с большим радиусом кривизны, $(y = \frac{h}{2})$

$$C_{p2}^* = \frac{2 \left[\left(\frac{1}{R_1} + \frac{3}{R_2}\right) \frac{h}{8} - \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2}\right) \frac{5h^2}{64} - \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}\right)^2 \frac{h^2}{16} \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (14)$$

для внутренней поверхности трубопровода (с меньшим радиусом кривизны) ($y = -\frac{h}{2}$)

$$C_{\rho 1}^* = \frac{-2 \left[\left(\frac{3}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{8} - \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{5h^2}{64} + \frac{3h^2}{32R_1R_2} + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right) \frac{h^2}{16} \right]}{\left[1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24} \right]^2} \quad (15)$$

Радиусы R_1 и R_2 определяются в соответствии с рисунком 10. Эти радиусы относятся соответственно к внутренней и внешней поверхностям криволинейного участка и характеризуют гидравлические особенности потока в поворотной зоне. При сравнении значений, рассчитанных по формуле (11), с экспериментальными данными было установлено некоторое расхождение. Данное несоответствие объясняется сложностью структуры потока в реальных условиях, наличием турбулентных зон вблизи стенки (поверхности) и влиянием вторичных течений, которые не были учтены в исходной зависимости. В связи с этим было признано необходимым введение эмпирической поправки в формулу. Такая корректировка обеспечивает согласование расчётной эпюры скоростей с экспериментальными результатами как для концентрически расположенных поверхностей, так и для прямолинейного водовода. С учётом внесённой поправки формула принимает следующий вид:

$$u_x = A \frac{9e^{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{y^2}{2h} - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \frac{y}{2}}}{1 + \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \frac{h}{24}} C^B \quad (16)$$

Здесь:

$$A = 1 + \frac{0,125}{1 + 10 \frac{h}{R_0}}; \quad B = 0,125 - 0,0833 \left(\frac{h}{R_0} \right)^{0,113}; \quad C = 1 - \left(\frac{y}{\frac{h}{2}} \right)^2$$

Значения коэффициентов А, В и С приведены в таблице 1.

Предлагаемые формулы для расчёта скоростей не учитывают влияние относительной высоты водовода $\frac{h}{b}$ и коэффициента трения λ на распределение скоростей в поворотном участке.

Таблица 1.

h/R_0	0,00	0,025	0,050	0,075	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	1,00
A	1,125	1,100	1,083	1,071	1,062	1,042	1,031	1,025	1,021	1,018	1,016	1,014	1,012	1,011
B	0,125	0,070	0,036	0,033	0,060	0,056	0,052	0,050	0,048	0,046	0,045	0,044	0,043	0,042
$\frac{y}{h/2}$	0,999	0,998	0,997	0,993	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,990	0,985	0,980	0,975	0,970
C	0,002	0,004	0,003	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,019	0,029	0,039	0,049	0,059
$\frac{y}{h/2}$	0,965	0,960	0,955	0,953	0,945	0,940	0,935	0,930	0,925	0,920	0,915	0,910	0,905	0,900

С	0,069	0,078	0,088	0,098	0,107	0,116	0,126	0,135	0,144	0,153	0,163	0,172	0,181	0,191
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

В четвёртой главе диссертационной работы, озаглавленной «Сравнение расчётных и экспериментальных данных по давлению и скоростям в поворотном сечении водосбросного сооружения», приведены гидравлические зависимости для расчёта давления в поворотной части напорного водосброса Каркидонского водохранилища, а также результаты математического моделирования течений в поворотном участке трубопровода с использованием модели турбулентности SST. При проверке адекватности моделей турбулентности широко применяются классические тестовые задачи, основанные на экспериментальных данных. Одной из таких задач являются эксперименты Смита и Мецгера (Smits & Metzger, 1980), посвящённые течению турбулентного пограничного слоя вдоль выпуклой поверхности (convex curvature boundary layer). Эти данные впоследствии были приняты NASA Turbulence Modeling Resource (TMR) в качестве стандартного валидационного теста (NASA TMR, 2023). Данный тест особенно полезен для оценки точности RANS-моделей турбулентности, в частности модели SST (Shear Stress Transport), при воспроизведении физических процессов в криволинейных потоках. Пограничный слой представляет собой тонкую зону жидкости, возникающую на поверхности тела, движущегося относительно жидкости, и его изучение имеет большое значение для аэродинамических и гидромеханических приложений. Основной целью данного теста является проверка реализации двухфазной турбулентной модели в COMSOL Multiphysics и сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными NASA, опубликованными для турбулентного потока в изогнутом канале. В эксперименте использовался канал постоянного сечения высотой 0,127 м, изогнутый на угол 30° с внутренним радиусом кривизны 0,127 м (см. рисунок 8). Соотношение сторон канала составляло 6:1, что соответствовало числу Маха $M = 0,093$ и числу Рейнольдса $Re = 2\,100\,000$, характеризующих течение в канале.

