

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI Ph.D.15/03.06.2023.FM/T.73.08
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI

HAYDAROVA ROZIYA DAVRONOVNA

**SUV XO‘JALIGI OBYEKTLARIDA GIDRAVLIK JARAYONLARNI KO‘P
O‘LCHOVLI FAZOVIIY TAQSIMLANISHINI HISOBGA OLGAN HOLDA
OPTIMAL BOSHQARISH**

05.01.02–Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotlarni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI
(PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

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

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

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

Haydarova Roziya Davronovna

Suv xo‘jaligi obyektlarida gidravlik jarayonlarni ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishini hisobga olgan holda optimal boshqarish3

Хайдарова Розия Давроновна

Оптимальное управление гидравлическими процессами в водохозяйственных объектах с учетом многомерного пространственного распределения.....21

Haydarova Roziya Davronovna

Optimal management of hydraulic processes in water management facilities, taking into account the multidimensional spatial distribution39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works44

.

**TOSHKENT DAVLAT TRANSPORT UNIVERSITETI HUZURIDAGI
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI Ph.D.15/03.06.2023.FM/T.73.08
RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TERMIZ DAVLAT UNIVERSITETI

HAYDAROVA ROZIYA DAVRONOVNA

**SUV XO‘JALIGI OBYEKTLARIDA GIDRAVLIK JARAYONLARNI KO‘P
O‘LCHOVLI FAZOVIIY TAQSIMLANISHINI HISOBGA OLGAN HOLDA
OPTIMAL BOSHQARISH**

05.01.02–Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotlarni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI
(PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/T4163 raqam bilan ro'yhatga olingan.

Dissertatsiya Termiz davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (<http://tstu.uz/page/120>) va «ZiyoNet» Axborot-ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Seytov Aybek Jumabayevich

texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Rasmiy opponenlar:

Normurodov Chori Begaliyevich

fizika-matematika fanlari doktori, professor

Shamsiyev Rasul Zoirovich

texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

Yetakchi tashkilot:

Toshkent arxitektura va qurilish universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat transport universiteti huzuridagi ilmiy darajalar beruvchi PhD.15/03.06.2023.FM/T.73.08 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil 31-yanvar soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100167, Toshkent shahar, Temiryo'Ichilar ko'chasi, 1-uy. 259-xona. Tel.: (+99871) 299-00-01, faks: (+99871) 239-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat transport universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№_____ raqami bilan ro'yhatga olingan). Manzil: 100167, Toshkent shahar, Temiryo'Ichilar ko'chasi, 1-uy. Tel.: (+99871) 299-05-66).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil ___-yanvar kuni tarqatildi.

(2025-yil ___-yanvardagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).

X.M.Shadimetov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi,
fizika-matematika fanlari doktori, professor

F.A.Nuraliyev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy
kotibi, fizika-matematika fanlari doktori,
professor

T.R.Nurmuxamedov

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda suv resurslarini iqtisod qilgan holda iste'molchilarga yetkazib berish, uni boshqarish masalalarini matematik modellashtirishga, berilgan me'zonlar asosida ularning ish rejimlarini zamonaviy axborot tizimlari bilan optimal boshqarishga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda jahonning bir qator mamlakatlarida, jumladan, AQSh, Fransiya, Ispaniya, Xitoy, Ukraina, Rossiya Federatsiyasi, Qirg'iziston va O'zbekistonda suv xo'jaligi obyektlaridagi gidravlik jarayonlarni optimal boshqarish bo'yicha ilmiy ishlar olib borilmoqda. Bu borada, jumladan, ko'p o'lchovli fazoviy taqsimlanishini hisobga olgan holda matematik modellarini yaratish, ularning sifat me'zonlari va usullarini, optimal boshqarishni ta'minlovchi zaruriy shartni ishlab chiqish va suv taqsimlashda zamonaviy axborot tizimlaridan foydalanib suv xo'jaligi obyektlarining ish rejimlarini nazorat qilish, hisob olib borish orqali optimal boshqarish masalalarini yechish usullarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda suv resurslarini iste'molchilarga yetkazib berishda suv xo'jaligi obyektlari, daryolar, magistral kanallar, irrigatsiya tizimi kanallari va suv omborlarining ish rejimlarini zamonaviy axborot tizimlari orqali optimal boshqarish ko'rsatkichlarini matematik modellarini yaratish, sifat me'zonlari hamda usullarini ishlab chiqish va ularni takomillashtirishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan optimal boshqarish usullari, sifat me'zonlari, matematik modellar va algoritmlarga asoslangan suvni iqtisod qilgan holda iste'molchilarga yetkazib berish bo'yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, suv xo'jaligi obyektlarida suv taqsimlashni gradiyent proyeksiyasi orqali optimal boshqarishning usullarini ishlab chiqishni ilmiy asoslash dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi.

Respublikamizda hozirgi paytda iste'molchilarga suv resurslarini yetkazib berish masalasini yechish talab qilingan muammolardan biri bo'lib, uning dolzarbligi irrigatsiya tizimlari kanallarida suv resurslarini iqtisod qilgan holda iste'molchilarga yetkazib berish jarayonini optimal boshqarish, berilgan sifat me'zonlariga asoslanib, ishonchliligini oshirish va aniq vaqtda aniq iste'molchini suv bilan ta'minlash bo'yicha chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020 – 2030 yillarga mo'ljallangan konsepsiyasida, jumladan "...suv resurslarini prognozlashtirish, ularning hisobini yuritish va ma'lumotlar bazasini shakllantirish tizimini takomillashtirish hamda shaffofligini ta'minlash, ... yirik suv xo'jaligi obyektlarini boshqarishni raqamli texnologiyalar asosida avtomatlashtirish..."¹ vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirish, jumladan irrigatsiya tizimi kanallari suv resurslarini optimal taqsimlashda nazorat qilish, hisob olib borishni optimal boshqarishning model va algoritmlarini yaratish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

¹O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 10 iyuldagi "O'zbekiston Respublikasi suv xo'jaligini rivojlantirishning 2020–2030 yillarga mo'ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to'risida" gi PF-6024-son Farmoni

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 10 – iyuldagi “O‘zbekiston Respublikasi suv xo‘jaligini rivojlantirishning 2020 – 2030 yillarga mo‘ljallangan konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi PF-6024-son Farmoni va 2023 yil 28 fevraldagi PF-27-son “2022–2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasini “Insonga e’tibor va sifatli ta’lim yili”da amalga oshirishga oid davlat dasturi to‘g‘risida”gi Farmonlari, 2025 yil 5 yanvardagi PQ-5-son “Quyida bo‘g‘inda suv resurslarini boshqarish tizimini takomillashtirish hamda suv resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish chora–tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy–huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu tadqiqot muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga bog‘liqligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Hozirgi kunda suv xo‘jaligi har xil obyektlarini matematik modellashtirish masalasi bo‘yicha jahonning bir nechta mamlakatlarida tadqiqotlar olib borilgan hamda yetarli darajada nazariy va amaliy natijalar olingan. Jumladan xorijiy olimlar, Sen-Venan (graf Barre Sen-Venan) Ademar Jan Klod, S.A. Xristianovich, A.A. Arxangelskiy, J. Stoker, V.I. Koren, L.S. Kuchment, A.A. Atavin, A.F. Voyevodin, M.G. Gladishev, S.M. Shugrin, N.A. Platzman, G. Fisher, R. Courant, N.A. Kartvelishvili, K.O. Friedrichs, H. Lewy va boshqalar suvning beqaror harakatining matematik modellarini yaratish, chegaraviy masalalarni matematik tavsiflash, asosan oshkor ayirmali sxemalar yordamida yechishning sonli usullarini yaratish, morfometrik va gidravlik xususiyatlarini aniqlash usullarini ishlab chiqish, oqimning bir o‘lchovli sxemasi bilan bog‘liq holda, bir o‘lchovli harakat tenglamalaridan ko‘p o‘lchovli tenglamalarni chiqarishning asosiy masalalarini o‘z ishlarida keltirishgan.

Mamlakatimiz olimlaridan J. Akilov, F.B. Abutaliyev, E.B. Abutaliyev, R. Sadullayev, S.I. Xudaykulov, I.K. Xo‘jayev, O.Sh. Bozorov, M. Mamatqulov, O.M. Arifjanov, A.M. Fathullayev, U.U. Jonqobilov, M.K. Mahkamov, H.A. Mamadaliyev, Sh.X. Raximov, A.J. Seytov va boshqalar suv taqsimotini optimal boshqarish masalalari, suv xo‘jaligi obyektlari, daryolar, magistral kanallar va sug‘orish tizimlarining kanallarida suvning beqaror harakatini matematik modellashtirish masalalari ustida tadqiqotlar olib borishgan.

Hozirgi vaqtda suv xo‘jaligi obyektlarida gidravlik jarayonlarni ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishini hisobga olgan holda matematik modellarini ishlab chiqish, ularni sonli yechish algoritmlarini va dasturlar majmualarini yaratish muammolari yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya mavzusining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Ushbu tadqiqot ishi QX-A-QX-2018-279 “Suv va energetika yo‘qotishlarini kamaytiruvchi zamonaviy boshqarish usullar va yangi asbob-uskunalarni qo‘llab, katta nasos stansiyalar kaskadlarining ishlatish rejimlarini takomillashtirish” mavzusida

O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Fan va texnologiyalarni rivojlantirishni muvofiqlashtirish qo‘mitasi bilan KHA-7-058 shartnoma asosida amalga oshirildi.

Tadqiqotning maqsadi: suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining ikki o‘lchovli beqaror harakatini optimal boshqarishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

suv xo‘jaligi obyektlaridagi ikki o‘lchovli beqaror suv harakatining matematik modelini takomillashtirish;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining ikki o‘lchovli beqaror harakatini optimal boshqarishning zaruriy shartini ishlab chiqish;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining ikki o‘lchovli beqaror harakatini optimal boshqarish masalasini yechish algoritmlarini ishlab chiqish;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining ikki o‘lchovli beqaror harakatini optimal boshqarish masalasini yechish dasturlar majmuasini yaratish.

Tadqiqotning obyekti suv xo‘jaligi obyektlaridagi gidravlik jarayonlarni ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishini hisobga olgan holda optimal boshqarish jarayonlari.

Tadqiqotning predmeti suv xo‘jaligi obyektlaridagi gidravlik jarayonlarni optimal boshqarishning matematik modellari, sifat me‘zonlari, optimal boshqarish usullari, algoritmlari va dasturlar majmualaridan iborat.

Tadqiqot usullari. Tadqiqot jarayonida matematik va sonli modellashtirish usullari, optimal boshqarish va tarqatma parametrli sistemalarni algoritmlashtirishdan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining beqaror harakatini ifodalovchi Sen-Venanning bir o‘lchovli xususiy hosilali differensial tenglamalar tizimi ikki o‘lchovli matematik modelga takomillashtirilgan;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining beqaror harakatining takomillashtirilgan Sen-Venanning ikki o‘lchovli matematik modeli uchun Pontryaginning maksimum tamoyili asosida optimallikning zaruriy sharti ishlab chiqilgan;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining beqaror harakatining takomillashtirilgan Sen-Venanning ikki o‘lchovli matematik modeli uchun ishlab chiqilgan optimallikning zaruriy sharti asosida optimal boshqarish masalasini yechish algoritmlari ishlab chiqilgan;

suv xo‘jaligi obyektlaridagi suv resurslarining takomillashtirilgan ikki o‘lchovli beqaror harakatini proyeksiya gradiyenti usuli asosida optimal boshqarish masalasini yechish dasturlar majmuasi yaratilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

iste‘molchilarni suv bilan ta‘minlash ishonchligini oshirish maqsadida ko‘p o‘lchovli suv xo‘jaligi obyektlari va ularning gidrotexnik inshootlarining ish rejimlari takomillashtirilgan;

modellashtirishning aniqliligi oshirilib, suv xo'jaligi obyektlarida suv resurslarining samarasiz yo'qotishlari kamaytirilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi o'tkazilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlarga asoslangan, har xil variantdagi sonli eksperimentlar bilan tabiiy sharoitda Amu – Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi va Jizzax bosh nasos stantsiyasidan foydalanish boshqarmasi hamda Janubiy Mirzacho'l magistral kanalidan foydalanish boshqarmasidan olingan ma'lumotlar bilan solishtirilganligi hamda ularning obyekt xususiyatlariga mosligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati ko'p o'lchovli taqsimlanishini hisobga olgan holda suv xo'jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini optimal boshqarishning matematik hamda sonli modellari, sifat mezonlari, algoritmlari ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi;