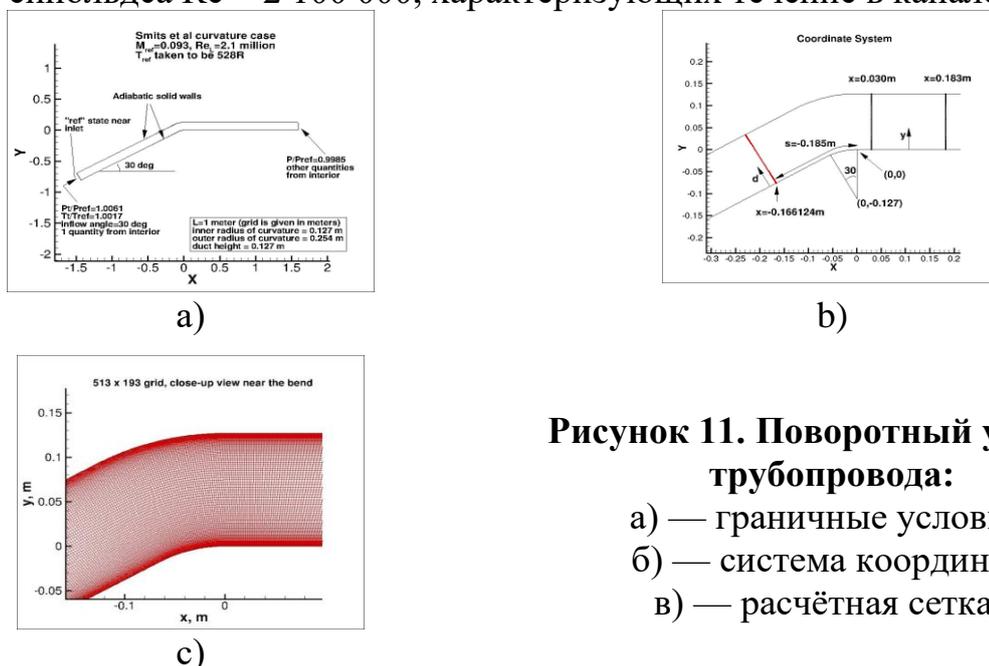


Рисунок 11. Поворотный участок трубопровода:

- a) — граничные условия;
- b) — система координат;
- в) — расчётная сетка..

На рисунке 11 представлено распределение параметров потока. Средняя скорость на входе (U_{ref}) составляет 31,9 м/с. Здесь P_t — полное давление, P — статическое давление, а T_t — полная температура. Расстояние от входа до начала искривления выбрано таким образом, чтобы обеспечить естественное развитие полностью турбулентного пограничного слоя и достижение его расчетной толщины до участка кривизны. Верхняя и нижняя границы моделировались как адиабатические твёрдые стенки. Для расчётов использовалась сетка размером 513×193 узлов, представленная на сайте NASA Turbulence Modeling Resource. Распределение коэффициента поверхностного давления вдоль стенки канала характеризуется изменением давления по мере удаления от точки отсчёта вдоль поверхности, что позволяет оценить влияние кривизны канала на структуру течения.

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{0.5\rho U_0^2} \quad (17)$$

Здесь: p - давление в точке на поверхности профиля, p_∞ - давление свободного потока, ρ - плотность свободного потока, U_0 - скорость свободного потока.

Коэффициент поверхностного трения C_f определяется как отношение касательной (сдвиговой) силы трения, действующей на поверхность профиля, к динамическому давлению свободного потока.

$$C_f = \frac{F}{0.5\rho U_0^2 S} \quad (18)$$

Здесь: F - сила трения, действующая на поверхность профиля, S - поверхность профиля, расположенная по направлению основного потока.

Оценка адекватности турбулентной модели SST

Ниже приведено сравнение полученных численных результатов с известными экспериментальными данными.

На рисунке 12 представлены: а) коэффициент давления; б) коэффициент трения на нижней поверхности канала; в) коэффициент трения на верхней поверхности канала, а также соответствующие экспериментальные результаты.

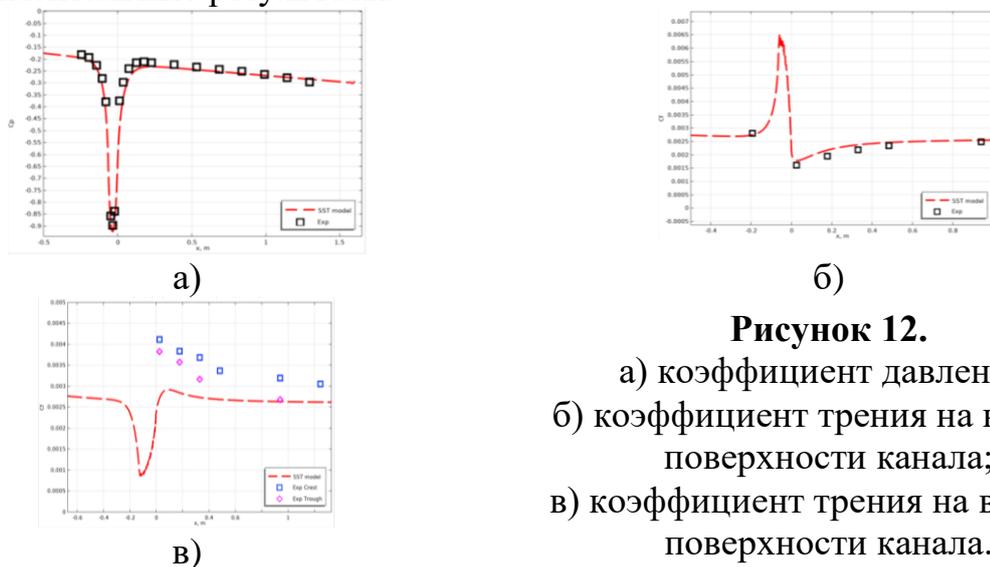


Рисунок 12.

- а) коэффициент давления;
- б) коэффициент трения на нижней поверхности канала;
- в) коэффициент трения на верхней поверхности канала.

На рисунке 13 представлены профили продольной скорости U (м/с) и турбулентных напряжений $\overline{u'v'}$ вдоль нижней поверхности канала в различных сечениях по потоку.

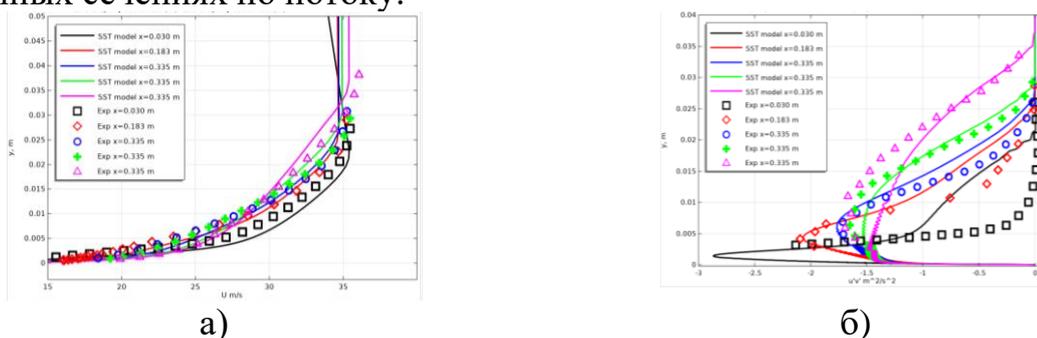


Рисунок 13. Профили продольной скорости и турбулентных напряжений вдоль нижней поверхности канала.