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati suv xo'jaligi ob'ektlari daryolar, magistral kanallar va irrigatsiya tizim kanallarida suv resurslarini ko'p o'lchovli taqsimlanishini hisobga olgan holda boshqarish masalasini yechishning dasturlar majmuasi yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Iste'molchilarga suvni iqtisod qilgan holda yetkazib berish sharoitida irrigatsiya tizimi kanallarida suv taqsimlashni optimal boshqarish bo'yicha olingan natijalar asosida:

suv xo'jaligi obyektlarida ikki o'lchovli beqaror suv harakatini modellashtirish masalasini yechish uchun dasturlar majmuasi Amu-Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi obyektlariga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Surxondaryo viloyati hokimligining 2025 yil 5 oktabrdagi 05-05/7784-sonli ma'lumotnomasi). Natijada irrigatsiya tizimi kanallarida suv resurslarini yo'qotishlarini 3-5% gacha kamaytirish imkonini bergan;

ikki o'lchovli beqaror suv harakatini matematik modellari hamda ularni ish rejimlarini boshqarish Jizzax bosh nasos stantsiyasidan foydalanish boshqarmasi suv xo'jaligi obyektlari va ularning gidrotexnik inshootlariga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Surxondaryo viloyati hokimligining 2025 yil 5 oktabrdagi 05-05/7784-sonli ma'lumotnomasi). Natijada yaratilgan dasturlar majmuasi kanallarning suv chiqaruvchi gidrotexnik inshootlarining ishlari samaradorligini 5-7% ga oshirish imkonini bergan;

suv xo'jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun chekli elementlar sonli usulining yechish algoritmlari Janubiy Mirzacho'l magistral kanalidan foydalanish obyektlari va tizimlariga joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Surxondaryo viloyati hokimligining 2025 yil 5 oktabrdagi 05-05/7784-sonli ma'lumotnomasi). Natijada ishlab chiqilgan algoritmlar ekin maydonlarini sog'irishning samaradorligini 10% gacha va olinadigan hosilning sifatini yaxshilash imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro, 4 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 20 ta ilmiy ish chop etilgan. O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya

komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar 8 ta maqola, 4 tasi xorijiy, jumladan 1 ta scopus, 4 tasi respublika jurnallarida chop etilgan hamda 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalar qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 120 sahifani tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbliligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, obyekti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, amaliy natijalari va ilmiy yangiligi bayon qilingan, tadqiqotda olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy etilishi, aprotatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiya ishining **“Suv xo'jaligi obyektlarida ikki o'lchovli beqaror suv harakatini optimal boshqarishning matematik modellari va sifat mezonlarini ishlab chiqish”** deb nomlangan birinchi bobi beshta paragrafdan iborat. Unda dissertatsiya ishi bo'yicha suv xo'jaligi obyektlarida beqaror suv harakatining matematik modellarining tahlili, ularning parametrlarining fazoda ko'p o'lchovli taqsimlanishini hisobga olgan holda chegaraviy shartlari, suv xo'jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini optimallashtirish modeli hamda suv xo'jaligi obyektlaridagi suv resurslarini optimal boshqarish usulini aniqlashtirish masalalari keltirilgan.

Bir o'lchovli holatda Sen-Venan tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{1}{g\omega} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \frac{\partial z}{\partial x} = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (1)$$

bu yerda: $Q=Q(x, t)$ – suv sarfi; $z=z(x, t)$ – erkin sirtning ordinatasi; g – gravitatsiya doimiysi; i – pastki nishablik; $B=B(z)$ – tirik kesim yuzasi bo'ylab oqim kengligi; $\omega=\omega(z)$ – oqim tirik kesimining yuzasi; $c=c(z)$ – kichik to'lqinlarning tarqalish tezligi; $K=K(z)$ – sarf moduli.

Quyidagi tenglama gidrostatik yaqinlashishda ideal siqilmaydigan suyuqlikdagi uzun to'lqinning harakatini tavsiflaydi:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Hu + \frac{\partial}{\partial y} Hv = 0 \quad (2)$$

bu yerda, $H(x,y,t) = h + \zeta$, $h(x,y)$ – bezovtalanmagan suyuqlik chuqurligi.

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial U}{\partial t} + (UV)U, \quad (3)$$

formuladan foydalanib, tenglamaning proyeksiyalarini koordinata o'qlarida yozamiz:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial x} = \Phi_x, \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial y} = \Phi_y, \quad (5)$$

bu yerda, vektor

$$\Phi = \{\Phi_x, \Phi_y\} \equiv F - 2\omega x U + g \nabla h. \quad (6)$$

Keyinchalik biz (4) va (5) tenglamalarning bir vektorli tenglama ko‘rinishidagi qulay yozuvidan foydalanamiz

$$\frac{\partial U}{\partial t} + A \frac{\partial U}{\partial x} + B \frac{\partial U}{\partial y} = \Phi. \quad (7)$$

Kanal tubining ordinatasi $z_o(x,y)$ funksiya bilan beriladi, unda pastki qiyaliklar mos koordinatalar bilan aniqlanadi

$$S_{ax} = \frac{\partial z_o}{\partial x}, \quad S_{ay} = \frac{\partial z_o}{\partial y}, \quad (8)$$

Manning formulasi yordamida erkin sirtlarning qiyaliklarini koordinatalari bo‘yicha olamiz.

$$S_{fx} = \frac{n^2 u (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{n^2 v (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}, \quad (9)$$

(7) tenglama ikki o‘lchovli giperbolik tipdagi kvazi chiziqli tenglamalarni anglatadi.

Ochiq kanallarda beqaror suv oqimini tavsiflovchi ikki o‘lchovli Sen–Venan tenglamalari sistemasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + i = 0,$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial x} = gh(S_{ax} - S_{fx}), \quad (10)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2 h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial y} = gh(S_{ay} - S_{fy}).$$

O‘zgaruvchilarga $p=uh$, $q=vh$ almashtirish kiritib, vektor ko‘rinishdagi quyidagi tenglamaga ega bo‘lamiz:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (11)$$

Bu yerda $\mathbf{U}, \mathbf{F}, \mathbf{G}$ va \mathbf{D} funksiya vektorlari

$F(U)$ va $G(U)$ funksiyalar U funksiyaga bog‘liq bo‘lgani uchun (12) tenglamani quyidagi ko‘rinishda yozamiz

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0. \quad (13)$$

Shunday qilib, (13) tenglamani vektor–matrisa ko‘rinishida yozamiz.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (14)$$

Shunday qilib, ochiq kanallardagi beqaror suv oqimlarini tavsiflovchi ikki o'lovchi Sen-Venan tenglamasi vektor–matritsa ko‘rinishida quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (x, y) \in \Omega \quad (15)$$

bu yerda $\mathbf{U} = \{h, p, q\}$.

Masalaning asosiy maqsadi suv xo‘jaligi obyektlari hududida ko‘ndalang va bo‘ylama yo‘nalishlarda suv resurslari tezligining o‘zgarishini maksimal darajada oshirishdir:

$$I = \left(\int_0^T \int_0^L [u(x,t) - u^*(x,t)]^2 dx dt + \int_0^T \int_0^M [v(y,t) - v^*(y,t)]^2 dx dt \right) \rightarrow \max, \quad (16)$$

Quyidagi shartlarda

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + i = 0, \\ \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial x} = gh(S_{ax} - S_{fx}), \\ \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial y} = gh(S_{ay} - S_{fy}), \\ U(x, y, t_0) = U_0(x, y), \quad (x, y) \in \Omega, \\ h_i(x, y, t) = H_i(t), \\ q_i(x, y, t) \cos \alpha + p_i(x, y, t) \sin \alpha = Q_i(t), \\ \alpha = (\mathbf{n}, \mathbf{Ox}), \quad (x, y) \in d\Omega_{\text{жи}} \quad i = 1, n_{\text{ж}} \end{array} \right. \quad (17)$$

boshqaruv ta'siri ostida:

$$\begin{array}{l} u(0, t) = u_1(t), \quad u(L, t) = u_2(t), \\ v(0, t) = v_1(t), \quad v(M, t) = v_2(t), \end{array} \quad (18)$$

obyekt uchastkalarining ishlash rejimlariga cheklovlar quyidagicha bo‘ladi:

$$u_{\min} \leq u(x, t) \leq u_{\max}, \quad v_{\min} \leq v(y, t) \leq v_{\max}. \quad (19)$$

(18) boshqaruv harakati va (19) cheklovlar ostida (17) shartlar bilan (16) maksimallashtirish masalasi holatlar bo‘yicha cheklovlar bilan taqsimlangan parametrlarga ega kvazichiziqli sistemalar uchun boshqaruv masalasidir. Suv xo‘jaligi obyekti uchastkasidagi beqaror suv harakatining matematik modeli suv oqimining barcha asosiy gidravlik xususiyatlarini hisobga oladi.

Ko‘rib chiqilayotgan (16)-(17) masala uchun cheklovlarning ichki sohasini boshqarishda optimallik me‘zoni variatsiyasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi.

$$\delta I = \int_0^L [u(x, T) - u^*] \delta u(x, T) dx + \int_0^M [v(x, T) - v^*] \delta v(x, T) dy -$$

$$-\int_0^T \left\{ \left[\left(\frac{\partial u}{\partial u_1} \right)_{(L,t)} \left(\frac{\partial u}{\partial u_2(t)} \right)_0 \right] \delta u_2(t) + \left(\frac{\partial u}{\partial u_1} \right)_{(0,t)} \left(\frac{\partial u}{\partial u_2(t)} \right)_0 \delta u_1(t), \quad (20)$$

bu yerda $u = \lambda^1 S_{ay} + \lambda^2 S_{fy}$.

Sen-Venan tenglamalari sistemasi uchun optimallikning yakuniy zaruriy shartlari, cheklovlarning ichki sohalari boshqaruvida quyidagi shaklga ega:

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{x=0} \left(\frac{\partial u}{\partial u_1(t)} \right)_0 = 0, \quad (25)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{x=L} \left(\frac{\partial u}{\partial u_2(t)} \right)_0 = 0. \quad (26)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{y=0} \left(\frac{\partial v}{\partial v_1(t)} \right)_0 = 0, \quad (27)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{y=M} \left(\frac{\partial v}{\partial v_2(t)} \right)_0 = 0. \quad (28)$$

Agar yuqori (pastki) chegaralarda boshqaruvga erishilsa, (25), (26), (27) va (28) ifodalarning chap qismidagi tegishli qiymatlari nomusbat (nomanfiy) bo'lishi kerak.

“Suv xo‘jaligi obyektlarida gidravlik jarayonlarni ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishni hisobga olgan holda optimal boshqarish masalasini yechish algoritmlarini ishlab chiqish” deb nomlangan ikkinchi bobda suv xo‘jaligi obyektlarida suvning beqaror harakatini modellashtirish uchun ularning parametrlarining fazoda ko‘p o‘lchovli taqsimlanishini hisobga olgan optimal boshqarish masalasini yechish uchun sonli usullarni tadqiq qilish, suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun chekli elementlar sonli usulini qo‘llashning xususiyatlarini aniqlash natijalari keltirilgan. Beqaror suv harakatining fazoda aniqlanish sohasini oddiy elementlar bilan approksimatsiyalash va bazis funksiyalar tadqiqi, suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun elementlar bo‘yicha tenglamalar koeffitsiyentlarini hisoblash algoritmlarini va chekli elementlar sonli usulining tenglamalari uchun to‘la koeffitsiyentlarni shakllantirish algoritmlari, suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini optimal boshqarish masalasini yechish uchun chekli elementlarning sonli usulining dasturiy modullarni ishlab chiqish natijalari keltirilgan.

$$\mathbf{V}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \eta} = \mathbf{V}^k - \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau, \quad (x, y) \in \Omega, \quad k = 1, 2, \dots \quad (29)$$

Boshlang'ich shartlar

$$\mathbf{V}^0 = \mathbf{V}_0, \quad (x, y) \in \Omega, \quad (30)$$

Chegaraviy shartlar

$$\mathbf{E}_i^k \mathbf{V}^{k+1} = \mathbf{F}_i^k, \quad (\xi, \eta) \in d\Omega_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (31)$$

Sonli yechish usuli. (31) chegara shartlari bilan (29) tenglamani sonli yechish algoritmi sifatida biz Galerkin – Petrov sxemasiga asoslangan chekli element usulidan foydalanamiz [4; 787–811-b., 7; 78–96-b., 11; 575–626-b., 13; 30–35-b]:

1. Ikki o'lchovli hisoblash sohasi uchun chekli elementlar sifatida uchburchakli yoki to'rtburchakli elementlar qabul qilinadi va oxirgilarini diagonal ravishda ikkita uchburchakli elementga bo'lish mumkin.

Ω -o'zgaruvchilarning aniqlanish sohasi N ta chekli Ω_i qism sohalarga bo'linadi ($i = 1, 2, \dots, N$), $\bigcup_{i=1}^N \Omega_i$, $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, bunda $i \neq j$ ga muvofiq bichiziqli almashtirish yordamida izoparametrik koordinatalarga o'tamiz.

2. Raqamlangan tugunlarda izlanayotgan funksiyaning tugun qiymatlari aniqlanadi, ular aniqlanishi kerak bo'lgan noma'lum miqdordir.