Как видно из рисунка 13, результаты моделирования по модели SST хорошо согласуются с экспериментальными данными. Значения турбулентных напряжений отличаются от экспериментальных результатов на участках, удалённых от зоны изгиба.

На рисунке 14 представлены изолинии скорости, давления и турбулентных напряжений в вогнутом (внутреннем) участке канала, полученные по модели SST.

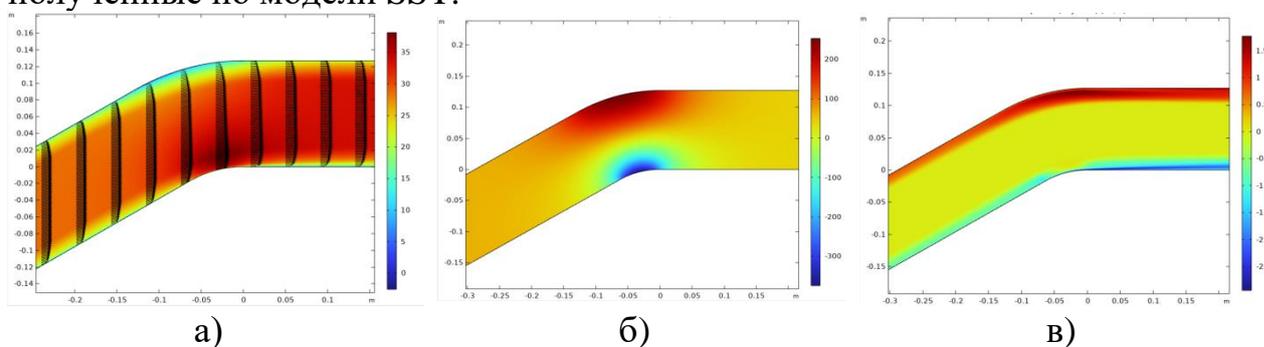


Рисунок 11. а) скорость, м/с; б) давление, Па; в) турбулентные напряжения, м²/с² — изолинии в вогнутом участке канала.

Как известно, вблизи выпуклых стенок уровни турбулентности уменьшаются по сравнению с течением вдоль плоских стенок. В данном случае адекватность турбулентной модели можно оценивать по её способности воспроизводить данный эффект. Следует отметить, что модель SST достаточно точно отражает это явление.

В рамках данного раздела представлены результаты исследований, выполненных с использованием пакета программ Comsol Multiphysics, где применён метод конечных элементов и стандартная турбулентная модель SST.

Для валидации модели SST были рассмотрены двумерные задачи обтекания выпуклой поверхности с развитием пограничного слоя.

Полученные результаты показывают, что модель SST обладает высокой точностью. Проведённое исследование также подтвердило, что данная модель имеет ряд преимуществ:

– Модель учитывает как вязкость, так и турбулентное перемешивание, что обеспечивает получение более точных результатов в областях с большими градиентами скорости.

– Модель принимает во внимание локальные характеристики течения, такие как градиенты скорости и вязкости, что позволяет более точно воспроизводить структуру потока в различных зонах.

– Модель обладает хорошим балансом между точностью прогноза и вычислительной эффективностью, что делает возможным выполнение расчётов за разумное время.

Таким образом, модель SST рекомендуется для расчётов инженерных задач турбулентной гидродинамики.

Выводы

По результатам проведённых исследований, выполненных в рамках диссертационной работы на тему **«Моделирование конструкции водовыпуска и водосброса высоконапорных водохранилища»** на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по техническим наукам, получены следующие выводы:

1. Обоснована эффективность применения системного анализа и современных методов математического моделирования при проектировании водовыпускных и водосбросных сооружений высоконапорных водохранилищ. Расчётные результаты, полученные с использованием методов вычислительной гидродинамики (CFD), в частности модели турбулентности SST (Shear Stress Transport), способствуют оптимизации конструктивных решений.

2. Средняя потенциальная энергия в выходной части зависит от распределения давления в трубопроводе и определяется на основании изменения давления вдоль потока. Данные изменения соответствуют физическому состоянию режима истечения воды — напорному или свободному.

3. На примере Каркидонского водохранилища математически описано изменение избыточного давления по вертикали в выходной части потока (от нуля до максимального значения), что позволило определить и предварительно оценить напряжённое состояние конструктивных элементов, расположенных вблизи поверхности потока.

4. Опасность кавитации возникает преимущественно в случаях, когда аэродинамическая форма контуров сооружения недостаточно сглажена, а также в поворотных участках трубопровода. Это приводит к повышению риска конструктивных повреждений и развития кавитационных процессов.

5. Коэффициент снижения давления в направлении течения (особенно в зонах поворота) связан с потерями давления, возникающими при преобразовании потенциальной энергии в кинетическую и вследствие локальных ускорений потока. Данный коэффициент определяется скоростью течения и геометрическими характеристиками конструкции.

6. Геометрическая форма запорного устройства, будь то по всей длине потока или частично криволинейная, играет важную роль в обеспечении устойчивости течения. Эллиптические и дуговые формы обладают преимуществами в снижении отрыва потока и уменьшении амплитуды пульсаций.

7. Глубина входной части напрямую определяет структурные и эксплуатационные параметры сооружения. При увеличении глубины нагрузка на механизмы затворов возрастает, что осложняет их техническое обслуживание. Напротив, при более высоком расположении уровня входного участка эксплуатация и управление затворами становятся более удобными и надёжными.

8. В переходных (соединительных) участках напорных водосбросов изменение формы и размеров сечения приводит к переходу режима течения от напорного к свободному. Это, в свою очередь, вызывает уменьшение области перед затворной камерой и требует разработки конструктивных решений, направленных на сохранение устойчивости потока.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/07.06.2024.T.106.07 FOR
AWARDING ACADEMIC DEGREES AT
FERGANA STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

FERGANA STATE TECHNICAL UNIVERSITY

UTBOSAROV SHUKHRATJON RUSTAMJON UGLI

**MODELING OF WATER RELEASE AND SPILLWAY STRUCTURES OF
HIGH-PRESSURE RESERVOIRS**

05.09.07 – Hydraulics and engineering hydrology

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

Fergana - 2025

The dissertation topic for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under registration number B2024.2.PhD/T4781.

The dissertation was completed at Fergana State Technical University.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is posted on the web page at (www.fstu.uz) and on the Information and Educational Portal “ZiyoNet” at www.ziynet.uz.

Scientific advisor:

Xudaykulov Savet Ishankulovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Nosirov Fakhriddin Jaylovovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Jorayev Sherali Sharipovich
Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences,
Associate Professor

Leading organization:

**Andijan Institute of Agriculture
and Agrotechnology**

The defense of the dissertation will take place on "___" _____ 2025 ____ hours at the meeting of the scientific council PhD.03/07.06.2024.T.106.07 at the Fergana State Technical University Address: 150107, Fergana, Fergana street 86. Tel. (+99873) 241-12-06; faks: (+99873) 241-13-03, e-mail: fstu_info@edu.uz.

The dissertation (PhD) can be found at the Information Resource Center of the Fergana Polytechnic Institute (registered No. __). Address: 150107, Fergana, Fergana Street 86. Tel. (+99873) 241-12-06; fax: (+99873) 241-13-03, e-mail: fstu_info@edu.uz

The dissertation abstract was sent out on “___” _____ 2025.
(mailing protocol No. ___ “___” _____ 2025).

I.T.Karimov

Chairman of the scientific council
for awarding academic degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Z.E.Abdulkhayev

Scientific Secretary of the scientific council
for awarding academic degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

L.N. Samiyev

Chairman of the scientific seminar at the scientific council
for awarding academic degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The object of the study. The object of the research is the water release and spillway structures of the Karkidon Reservoir located in the Fergana region.

The purpose of the research. The purpose of the research is to improve mathematical modeling methods characterizing the operational modes of water release and spillway structures of high-pressure reservoirs through a comprehensive analysis of hydraulic and hydrodynamic processes, and to integrate CFD-based (RANS–SST model and others) simulation results into practical design and operation.

Research methods: In the course of the research, the velocity field method, comparative analysis of solutions obtained by numerical modeling with experimental data, generally accepted approaches in hydraulics and hydrology, and mathematical modeling with numerical solution techniques were applied.