3. Ω_i sohaning qism sohalari uchun $\{\varphi_i(\xi, \eta)\}$ va $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ bazislarni tanlaymiz.

4. Elementlar uchun asoslar approksimatsiya shartlaridan tanlanadi, masalan, uchburchakli element uchun chiziqli approksimatsiya ikkinchi paragrafda batafsil muhokama qilingan.

5. Ω_i sohaning xarakteristik funksiyasi sifatida $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ ikkinchi bazis

$$\psi_i(\xi, \eta) = \begin{cases} 1, & (\xi, \eta) \in \Omega_i, \\ 0, & (\xi, \eta) \notin \Omega_i. \end{cases} \quad (32)$$

6. $\mathbf{V}^{jk+1}(\xi, \eta)$ taqribiy yechim quyidagi ko'rinishda izlanadi:

$$\mathbf{V}^{jk+1}(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{n_i^j} \mathbf{Q}_i^{jk+1} \varphi_i^j(\xi, \eta); \quad (33)$$

bu yerda $\mathbf{Q}_i^{jk+1} = \begin{pmatrix} h_i^{jk+1}, & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\xi^{jk+1}}, & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\eta^{jk+1}}, & 1, \dots, n_i^j \end{pmatrix}$ - noma'lum koeffitsiyentlarning vektor-

matritsasi va o'zgaruvchilarni aniqlanish sohasidagi elementlarining approksimatsiyasidagi funksiyalar soni va $\varphi_i(\xi, \eta)$ -uchburchak va to'rtburchakda chiziqli yoki kvadrat bazis funksiyalari.

7. O'zgaruvchilar aniqlanish sohasining barcha nuqtalarida \mathbf{Q}_i^{jk+1} koeffitsiyentlarini aniqlash uchun quyidagi tenglamalar sistemasi qo'llaniladi:

$$\left(\mathbf{V}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \eta} - \mathbf{V}^k + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau, \psi_j \right), \quad j \in N_{en} \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^n (\mathbf{E}_i^k \mathbf{V}^{k+1} - \mathbf{F}_i^k, \psi_j), \quad i \in N_{ep}^i \quad (35)$$

yoki

$$\iint_{\Omega_j} \left(\mathbf{V}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \eta} - \mathbf{V}^k + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau \right) \partial \omega_j = 0, \quad j \in N_{\text{eH}} \quad (36)$$

$$\sum_{i=1}^n \int_{d\Omega_i} (\mathbf{E}_i^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \mathbf{V}^{k+1} - \mathbf{F}_i^{\xi\eta}) \partial \omega_j = 0, \quad i \in N \quad (37)$$

bu yerda (u, v) –skalyar hosila, j –chi elementning i –chegaralar soni, n –soha chegarasiga kiradigan j –chi elementning tugunlari soni, \mathbf{E} va \mathbf{F} matritsa elementlari $d\Omega_i$ chegaradagi (31) chegaraviy shartlardan foydalanib aniqlanadi. Tenglamani asosiy koordinatalarda qo‘llashda $\mathbf{A}^{\xi\eta}$, $\mathbf{B}^{\xi\eta}$, $\mathbf{E}^{\xi\eta}$ matritsalar va $\mathbf{D}^{\xi\eta}$, $\mathbf{F}^{\xi\eta}$ vektorlari o‘rniga \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{E} va \mathbf{D} , \mathbf{F} vektorlar qo‘llaniladi.

8. Tenglamaga yechimlarni o‘rniga qo‘yib, integrallarni hisoblab, elementning har bir tugunida algebraik tenglamalarning matritsali sistemasini olamiz va kvazichiziqshlashtirish usuli bilan chiziqshlashtirib quyidagilarga ega bo‘lamiz:

$$\mathbf{G}_i^{jk} \mathbf{Q}_i^{jk+1} = \mathbf{U}_i^{jk+1} \quad j \in N_j^{6H} \quad (38)$$

$$\mathbf{R}_i^{jk} \mathbf{Q}_i^{jk+1} = \mathbf{T}_i^{jk+1} \quad j = 1, \dots, N_j^{eP} \quad (39)$$

9. \mathbf{G}_i^{jk} va \mathbf{R}_i^{jk} , \mathbf{U}_i^{jk} va \mathbf{T}_i^{jk} matritsalarining elementlarini guruhlab va birlashtirib, umumiy matritsalar va vektorlarga ega chiziqli algebraik tenglamalar sistemasini olamiz:

$$\mathbf{K}^k \mathbf{Q}^{k+1} = \mathbf{F}^{k+1}, \quad (40)$$

bu yerda \mathbf{K}^k va \mathbf{F}^{k+1} –umumiy matritsalar va o‘lchami bo‘yicha tugunlar soniga teng bo‘lgan vektorlar.

10. Hosil bo‘lgan tenglamalar sistemasini yechib, barcha to‘r tugunlari uchun $Q_i^j(t)$ funksiyalarni olamiz, so‘ngra teskari izoparametrik almashtirish yordamida asosiy o‘zgaruvchilarga o‘tamiz, chekli elementlarning istalgan nuqtasida izlanayotgan funksiyaning qiymatlarini aniqlovchi yakuniy yechimni olamiz.

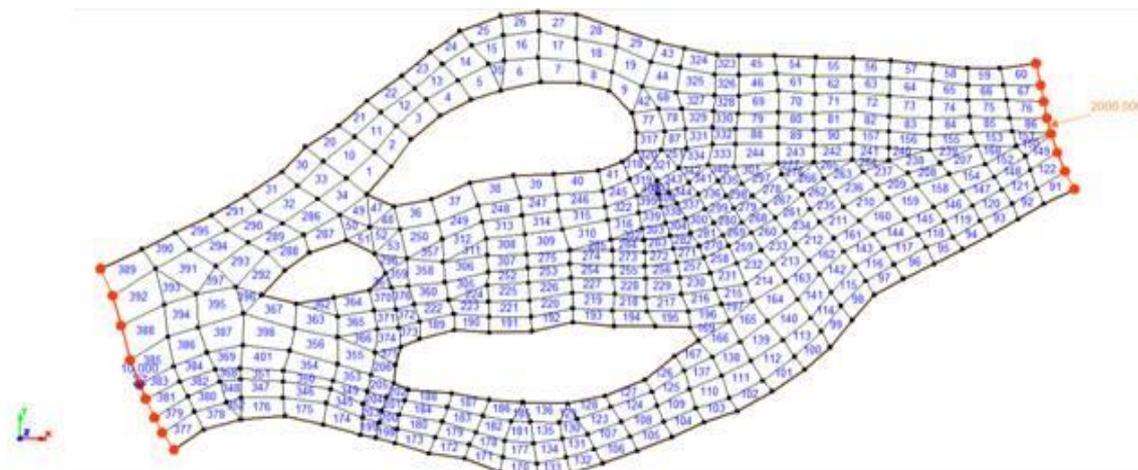
11. Keyinchalik, algoritmning 6–9 bosqichlari keyingi vaqt bosqichlari uchun siklik ravishda takrorlanadi.

Ikki o‘lchovli hisoblash sohasi uchun uchburchakli yoki to‘rtburchakli elementlar oddiy chekli elementlar sifatida olinadi, oxirgisini esa diagonal bo‘yicha ikkita uchburchakli elementga ajratsa bo‘ladi. Uchburchakli elementlarning afzalliklari – bu soha chegarasini yaxshi approksimatsiyalash imkoniyati va uchburchakli elementda izlanayotgan funksiyani eng oddiy sirt – elementning raqamlangan tugunlarida (odatda uchburchakli elementning uchlari) kerakli funksiya qiymatlari bilan belgilanadigan tekislik yordamida approksimatsiyalash imkonini yaratadi. Elementlarga bo‘linishda–qo‘shni elementlar umumiy tomonlar va umumiy raqamlangan tugunlarga ega bo‘lish sharti bajarilishi zarur.

Raqamlangan tugunlarda kerakli funksiyaning tugun qiymatlari belgilanadi. Elementning raqamlangan tugunlaridagi tugun qiymatlaridan foydalanib, izlanayotgan funksiya element funksiyasi deb ataladigan sirt (ko‘pincha tekislikni tavsiflovchi chiziqli funksiya) bilan approksimatsiyalanadi, bu esa chekli elementning istalgan nuqtasida kerakli funksiyani aniqlashga imkon beradi.

Hisoblash sohasining har bir raqamlangan tuguniga u tayinlangan tugundagi birga teng va hisoblash sohasining barcha boshqa tugunlarida nolga teng bazis funksiya beriladi. Turli raqamlangan tugunlar uchun bazis funksiyalar chiziqli hisoblanadi. Masalaning taqribiy yechimi izlanayotgan funksiyaning tugun qiymatlariga teng chiziqli kombinatsiya koeffitsiyentlari bilan hisoblash sohasining barcha raqamlangan tugunlari bo'yicha bazis funksiyalarning chiziqli kombinatsiyasi ko'rinishida shakllantiriladi.

1-rasmda kanal aniqlanish sohasining to'g'ri to'rtburchakli bo'lmagan va uchburchakli elementlarga bo'linishi, bo'linish elementlari va tugunlarining raqamlanishi keltirilgan, raqamlashni tartiblash shart emas, ular kanal tubining boshlang'ich shartlari va elementlarning o'zaro bog'liqligini belgilashda hisobga olinadi.

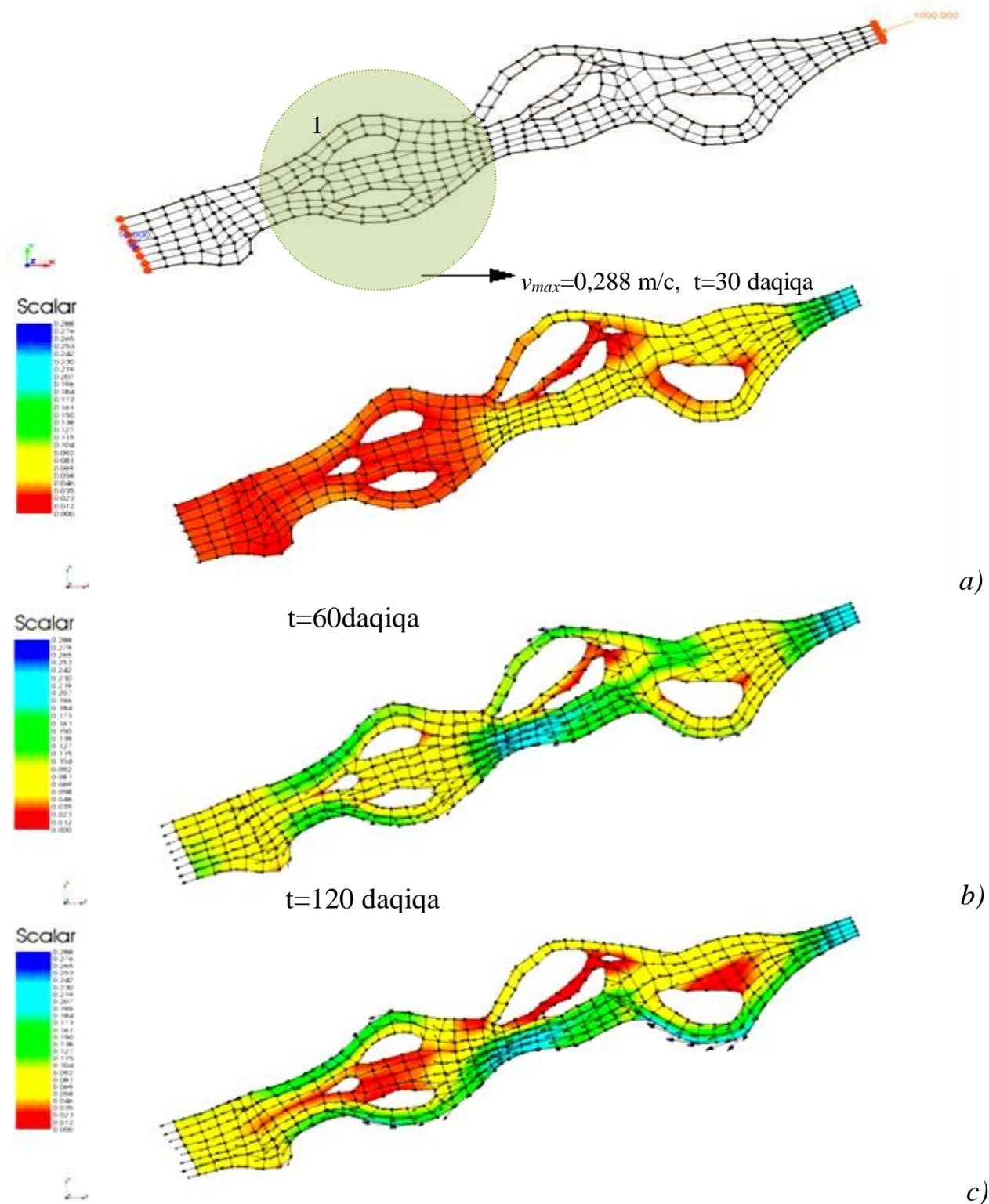


1-rasm. Tabiiy suv o'zanini to'rtburchakli va uchburchakli elementlarga bo'linishi va ularni raqamlash.