Scientific novelty of the research:

Based on CFD modeling of a two-phase flow in the water outlet structure of the Karkidon Reservoir, the hydrodynamic pressures acting on the gate, their pulsating characteristics, and the associated energy loss patterns were determined, and the influence of the two-phase flow on the gate structure was evaluated in accordance with hydrodynamic principles.

Taking into account the hydraulic resistance coefficients of the inlet sections of water outlet structures, the influence of various inlet geometries on flow stability was assessed, and elliptical and smoothly contoured inlet profiles were recommended as optimal structural configurations ensuring reduced energy losses and a lower probability of flow separation.

Using mathematical modeling algorithms describing the flow dynamics in the water outlet and spillway structures of high-head reservoirs, the methods for calculating velocity and pressure distributions in the curved sections of the structures were improved with consideration of local hydraulic resistances and bend geometry effects.

Using the Karkidon Reservoir as a case study, the pressure and velocity distributions in the curved sections of the water outlet and spillway structures were modeled using CFD, in particular the SST turbulence model, and the obtained numerical results were compared with experimental and operational data; as a result, the average relative error of 2.32% obtained with the SST model confirmed the reliability of the developed mathematical model.

The practical results of the study are as follows:

Based on mathematical modeling formulations describing the discharge flow dynamics in a two-phase medium, a high-accuracy approach for calculating the pressure acting on the conical gate in the outlet section has been developed.

The hydraulic resistance coefficients of the inlet sections of spillway structures were refined, the efficiency of inlet sections with different geometries (elliptical, circular, and angular) was evaluated, and the methodology for selecting optimal structural inlet contours was improved.

Pressure and velocity distributions in the curved sections of the conduit were determined and verified under real operating conditions of the Karkidon Reservoir using CFD modeling; comparison with experimental data confirmed the adequacy of the obtained results.

Methods for calculating pressure and velocity distributions based on modeling the flow dynamics in spillway structures were developed, and the results obtained on this basis were recommended for application in practical design processes.

Implementation of the research results: Based on the scientific results obtained from modeling the structures of water outlet and spillway facilities of high-head reservoirs:

Based on CFD modeling of a two-phase flow in the water outlet structure of the Karkidon Reservoir, the hydrodynamic pressures acting on the gate, their pulsating characteristics, and the patterns associated with energy losses were determined, and the influence of the two-phase flow on the gate structure was evaluated in accordance with hydrodynamic laws; furthermore, taking into account the hydraulic resistance coefficients of the inlet sections of water outlet structures, the influence of various inlet geometries on flow stability was assessed, and proposals regarding elliptical and smoothly contoured inlet profiles, ensuring reduced energy losses and a lower probability of flow separation, were applied in the activities of the Fergana Regional Reservoir Operation Authority (certificate of the Ministry of Water Resources dated September 23, 2024, No. 05/13-3443). As a result, the impact of turbulent flow on the structures of high-head spillway facilities was assessed, enabling their safe and efficient operation;

Using mathematical modeling algorithms describing the flow dynamics in the water outlet and spillway structures of high-head reservoirs, the methods for calculating velocity and pressure distributions in the curved sections of the structures were improved with consideration of the effects of local hydraulic resistances and bend geometry; furthermore, using the Karkidon Reservoir as a case study, the pressure and velocity distributions in the curved sections of the water outlet and spillway structures were modeled using CFD, in particular the SST turbulence model, and the recommendations developed based on the obtained numerical results were applied in the activities of “Sirdaryo–Sokh ITB” (certificate of the Ministry of Water Resources dated September 23, 2024, No. 05/13-3443). As a result, it became possible to reduce the average relative error in determining the force and pressure acting on the conical gate in the water outlet section of the structure using the SST model to 2.32%.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references and appendices. The volume of the dissertation consists of 124 pages.

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

1. O‘tbosarov Sh.R., Xudaykulov S.I., Mo‘minov O.A. “Modeling the Rotation of a Turbulent Flow with a Variable Radius” Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (JCSEITR) ISSN(P): 2250-2416; ISSN(E): Applied Vol. 12, Issue 2, Dec 2022, 39–46 © TJPRC Pvt. Ltd. (05.00.00 №28)

2. O‘tbosarov Sh.R., Mo‘minov O.A. “Analysis of CFD Modeling of the Karkidon Reservoir Spillway Operation Using the SST Turbulent Model” Journal of Construction and Engineering Technology JCET: volume 3, issue 1, 2025 ISSN 2181-4473 1-15 p. (05.00.00 Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2024 yil 07 iyundagi 355/5-son qarori).