Dissertatsiyaning “Suv xo'jaligi obyektlarida gidravlik jarayonlarni ko'p o'lchovli fazoviy taqsimlanishni hisobga olgan holda optimal boshqarish masalasini yechish uchun dasturlar majmuasini ishlab chiqish” deb nomlangan uchinchi bobida keltirilgan kanallarda suv taqsimotini optimal nazorat qilishning turli xil usullari (gradiyent usuli, gradiyent proyeksiyasi usuli, shartli gradiyent usuli, mumkin bo'lgan yo'nalishlar usuli va boshqalar) tahlili va suv taqsimotini optimal nazorat qilish usullarini ishlab chiqish natijalari keltirilgan.

Google qidiruv tizimi yordamida olingan sun'iy yo'ldosh xaritasidan foydalanib hududning ko'rib chiqilayotgan qismi elementlarga bo'linishi ko'rsatilgan, bu yerda ham xarita hududiy bog'lanmagan, shuning uchun element tugunlarining koordinatalari nisbiydir. Daryo o'zani 403 ta elementlarga bo'lingan, ulardan 43 tasi uchburchakli, 360 tasi to'rtburchakli, elementlarning maydonlari turlicha. Tugunlar soni 439 ta, bir vaqtning o'zida noma'lumlar soni $439 \times 3 = 1317$ ta.

Element tugunlarining koordinatalari va tubining qiymati xaritada syomka masshtabiga ko'ra olingan. Kanal suyuqlik chegarasining yuqori qismida oqim sarfi o'zgarishi yoki gidrograf, suyuqlik chegarasining pastki qismida esa oqimning erkin sirti yuzasi darajasining o'zgarishi belgilanadi.



2-rasm. Amudaryo daryosining Termiz porti hududidagi qismi.

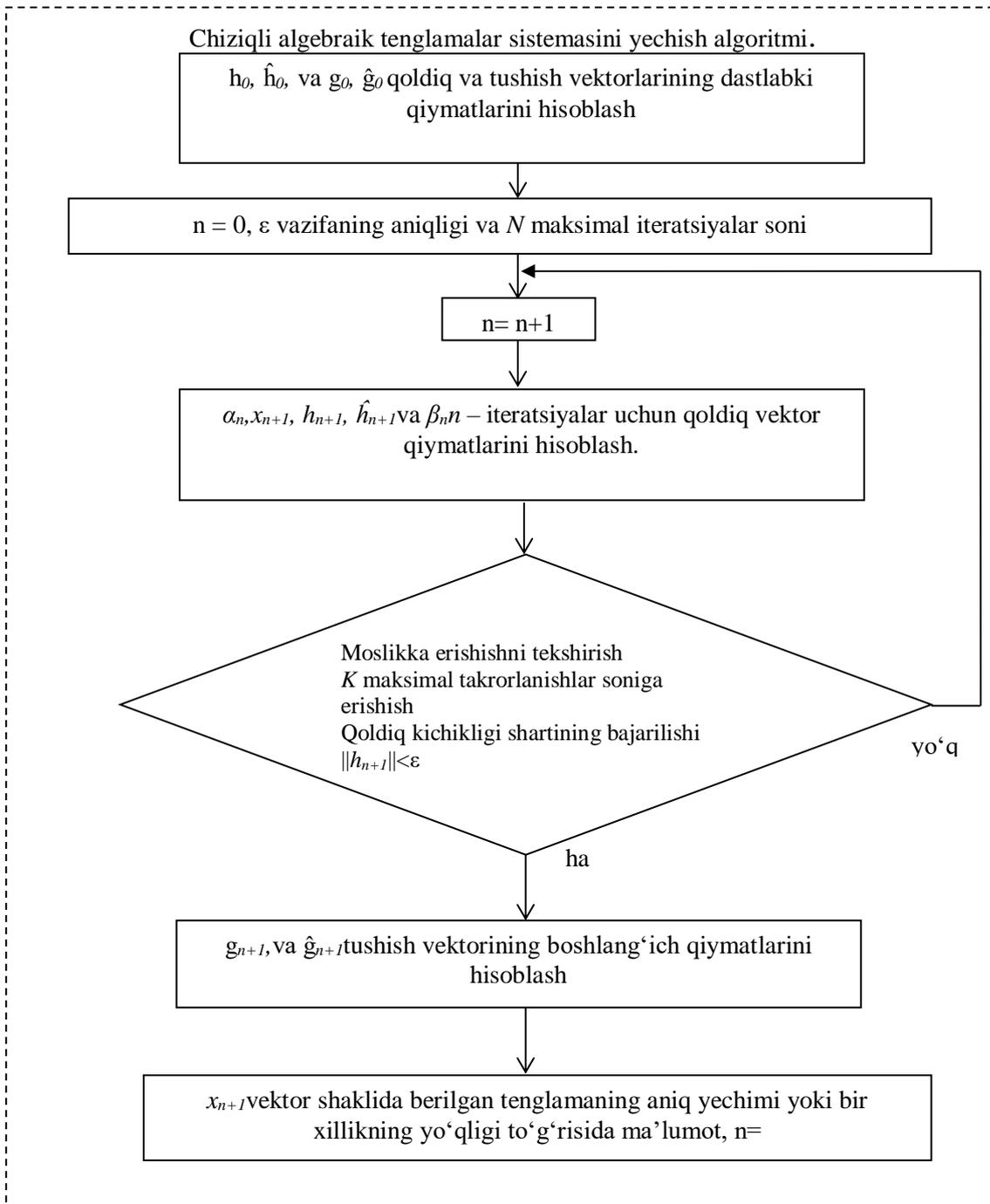
Ishlab chiqilgan dasturiy vosita yordamida Amu-Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi obyektlaridagi fazoda suv xo‘jaligi obyektlarining ko‘p o‘lchovli parametrlarini hisobga olgan holda suv oqimini modellashtirish natijalari hamda optimal boshqarish masalasining yechimlari olindi.

Kerakli suv olishni ta‘minlash uchun kanallarni tartibga solish tadbirlarini o‘tkazish yoki yangi to‘g‘on suv olish inshootlarini qurish kerak bo‘ladi. Ikkinchisini amalga oshirish katta xarajatlarni talab qiladi, shuning uchun kanalni

tartibga solish ishlarini bajarish ustuvor vazifalardan biri hisoblanadi.

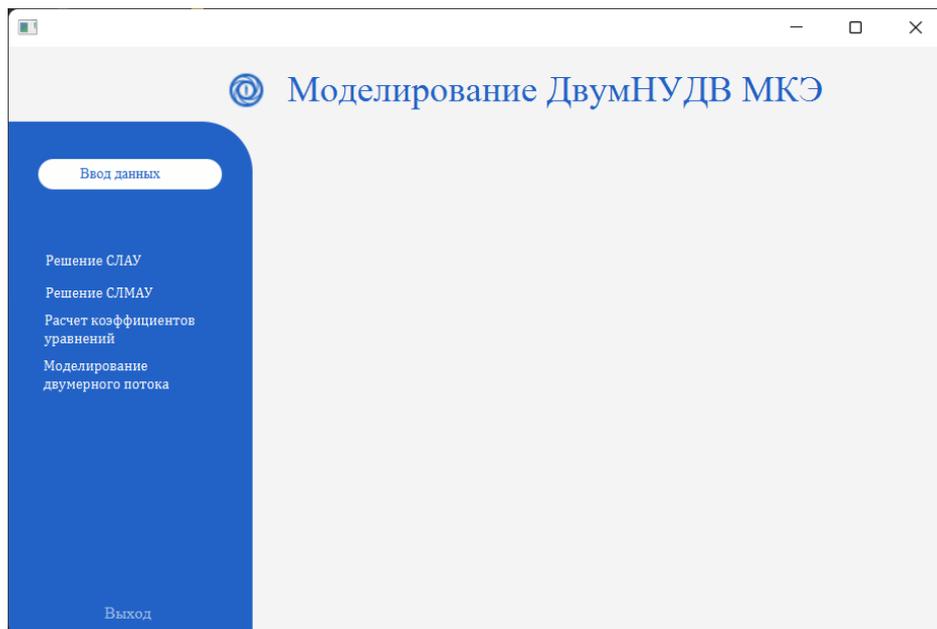
Ushbu ishlarni amalga oshirish uchun magistral kanallarni tartibga soluvchi tuzilmalar –yopiq, ikki tomonlama ochiq va kombinatsiyalashtirilgan shporalarni qurish maqsadga muvofiqdir.

3-rasmda chiziqli algebraik tenglamalar sistemasini yechish uchun dasturiy modul algoritmining blok sxemasi ko'rsatilgan. Ikki o'lchovli suv xo'jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini optimal boshqarishning chekli elementlar usuli uchun dasturiy modullar quyidagi bloklardan iborat:

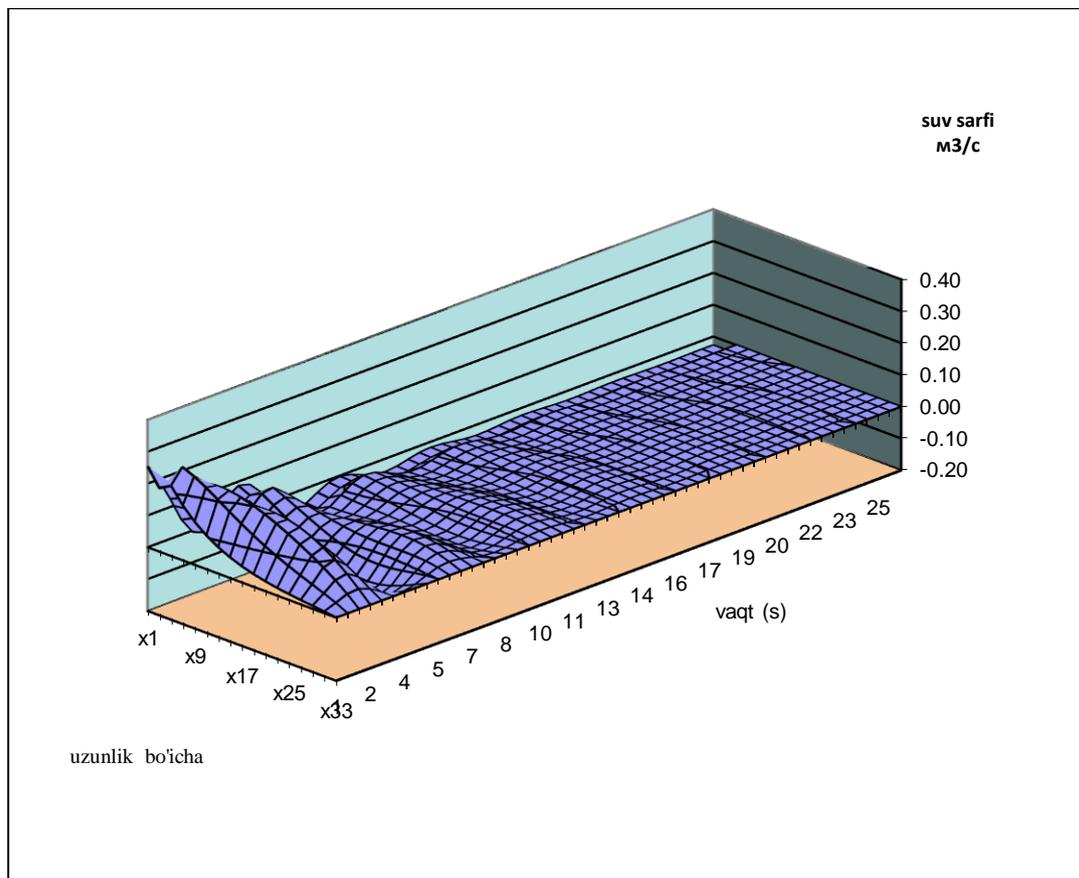


3-rasm. Chiziqli algebraik tenglamalar sistemasini yechish algoritmining blok sxemasi