3. Xudaykulov S.I., O‘tbosarov Sh.R., Usmonova N.A. “Simulation of the Lift of Two Sequential Gate Valves of the Karkidon Reservoir” Middle European Scientific Bulletin, VOLUME 18 Nov 2021 ISSN 2694-9970 148-156 p. (OAK (35) CrossRef)

4. O‘tbosarov Sh.R., “Hydrodynamic Model for Determining the Flow Pressure at the Turn of a Pressure Spillway and the Distribution of Velocities Across the Cross Section of Structures” Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2023, Т.27. спец.выпуск №16) (05.00.00 №20).

5. O‘tbosarov Sh.R., Mo‘minov O.A. “Hydrodynamic Calculations of Resistance Coefficients And Discharge of Pressured Water Outlets of the Karkidon Reservoir” “Uzbekhydropower” scientific and technical journal, 2023*№4 (20) 67-69 p (05.00.00 Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2020 yil 30 oktabrdagi 287/9.1-son qarori).

6. O‘tbosarov Sh.R., Mo‘minov O.A. “Моделирования процессов кавитации и вибрации в инженерных гидросооружениях” Научно-технический журнал «Узбекгидроэнергетика» 2023*№3 (19) 58-60 p (05.00.00 Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2020 yil 30 oktabrdagi 287/9.1-son qarori).

II бўлим (II часть; II part)

1. O‘tbosarov Sh.R., Xudaykulov S.I., Madaliyev M.E., Mo‘minov O.A. “Turbulent flow out of a convex curve in a channel using the SST turbulence model” E3S Web of Conferences 452, 02011 (2023) XV International Online Conference “Improving Farming Productivity and Agroecology – Ecosystem Restoration” (IPFA 2023)

2. O‘tbosarov Sh.R., Isakov R.A., “Modeling the Capacity of the Pressured Water Outlets of Reservoirs” “INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION” INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL

CONFERENCE (May 25, 2023) PART II 473-475 p TOSHKENT 2023-yil, 25-may

3. O‘tbosarov Sh.R., Alijonov R.V., “Математические модели различения трамплинов водопровод и инженерные сооружения” “Muhandislik kommunikatsiyalari qurilishida innovatsion va energiyatejamkor texnologiyalarni qo‘llashning ilmiy asoslari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. – Farg‘ona: “Super Print” nashriyoti, 2023-yil – 519-523 betlar.

4. O‘tbosarov Sh.R., “Влияние аэрации и деаэрации потока на работу водовыпуска и водосброса сооружений” Республиканская научно-практическая конференция с участием зарубежных учёных «Современная архитектура, проблемы прочности, надежности, сейсмической безопасности зданий и сооружений»

5. O‘tbosarov Sh.R., Komilov A.K., “Modeling the Rotation of a Turbulent Flow with a Variable Radius” USE OF EFFICIENT AND ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF MODERN BUILDINGS Republican scientific and technical conference, 27-noyabr 2023-yil Termiz-2023 162-165 betlar

6. O‘tbosarov Sh.R., Mo‘minov O.A.. “Yuqori bosimli suv tashlash inshootlari konstruksiyalariga turbulent oqim ta’sirini baholash dasturi”. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligidan berilgan guvohnoma. DGU 30147. 30.11.2023 y.

7. O‘tbosarov Sh.R., Mo‘minov O.A.. “Suv chiqarish quvurlaridagi bosimning inshoot konstruksiyalariga ta’sirini baholash dasturi”. O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligidan berilgan guvohnoma. DGU 30148. 30.11.2023 y.

Avtoreferat « _____ » ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (rezyume) tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi (__.__.2025)

Bosishga ruxsat etildi: ____.__.2025 yil
Bichimi 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 2,8. Adadi:100. Buyurtma №67.
Guvohnoma reestr № 10-3279
“ _____ ” MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
100000, Farg‘ona sh., Farg‘ona ko‘chasi, 86-uy.