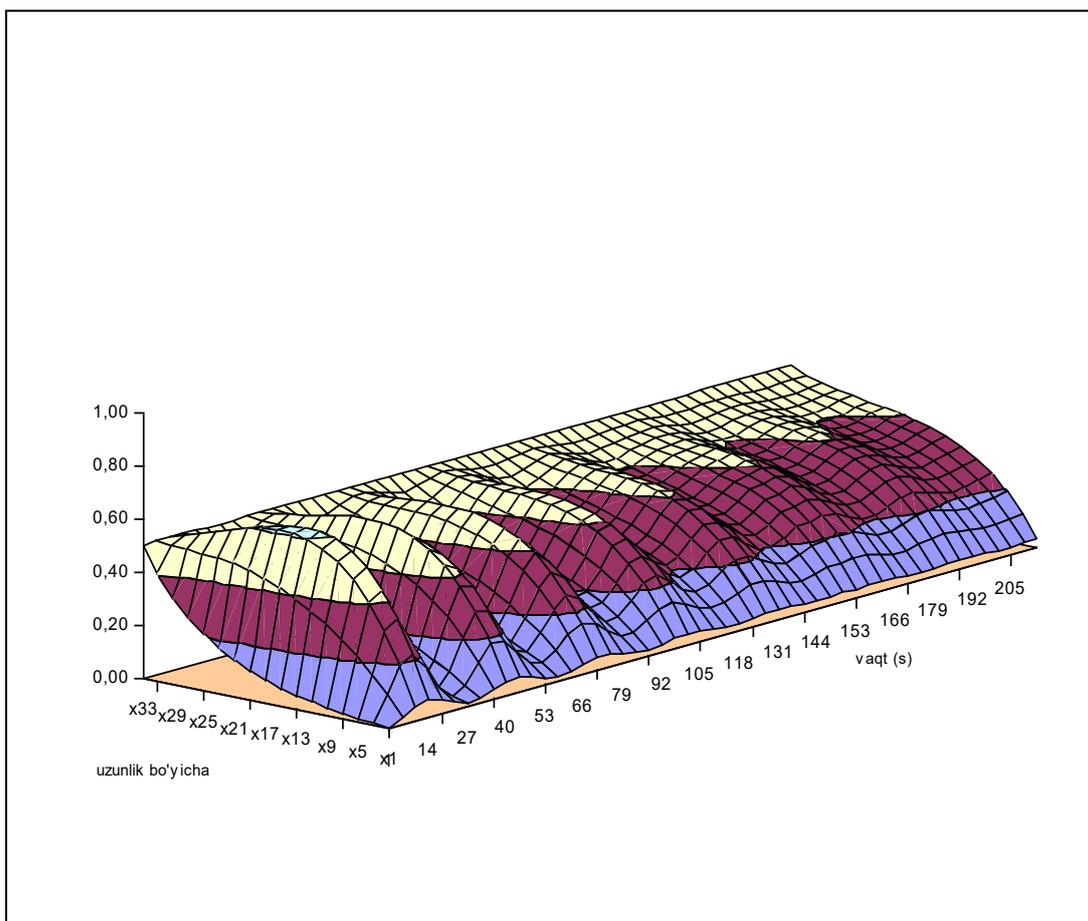
Chiziqli algebraik tenglamalar sistemasini chekli elementlar usuli bilan yechish dasturining interfeysi quyidagi rasmda kiritilgan.



4-rasm. Chiziqli algebraik tenglamalar sistemasini yechishning dasturlar majmuasining interfeysi



5-rasm. Amu-Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi obyektlarida x o'qi bo'yicha suv sarfining o'zgarishi



6-rasm. Amu-Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasi obyektlarida y o'qi bo'yicha suv sarfining o'zgarishi.

Olingan sonli eksperimental natijalar shuni ko'rsatadiki, suv sarfi kanal uchastkasining oxiriga borib barqaror holatga keladi.

Amu-Surxon irrigatsiya tizimlari havza boshqarmasining ma'lumotlari bilan sonli eksperiment natijalarini solishtirilganda, suv sarfi parametrlari unchalik ham farq qilmaydi, ya'ni farqi, xatoligi 5-7% dan oshmagan.

Ushbu natijalar tasdiqlaydiki, ishlab chiqilgan algoritm ishga layoqatli va respublikaning suv xo'jaligi irrigatsiya tizimlari kanallari uchastkalarida suv taqsimlashni optimal boshqarish uchun qo'llanilsa bo'ladi.

Shunday qilib, fazoda suv xo'jaligi obyektlarining ko'p o'lchovli parametrlarini hisobga o'lgan holda suv oqimini modellashtirishda chekli elementlar usulidan foydalanish kompyuterda suv resurslarining vaqtinchalik jarayonlari dinamikasini modellashtirish, daryo yoki kanal yuzasida suv oqimining uzunligi, kengligi bo'ylab sifat va miqdoriy xususiyatlarini aniqlash, shuningdek, ulardagi yangi tuzilmalarning ekspluatatsiya ko'rsatkichlarini yaxshilovchi loyiha parametrlarini aniqlashga imkon beradi. Modellashtirish asosida obyektning zarur sifat ko'rsatkichlarini ta'minlaydigan suv oqimlarini boshqarish uchun kanallar, daryolar va boshqa suv xo'jaligi obyektlarida mavjud gidrotexnik inshootlarning ish rejimlarini aniqlash mumkin.

XULOSA VA TAVSIYALAR

“Suv xo‘jaligi obyektlarida gidravlik jarayonlarni ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishini hisobga olgan holda optimal boshqarish” dissertatsiya tadqiqotining mavzusi bo‘yicha quyidagi asosiy xulosalar keltirilgan:

suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatining bir o‘lchovli va ko‘p o‘lchovli matematik modeli takomillashtirildi va sifat mezonlari ishlab chiqildi;

suv xo‘jaligi obyektlarida suvning beqaror harakatining matematik modellari uchun chegara shartlari aniqlandi.

fazodagi suv oqimining ikki o‘lchovlilikini hisobga olgan holda suv xo‘jaligi obyektlarida suvning beqaror harakatini optimal boshqarish masalasini yechishda chekli elementlar usulini qo‘llashning xususiyatlari aniqlandi;

oddiy elementlar bo‘yicha fazoviy aniqlanish sohasini approksimatsiyalash tamoyillari va beqaror suv harakatini modellashtirish uchun bazis funksiyalari ishlab chiqildi;

elementlar bo‘yicha tenglamalar koeffitsiyentlarini hisoblash algoritmlari va suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini optimal boshqarish masalasini yechish algoritmlari ishlab chiqildi;

suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun chekli elementlar usuli uchun dasturlar majmuasi ishlab chiqildi.

Fazoda suv xo‘jaligi obyektlarining ko‘p o‘lchovli parametrlarini hisobga olgan holda suv oqimini optimal boshqarishda chekli elementlar usulidan foydalanish kompyuterda suv resurslarining vaqtinchalik jarayonlari dinamikasini modellashtirish, daryo yoki kanal maydonida suv oqimining uzunligi, kengligi bo‘ylab sifat va miqdoriy xususiyatlarini aniqlash, shuningdek, ulardagi yangi tuzilmalarning ekspluatatsiya ko‘rsatkichlarini yaxshilovchi loyiha parametrlarini aniqlashga imkon beradi, bundan tashqari, to‘liq miqyosli tadqiqotlar va fizik model bo‘yicha namunaviy tadqiqotlar bilan solishtirganda ularda sodir bo‘ladigan jarayonlarni o‘rganishga sarflanadigan vaqtni 10% gacha hamda suvni optimal boshqarishda suv resurslarini yo‘qotishlarni 5-7% gacha kamaytirish imkonini beradi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.15/03.06.2023.FM/Г. 73.08 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТРАНСПОРТНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

ТЕРМЕЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ХАЙДАРОВА РОЗИЯ ДАВРОНОВНА

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ В ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ С УЧЕТОМ
МНОГОМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

05.01.02–«Системный анализ, управление и обработка информации»

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2023.4.PhD/T4163.

Диссертация выполнена в Термезском государственном университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного совета (<http://tstu.uz/page/120>) и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:

Сейтов Айбек Жумабаевич
доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Нормуродов Чори Бегалиевич
доктор физико-математических
наук, профессор

Шамсиев Расул Зоирович
доктор философии по техническим
наукам, доцент

Ведущая организация:

Ташкентский архитектурно-строительный университет

Защита диссертации состоится 31 января 2025 года в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета PhD.15/03.06.2023.FM/T.73.08 при Ташкентском государственном транспортном университете. (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, дом 1, комната 259. Тел.: (+99871) 299-00-01, факс: (+99871) 293-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного транспортного университета (регистрационный номер № ____). (Адрес: 100167, г. Ташкент, ул. Темирийулчилар, дом 1. Тел.: (+99871) 299-05-66).

Автореферат диссертации разослан ____ января 2025 года.
(протокол реестра № ____ от ____ января 2025 года).

Х.М.Шадиметов

Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.ф.-м.н., профессор

Ф.А.Нуралиев

Учёный секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

Т.Р.Нурмухамедов

Председатель научного семинара при Научном совете по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В мире особое внимание уделяется математическому моделированию задач доставки водных ресурсов потребителям, управлению ими и реализации режимов их работы с помощью современных информационных систем на основе заданных критериев. В настоящее время в ряде стран мира, в том числе в США, Франции, Испании, Китае, Украине, Российской Федерации, Кыргызстане и Узбекистане, ведутся научные работы по оптимальному управлению гидравлическими процессами на водохозяйственных объектах. В связи с этим, особое внимание уделяется разработке методов решения оптимальных задач управления в том числе создание математических моделей с учетом их многомерного пространственного распределения, разработка критериев их качества и методов, необходимых условий, обеспечивающих оптимальное управление, режимов работы водохозяйственных объектов с использованием современных информационных систем водораспределения.

В мире проводятся научно-исследовательские работы, направленные на создания математических моделей показателей оптимального управления водными ресурсами, реками, магистральными каналами, каналами ирригационных систем и водохранилищ посредством современных информационных систем, разработки критериев и методов качества, а также для их разработки проводятся научные исследования, направленные на их совершенствование. В этом направлении, приоритетными считаются исследования по экономии воды потребителям на основе оптимальных методов управления, критериев качества, математических моделей и алгоритмов. При этом одной из актуальных задач является научное обоснование разработки методов оптимального управления водораспределением на водохозяйственных объектах посредством градиентного проектирования.

В нашей республике в настоящее время одной из задач, требующих решения, является поставка водных ресурсов потребителям, актуальность которой заключается в оптимальном управлении процессом доставки водных ресурсов потребителям по каналам ирригационных систем с экономией, на основе заданных критериев качества, повышении надежности и осуществлении мероприятий по обеспечению водой конкретного потребителя в определенное время. В концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы, включающей «...совершенствование системы прогнозирования, ведения учета и формирования базы данных водных ресурсов и обеспечение ее прозрачности;...» автоматизация управления крупными водохозяйственными объектами на основе цифровых технологий...»² определены задачи. Одним из важных вопросов является реализация этих задач, в том числе управление распределением водных

² Указ Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПФ-6024 «Об утверждении Концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы»

ресурсов в каналах ирригационной системы, создание комплекса алгоритмов и программ для решения задачи математического моделирования двумерного неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах. Указ Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года № ПФ-6024 «Об утверждении Концепции развития водохозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы» и Указ Президента Республики Узбекистан от 28 февраля 2023 года № ПФ-27. «О государственной программе реализации стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы в год внимания к человеку и качественному образованию», ПК-5 от 5 января 2025 года – № «О мерах по обеспечению Совершенствование системы управления водными ресурсами в нижнем течении и повышение эффективности использования водных ресурсов» и другие нормативно-правовые документы, связанные с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная научно-исследовательская работа является IV этапом развития науки и техники республики. Оно осуществлялось в рамках приоритетного направления «Развитие информации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. В настоящее время исследования по вопросу математического моделирования различных объектов водного хозяйства проводятся в ряде стран мира и получены достаточные теоретические и практические результаты. В том числе зарубежные учёные Сен-Венан (граф Барре Сен-Венан) Адемар Жан Клод, С.А. Христианович, А.А. Архангельский, Дж. Стокер, В.И. Корен, Л.С. Кучмент, А.А. Атавин, А.Ф. Воеводин, М.Г. Гладышев, С.М. Шугрин, Н.А. Платцман, Г. Фишер, Р. Курант, Н.А. Картвелишвили, К.О. Фридрихс, Х. Леви и др. создали математические модели неустановившегося движения воды, математическое описание краевых задач, создание численных методов решения преимущественно с использованием дифференциальных схем, разработку методов определения морфометрических и гидравлических свойств, в связи с одномерным течением схеме, представили в своих работах основные вопросы вывода одномерных уравнений из многомерных уравнений движения.

Среди ученых нашей страны Ж. Акилов, Ф.Б. Абуталиев, Р. Саъдуллаев, С.И. Худойкулов, И.К. Ходжаев, О.Ш. Бозоров, М. Маматкулов, О.М. Арифжанов, А.М. Фатхуллаев, У.У. Джонкобилов, М.К. Махамов, Х.А. Мамадалиев, Ш.Х. Рахимов, А.Ж. Сейтов и другие проводили исследования по вопросам оптимального управления водораспределением, вопросам математического моделирования неустановившегося движения воды в водохозяйственных сооружениях, реках, магистральных каналах и каналах ирригационных систем.

В настоящее время недостаточно изучены проблемы разработки математических моделей, алгоритмов численного решения и программ, учитывающих многомерное пространственное распределение гидравлических процессов на водохозяйственных объектах.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Данная научно-исследовательская работа QX-A-QX-2018-279 на тему «Совершенствование режимов работы каскадов крупных насосных станций с использованием современных методов управления и нового оборудования, снижающего потери воды и энергии» Министерства науки и технологий при Кабмине Министров Республики Узбекистан осуществлялось на основании договора ХА-7-058 с Координационным комитетом по развитию технологий.

Цель исследования: оптимальное управление двумерного неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах.

Задачи исследования:

совершенствование математической модели двумерного неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах;

разработка необходимых условий оптимального управления двумерного неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах;

разработка алгоритмов решения задачи оптимального управления двумерного неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах;

создание комплекса программ для решения задачи оптимального управления двумерного неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах.

Объектом исследования является процессы оптимального управления гидравлическими процессами на водохозяйственных объектах с учетом многомерного пространственного распределения.

Предметом исследования являются математические модели, критерии качества, методы оптимального управления, алгоритмы и программные комплексы оптимального управления гидравлическими процессами на водохозяйственных объектах.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы математического моделирования и численного расчета, методы алгоритмизации системы распределенных параметров.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована система одномерных дифференциальных уравнений в частных производных Сен-Венана, описывающая неустановившегося движение водных ресурсов на водохозяйственных объектах двумерной математической модели;

разработаны необходимые условия оптимальности на основе принципа максимума Понтрягина для усовершенствованной двумерной математической модели Сен-Венана неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах;

разработаны алгоритмы решения задачи оптимального управления на основе необходимого условия оптимальности, разработанного для усовершенствованной двумерной математической модели Сен-Венана неустановившегося движения водных ресурсов на водохозяйственных объектах;

создан комплекс программ для решения задачи оптимального управления двумерным неустановившегося движением водных ресурсов на водохозяйственных объектах на основе метода проекции градиента.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

В целях повышения надежности подачи воды потребителям усовершенствованы режимы работы многомерных водохозяйственных объектах и их гидротехнических сооружений;

повышена точность моделирования, снижены неэффективные потери водных ресурсов на водохозяйственных объектах.

Достоверность результатов научного исследования, достоверность результатов исследования основана на проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях и сравнении с данными, полученными из Южно-Мирзачульского управления эксплуатации магистральных каналов и Джизакского управления эксплуатации магистральных насосных станций и Аму-Сурханского бассейнового управления ирригационных систем в естественном условиях с многочисленными экспериментами различных вариантов и объяснены их совместимостью со свойствами объекта.

Научная значимость результатов исследования объясняется разработкой математических и численных моделей, критериев качества и алгоритмов оптимального управления неустановившегося движением воды на водохозяйственных объектах с учетом многомерного распределения;

Практическая значимость результатов исследования объясняется созданием комплекса программ оптимального управления водными ресурсами рек, магистральных каналов и каналов оросительных систем с учетом многомерного распределения водных ресурсов.

Внедрение результатов исследований на основе результатов оптимального управления водораспределения в водохозяйственных объектах в условиях экономной доставки воды потребителям:

комплекс программ для решения задачи моделирования двумерного неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах внедрен в объектах бассейнового управления ирригационных систем Аму-Сурхан (постановление хокимията Сурхандарьинской области Республики Узбекистан от 5 октября 2025 года. Справка № 05-05/7784). В результате сократилось потери водных ресурсов в каналах ирригационной системы до 3-5%;

математические модели двумерного неустановившегося движения воды, а также управление их режимами работы внедрены в водохозяйственных объектах и гидротехнических сооружений управления эксплуатации Джизакской главной насосной станции (постановление хокимията

Сурхандарьинской области Республики Узбекистан от 5 октября 2025 года. Справка № 05-05/7784). В результате созданный комплекс программ позволил повысить эффективность работы гидротехнических сооружений каналов на 5-7%;

алгоритмы решения метода конечных элементов для моделирования неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах внедрены на объектах и системах эксплуатации магистрального канала Южный Мирзачуль (постановление хокимията Сурхандарьинской области Республики Узбекистан от 5 октября 2025 года. Справка № 05-05/7784). В результате разработанные алгоритмы позволили повысить эффективность орошения посевных полей до 10% и качество собранного урожая.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований обсуждались на 4 международных и 4 национальных научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 20 научных работ. Научные публикации, рекомендованные к публикации основных научных результатов докторских диссертаций ВАК Республики Узбекистан, включали 8 статей, 4 из которых опубликованы в зарубежных журналах, в том числе 1 scopus, 4 из которых опубликованы в республиканских журналах, а также получено 2 свидетельства об официальной регистрации программы для электронных вычислительных машин.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Общий объем диссертации состоит из 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и необходимость темы диссертации, описываются цель и задачи, объект и предмет исследования, определяется совместимость исследования с приоритетными направлениями развития науки и техники республики. Показаны практические результаты и научные инновации, раскрыта научная и практическая значимость полученных в исследовании результатов, сведения о внедрении результатов исследования, одобрении, опубликованных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации под названием **“Разработка математических моделей и критериев качества оптимального управления двумерным неустановившимся движением воды на водохозяйственных объектах”** состоит из пяти параграфов. Представлен анализ математических моделей неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах и граничных условия с учетом многомерного распределения их параметров в пространстве.

Объекты водохозяйства имеют большую пространственную протяженность и представляют собой совокупность технологических и технических параметров, только с помощью методов математического

моделирования можно определить особенности количественных и качественных параметров объектов водного хозяйства в процессе их эксплуатации.

В настоящее время приближенные методы решения одномерных уравнений неустановившегося движения воды очень распространены и широко используются в практических расчетах. Здесь следует подчеркнуть два направления: использование усовершенствованных уравнений и использование полных систем уравнений Сен-Венана.

В одномерном случае уравнение Сен-Венана имеет следующий вид:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{1}{g\omega} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} + 2v \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right] \frac{\partial z}{\partial x} = \left[i + \frac{1}{B} \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=const} \right] \left(\frac{v}{c} \right)^2 - \frac{Q|Q|}{K^2}, \quad (1)$$

где: $Q=Q(x, t)$ – расход воды; $z=z(x, t)$ – ордината свободной поверхности; g – гравитационная постоянная; i – уклон дна; $B=B(z)$ – ширина потока по поверхности живого сечения; $\omega = \omega(z)$ – площадь живого сечения потока; $c=c(z)$ – скорость распространения малых волн; $K=K(z)$ – модуль расхода.

Следующее уравнение описывает длинноволновое движение в идеальной несжимаемой жидкости в гидростатическом приближении:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Hu + \frac{\partial}{\partial y} Hv = 0 \quad (2)$$

где $H(x, y, t) = h + \xi$,

$h(x, y)$ – невозмущенная глубина жидкости.

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial U}{\partial t} + (U \nabla) U, \quad (3)$$

Используя формула, запишем проекции уравнения (2) на оси координат

:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial x} = \Phi_x, \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial H}{\partial y} = \Phi_y, \quad (5)$$

где вектор

$$\Phi = \{ \Phi_x, \Phi_y \} \equiv F - 2\omega x U + g \nabla h. \quad (6)$$

В дальнейшем мы будем часто использовать удобную запись уравнений (4), (5) в виде одного векторного уравнения

$$\frac{\partial U}{\partial t} + A \frac{\partial U}{\partial x} + B \frac{\partial U}{\partial y} = \Phi. \quad (7)$$

Ордината дна канала задается функцией $z_o(x, y)$, тогда уклоны дна по соответствующим координатам определяются

$$S_{ax} = \frac{\partial z_0}{\partial x}, \quad S_{ay} = \frac{\partial z_0}{\partial y}, \quad (8)$$

С помощью формулы Маннинга получим уклоны свободных поверхностей по ординатам.

$$S_{fx} = \frac{n^2 u (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}$$

$$S_{fy} = \frac{n^2 v (u^2 + v^2)^{1/2}}{h^{4/3}}, \quad (9)$$

Уравнение (7) относится к двумерным уравнениям квазилинейным уравнениям гиперболического типа.

Двухмерное уравнения Сен-Венана, описывающие неустановившееся течение воды в открытых руслах:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + i = 0,$$

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2 h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial x} = gh(S_{ax} - S_{fx}), \quad (10)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2 h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial y} = gh(S_{ay} - S_{fy}).$$

Введем замену переменных $p=uh$, $q=vh$. Тогда уравнение (10) имеет вид:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (11)$$

где $\mathbf{U}, \mathbf{F}, \mathbf{G}$ и \mathbf{D} векторы функции

Так как функции $F(U)$ и $G(U)$ зависят от функции U , уравнение (11) запишем в следующем виде

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0. \quad (13)$$

Окончательно запишем уравнение (13) в векторно-матричной форме.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (14)$$

Таким образом, двухмерное уравнение Сен-Венана, описывающее неустановившееся течения воды в открытых руслах, в векторно-матричной форме имеет вид:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial y} + \mathbf{D} = 0, \quad (x, y) \in \Omega \quad (15)$$

где $\mathbf{U} = \{h, p, q\}$.

Основная цель задачи максимизация изменения скоростей движения водных ресурсов в поперечном и продольном направлениях на территории водохозяйственных объектов:

$$I = \left(\int_0^T \int_0^L [u(x,t) - u^*(x,t)]^2 dx dt + \int_0^T \int_0^M [v(y,t) - v^*(y,t)]^2 dx dt \right) \rightarrow \max, \quad (16)$$

При следующих условиях

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + i = 0, \\
\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u^2h)}{\partial x} + \frac{\partial(uvh)}{\partial y} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial x} = gh(S_{ax} - S_{fx}), \\
\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(v^2h)}{\partial y} + \frac{\partial(uvh)}{\partial x} + g \frac{\partial(h^2/2)}{\partial y} = gh(S_{ay} - S_{fy}), \\
U(x, y, t_0) = U_0(x, y), \quad (x, y) \in \Omega, \\
h_i(x, y, t) = H_i(t), \\
q_i(x, y, t) \cos \alpha + p_i(x, y, t) \sin \alpha = Q_i(t), \\
\alpha = (\mathbf{n}, \mathbf{Ox}), \quad (x, y) \in d\Omega_{\text{жи}} \quad i = 1, n_{\text{ж}}
\end{array} \right. \quad (17)$$

Управляющие воздействия:

$$\begin{aligned}
u(0, t) = u_1(t), \quad u(L, t) = u_2(t), \\
v(0, t) = v_1(t), \quad v(M, t) = v_2(t),
\end{aligned} \quad (18)$$

Ограничения на режимы работы участков канала имеет вид :

$$u_{\min} \leq u(x, t) \leq u_{\max}, \quad v_{\min} \leq v(y, t) \leq v_{\max}. \quad (19)$$

Задача максимизация (16) при условии (17) с помощью управляющего воздействия (18) и при ограничениях (19) представляет собой задачу управления квазилинейными системами с распределенными параметрами с ограничениями на состояния. Полная модель неустановившегося движения воды на участке канала учитывает все основные гидравлические свойства потока воды.

Для рассматриваемой задачи (16) - (17) вариация критерия оптимальности при управлении внутренним полем ограничений будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
\delta J = \int_0^L [u(x, T) - u^*] \delta u(x, T) dx + \int_0^M [v(x, T) - v^*] \delta v(x, T) dy - \\
- \int_0^T \left\{ \left[\left(\frac{\partial u}{\partial u_1} \right) \Big|_{(L, t)} \right] \left(\frac{\partial u}{\partial u_2} \right) \Big|_0 \right\} \delta u_2(t) + \left(\frac{\partial u}{\partial u_1} \right) \Big|_0 \left(\frac{\partial u}{\partial u_2} \right) \Big|_0 \delta u_1(t),
\end{aligned} \quad (20)$$

где $u = \lambda^1 S_{ay} + \lambda^2 S_{fy}$.

Окончательные необходимые условия оптимальности для системы уравнений Сен-Венана, при управлении внутри области ограничений, имеют вид:

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{x=0} \left(\frac{\partial u}{\partial u_1} \right) \Big|_0 = 0, \quad (21)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{x=L} \left(\frac{\partial u}{\partial u_2(t)} \right)_0 = 0. \quad (22)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{y=0} \left(\frac{\partial v}{\partial v_1(t)} \right)_0 = 0, \quad (23)$$

$$\left[gh\lambda^1 - gh\lambda^2 \right]_{y=M} \left(\frac{\partial v}{\partial v_2(t)} \right)_0 = 0. \quad (24)$$

В случае достижения управления своих верхних (нижних) границ соответствующие величины в левой частях выражений (21), (22), (23) и (24) должны быть неположительными (неотрицательными).

Во второй главе, озаглавленной «Разработка алгоритмов решения задачи оптимального управления гидравлическими процессами на хозяйственных объектах с учетом многомерного пространственного распределения», разработаны численные методы моделирования неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах с учетом многомерного распределения их параметров в пространстве, приведены результаты определения особенностей применения метода конечных элементов для моделирования неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах с учетом двухмерного распределения потока воды в пространстве. А также, исследование базисных функций для аппроксимации и моделирования области определения неустановившегося движения воды простыми элементами, алгоритмы вычисления коэффициентов уравнений по элементам для моделирования движения неустановившегося воды в водохозяйственных объектах, представлены алгоритмы формирования полных коэффициентов для уравнений метода конечных элементов и разработка программных модулей для результаты моделирования неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах.

$$\mathbf{V}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \eta} = \mathbf{V}^k - \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k)\tau, \quad (x, y) \in \Omega, \quad k = 1, 2, \dots \quad (25)$$

Начальные условия

$$\mathbf{V}^0 = \mathbf{V}_0, \quad (x, y) \in \Omega, \quad (26)$$

Граничные условия

$$\mathbf{E}_i^k \mathbf{V}^{k+1} = \mathbf{F}_i^k, \quad (\xi, \eta) \in d\Omega_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (27)$$

Численный метод решения. В качестве алгоритма численного решения уравнения (25) с граничными условиями (27) используем метод конечного элемента на основе схемы Галеркина-Петрова [4-7, 11, 13]:

1. Для двумерной расчетной области в качестве конечных элементов принимаются треугольные или четырехугольные элементы, причем последние можно разделить диагональю на два треугольных элемента. Достоинствами треугольных элементов являются возможность хорошей аппроксимации границы области и возможность аппроксимации искомой функции на треугольном элементе с помощью простейшей поверхности плоскости, определяемой значениями искомой функции в нумерованных узлах элемента (обычно это вершины треугольного элемента). Разбиение на элементы должно удовлетворять условию, причем смежные элементы должны иметь общие стороны и общие нумерованные узлы.

Область определения Ω переменных разбивается на N конечные подобласти Ω_i ($i = 1, 2, \dots, N$ (например, неправильные треугольники и четырехугольники, имеющие площади одного порядка) так, чтобы $\bigcup_{i=1}^N \Omega_i$,

$\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, при $i \neq j$ и переходим к изопараметрическим координатам используя билинейное преобразование;

2. В нумерованных узлах фиксируются узловые значения искомой функции, являющиеся неизвестными величинами, подлежащими определению

3. Выбираем базисы $\{\varphi_i(\xi, \eta)\}$ и $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ - для подобластей Ω_i ;

4. Базисы для элементов выбираются из условий аппроксимации, например для треугольного элемента, линейная аппроксимация будет подробно рассмотрены во второй главе.

5. Второй базис $\{\psi_i(\xi, \eta)\}$ выбираем как характеристическую функцию области Ω_i :

$$\psi_i(\xi, \eta) = \begin{cases} 1, & (\xi, \eta) \in \Omega_i, \\ 0, & (\xi, \eta) \notin \Omega_i. \end{cases} \quad (28)$$

6. Приближенное решение $\mathbf{V}^{jk+1}(\xi, \eta)$ ищется в виде:

$$\mathbf{V}^{jk+1}(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{n_i^j} \mathbf{Q}_i^{jk+1} \varphi_i^j(\xi, \eta) \quad ; \quad (29)$$

где $\mathbf{Q}_i^{jk+1} = \begin{pmatrix} h_i^{jk+1}, & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\xi^{jk+1}}, & 1, \dots, n_i^j \\ p_i^{\eta^{jk+1}}, & 1, \dots, n_i^j \end{pmatrix}$ - вектор-матрица неизвестных коэффициентов и

количество функции в аппроксимациях элементов области определения переменных и $\varphi_i(\xi, \eta)$ – линейные или квадратичные базисные функции на треугольнике и четырехугольнике [3,4].

7. Для определения коэффициентов \mathbf{Q}_i^{jk+1} во всех точках области определения переменных используется система уравнений:

$$\left(\mathbf{V}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{V}^{k+1}}{\partial \eta} - \mathbf{V}^k + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{V}^k) \tau, \psi_j \right), \quad j \in N_{\text{вн}} \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^n (\mathbf{E}_i^k \mathbf{V}^{k+1} - \mathbf{F}_i^k, \psi_j), \quad i \in N_{\text{сп}}^i \quad (31)$$

или

$$\iint_{\Omega_j} \left(\mathbf{v}^{k+1} + \mathbf{A}^{\xi\eta}(\mathbf{v}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{v}^{k+1}}{\partial \xi} + \mathbf{B}^{\xi\eta}(\mathbf{v}^k) \tau \frac{\partial \mathbf{v}^{k+1}}{\partial \eta} - \mathbf{v}^k + \mathbf{D}^{\xi\eta}(\mathbf{v}^k) \tau \right) \partial \omega_j = 0, \quad j \in N_{en} \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^n \int_{d\Omega_i} (\mathbf{E}_i^{\xi\eta}(\mathbf{v}^k) \mathbf{v}^{k+1} - \mathbf{F}_i^{\xi\eta}) \partial \omega_j = 0, \quad i \in N \quad (33)$$

где (u, v) - скалярное произведение, i - количество границ на j -ом элементе, n - количество узлов j -ого элемента, входящей границы области, элементы матрицы \mathbf{E} и \mathbf{F} определяются с помощью граничных условий одним из уравнений (18) на границе $d\Omega_i$. При использовании уравнение в основных координатах в места матриц $\mathbf{A}^{\xi\eta}$, $\mathbf{B}^{\xi\eta}$, $\mathbf{E}^{\xi\eta}$ и векторов $\mathbf{D}^{\xi\eta}$, $\mathbf{F}^{\xi\eta}$ используются матриц \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{E} и векторов \mathbf{D} , \mathbf{F} .

8. Подставляя решения в уравнение и вычисляя интегралы получим матричную систему алгебраических уравнений на каждом узле элемента и линеаризуя методом квазилинеаризации получим:

$$\mathbf{G}_i^{jk} \mathbf{Q}_i^{jk+1} = \mathbf{U}_i^{jk+1} \quad j \in N_j^{en} \quad (34)$$

$$\mathbf{R}_i^{jk} \mathbf{Q}_i^{jk+1} = \mathbf{T}_i^{jk+1} \quad j = 1, \dots, N_j^{ep} \quad (35)$$

где \mathbf{G}^{jk} и \mathbf{U}^{jk+1} матрицы коэффициентов получаемых в результате численного интегрирования.

9. Группируя и объединяя элементов матриц \mathbf{G}_i^{jk} и \mathbf{R}_i^{jk} , \mathbf{U}_i^{jk} и \mathbf{T}_i^{jk} получим систему линейного алгебраического уравнения с глобальными матрицами и векторами:

$$\mathbf{K}^k \mathbf{Q}^{k+1} = \mathbf{F}^{k+1}, \quad (36)$$

где \mathbf{K}^k и \mathbf{F}^{k+1} – глобальные матрицы и векторов размерностью равные на количество узлов.

10. Решая полученную систему уравнений, получим функции $Q^j(t)$ для всех узлов сетки, далее переходя к основным переменным с помощью обратного изопараметрического преобразования, получим окончательное решение, которое определяет значения искомой функции в любых точках конечных элементов.

11. Далее пункты 6-9 алгоритма циклически повторяются для последующих шагов по времени.

Для области двумерных вычислений треугольные или прямоугольные элементы берутся как простые конечные элементы, а последние можно разбить по диагонали на два треугольных элемента. Достоинствами треугольных элементов являются возможность хорошей аппроксимации границы поля и возможность аппроксимации искомой функции на треугольном элементе с помощью плоскости, определяемой необходимыми значениями функции на пронумерованных узлах простейшего поверхностного элемента (обычно вершины треугольного элемента). При делении на элементы – необходимо, чтобы выполнялось условие, что соседние элементы имеют общие стороны и общие пронумерованные узлы.

С помощью узловых значений в пронумерованных узлах элемента искомая функция аппроксимируется поверхностью (чаще всего линейной функцией,

описывающей плоскость), называемой функцией элемента, позволяющей определить искомую функцию в любой точке конечного элемента. Каждому нумерованному узлу расчетной области приписывается базисная функция, равная единице в узле, которому она приписывается, и нулю во всех остальных узлах расчетной области. Базисные функции для различных нумерованных узлов являются линейно независимыми. Приближенное решение задачи формируется в виде линейной комбинации базисных функций по всем нумерованным узлам расчетной области с коэффициентами линейной комбинации, равными узловым значениям искомой функции

На рисунке 1 показано разбиение области определения русла на прямоугольные и треугольные элементы, нумерация элементов и узлов разбиения, причем нумерация не обязательно должна быть упорядочена, они учитываются при задании исходных данных дна канала и взаимосвязи элементов.

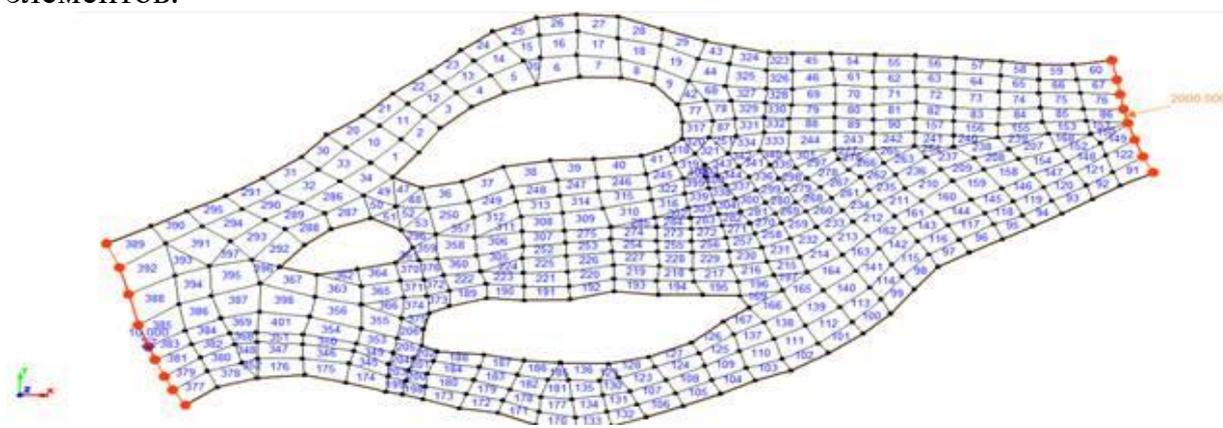


Рис. 1. Разбиение естественного русла водотока на не прямоугольные четырехугольные и треугольные элементы и их нумерация.

В третьей главе диссертации «Разработка программного комплекса для решения задачи оптимального управления двумерного неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах» представлен анализ различных методов оптимального управления водораспределения в каналах (градиентный метод, метод проекция градиента, метод условного градиента, метод возможных направлений и др.) и разработка результаты методов оптимального управления водораспределения.

На рисунке приведен разбиение на элементы рассматриваемой части участка с использованием спутниковой карты, полученной при помощи поисковой системы Google, здесь также карта не привязаны к местности поэтому координаты узлов элемента являются относительными. Русло разбито на 403 элемента, из них 43 треугольные, 360 четырехугольные, площади элементов разные. Количество узлов 439, и количество неизвестных в одном шаге по времени $439 \times 3 = 1317$ шт.

Координаты и отметка дна узлов элемента снимаются по карте согласно масштабу съемки. В верхней части жидкой границы русла задается изменение расхода или гидрограф, а в нижней части жидкой границы задается изменение отметки свободной поверхности потока.

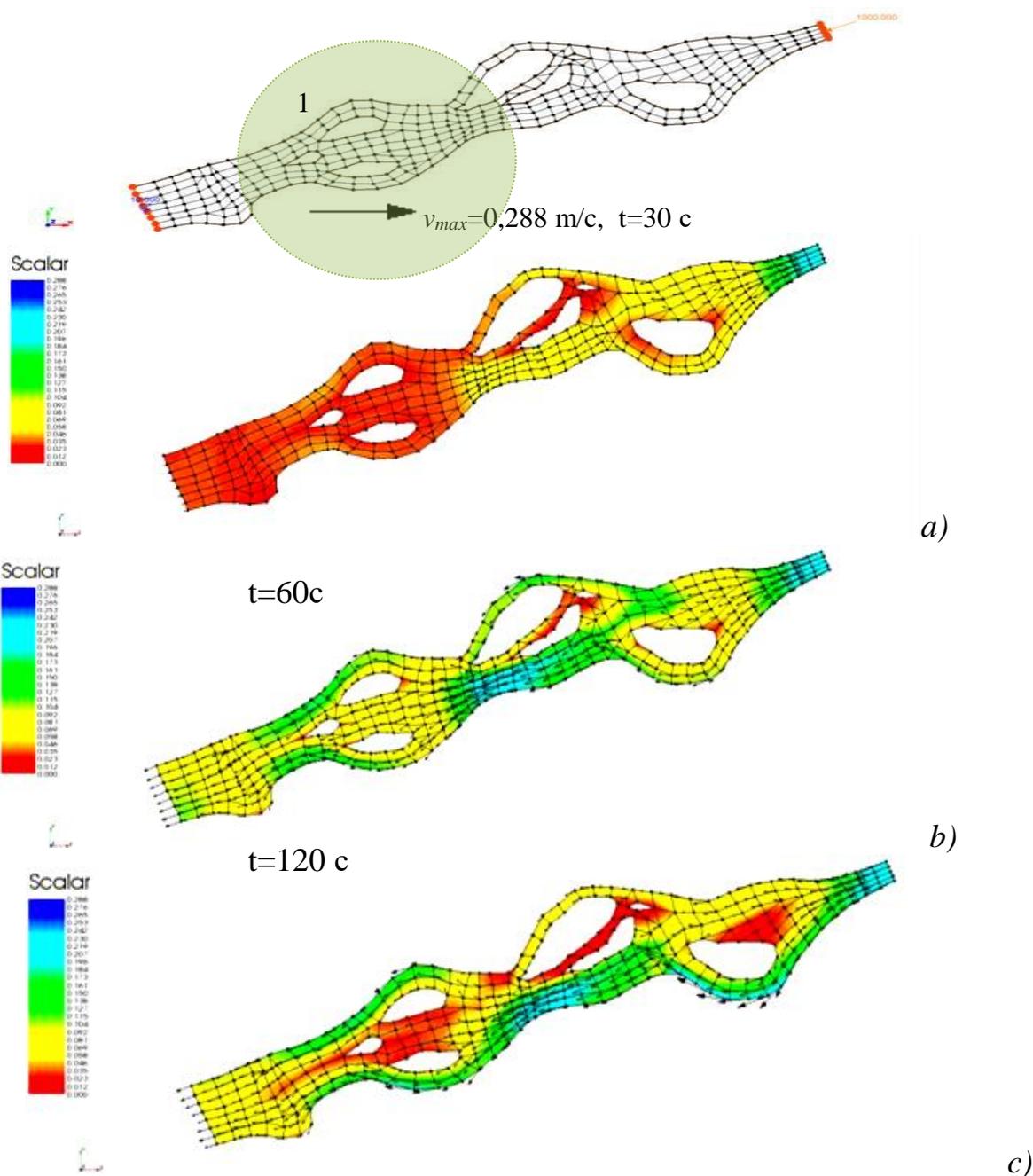


Рис. 2. Участок русло реки Амударья в районе Термезского порта

С помощью разработанного программного инструмента получены результаты моделирования водотока с учетом многомерных параметров объектов водного хозяйства на объектах бассейнового управления ирригационных систем Аму-Сурхан, а также решение задачи оптимального управления.

Обеспечение необходимого водозабора потребует проведение руслорегулирующих мероприятий или строительства новых плотинных водозаборных гидроузлов. Выполнение последнего потребует огромные расходы, потому проведение руслорегулирующих работ считается приоритетным.

Для выполнения этих работ наиболее целесообразным является строительство наиболее капитальных руслорегулирующих сооружений –

глухих, сквозных и комбинированных шпор и дамб.

На рисунке 3 показана блок-схема алгоритма программного модуля для решения системы линейных алгебраических уравнений методом градиентов. Для оптимального управления неустановившегося движения воды на двумерных водохозяйственных объектах, программные модули для конечного метода состоят из следующих блоков:



Рис.3 -Блок-схема алгоритма программного модуля для решения системы линейных алгебраических уравнений

Интерфейс программы решения системы линейных алгебраических уравнений методом конечных элементов представлен на рисунке 4.

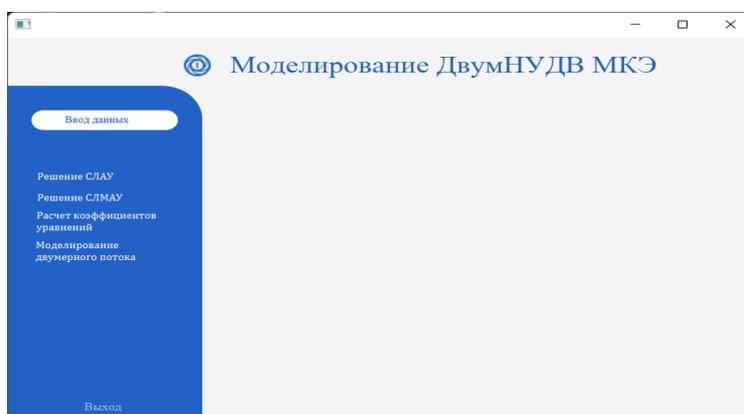


Рис. 4. Интерфейс комплекса программ решения систем линейных алгебраических уравнений

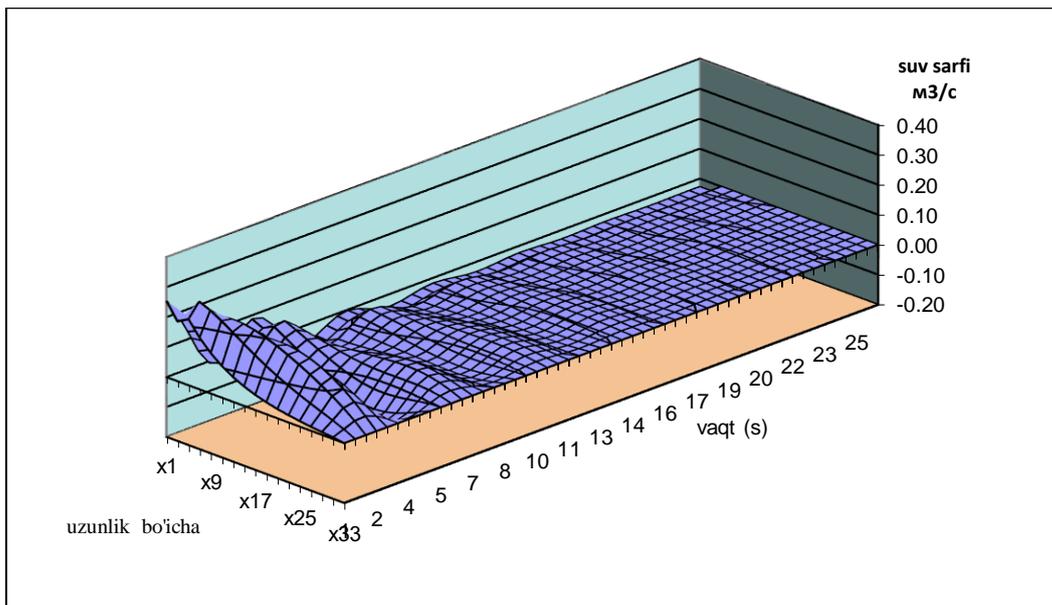


Рис. 5. Изменение расхода воды по оси X на объектах бассейнового управления ирригационных систем Аму-Сурхан

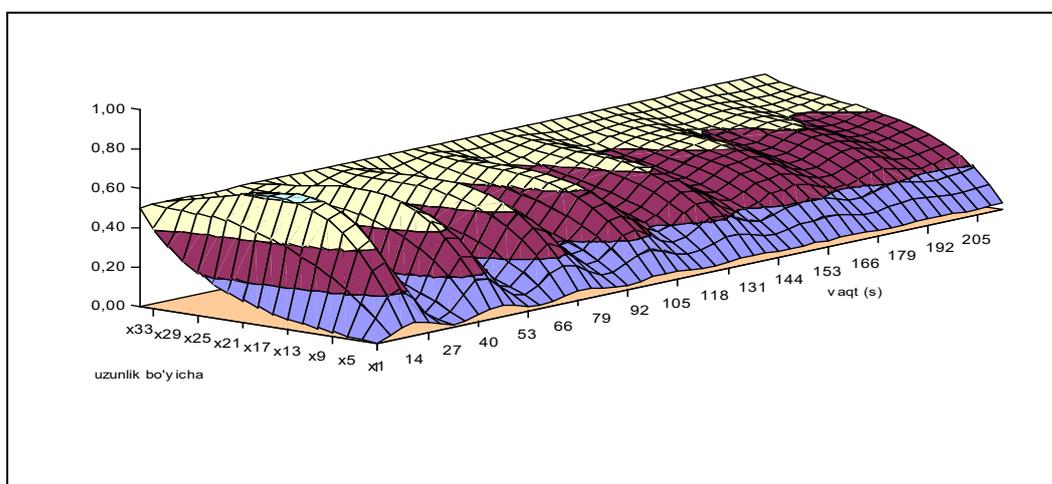


Рис. 6. Изменение расхода воды по оси Y на объектах бассейнового управления ирригационных систем АМУ-Сурхан

Полученные численные экспериментальные результаты показывают, что расход воды стабилизируются к концу участка канала.

При сравнении результатов численного эксперимента с данными бассейнового управления ирригационных систем АМУ-Сурхан параметр расхода воды не сильно отличаются, т. е. разница, погрешность не превышает 5-7%.

Эти результаты подтверждают, что разработанный алгоритм является работоспособным и может быть применен для оптимального управления распределением воды на участках каналов водохозяйственных ирригационных систем республики.

Использование метода конечных элементов для моделирования водного потока, учитывающего многомерность параметров водохозяйственных объектов в пространстве, дает возможность моделирования на компьютере динамики

переходных процессов водных ресурсов, определения качественных и количественных характеристик потока воды по длине, ширине русла реки или участка канала, а также позволяет определить проектные параметры гидротехнических сооружений и водохозяйственных объектов улучшающие их эксплуатационные показатели, а также существенно сокращают затраты времени для исследования, протекающих процессов в них, по сравнению с натурными исследованиями и модельными исследованиями на физической модели.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По теме диссертационного исследования представлены следующие основные выводы:

усовершенствована одномерная и многомерная математическая модель неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах и разработаны критерии качества;

определены граничные условия для математических моделей неустановившегося движения воды в водохозяйственных объектах.

выявлены особенности применения метода конечных элементов при решении задачи оптимального управления неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах с учетом двумерности потока воды в пространстве;

разработаны принципы аппроксимации области пространственного определения на простых элементах и базисные функции для моделирования неустановившегося движения воды;

разработаны алгоритмы расчета коэффициентов уравнений по элементам и алгоритмы решения задачи оптимального управления неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах;

разработан комплекс программ метода конечных элементов для моделирования неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах.

Применение метода конечных элементов в оптимальном управлении водным потоком с учетом многомерных параметров объектов водного хозяйства в пространстве позволяет на современном компьютере моделировать динамику временных процессов водных ресурсов, определять качественные и количественные характеристики водного потока по длине, ширине в районе реки или канала, а также определять проектные параметры, улучшающие эксплуатационные показатели новых сооружений в них, кроме того, полномасштабные исследования и по сравнению с выборочными исследованиями на физической модели позволяют сократить время, затрачиваемое на изучение происходящих в них процессов, до 10%, а потери водных ресурсов при оптимальном управлении водными ресурсами-до 5-7%.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
PhD.15/03.06.2023.FM/T.73.08 AT THE TASHKENT STATE TRANSPORT
UNIVERSITY**

TERMIZ STATE UNIVERSITY

HAYDAROVA ROZIYA DAVRONOVNA

**OPTIMAL MANAGEMENT OF HYDRAULIC PROCESSES IN WATER
MANAGEMENT FACILITIES, TAKING INTO ACCOUNT THE
MULTIDIMENSIONAL SPATIAL DISTRIBUTION**

05.01.02– Systems analysis, management and information processing

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

Tashkent – 2025

The theme of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) on technical sciences was registered in the Higher Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under the number B2023.4.PhD/T4163

The dissertation has been prepared at the Termez State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council (<https://tstu.uz/page/120>) and the website of «ZiyoNet» information and educational portal www.ziyo.net.

Scientific adviser

Seytov Aybek Jumabayevich

doctor of technical sciences, senior researcher

Official opponents:

Normurodov Chori Begaliyevich

doctor of physical and mathematical sciences,
professor

Shamsiyev Rasul Zoirovich

doctor of philosophy on technical sciences,
associate professor

Lead organization:

Tashkent University of Architecture and Construction

The defense will take place “31” January, 2025 at 2⁰⁰ p.m. at the meeting of the the Scientific Council under the PhD.15/03.06.2023.FM/T.73.08 scientific council at the Tashkent State Transport University (Address: 1, Temiryo‘lchilar str, Tashkent 100167, Uzbekistan, room №259. Phone: (+99871) 299-00-01, Fax: (+99871) 239-57-54, e-mail: rektorat@tstu.uz).

The dissertation is available for review in Information-Resourse Centre of the Tashkent State Transport University (registered number №____). (Address: 1, Temiryo‘lchilar str, Tashkent 100167, Uzbekistan. Phone: (+99871) 299-05-66).

Abstract of the dissertation was distributed on “__” January 2025 year.
(mailing report №. ____ on “____” January 2025 year).

X.M.Shadimetov

Chairman of the Scientific Council
awarding of scientific degrees,
doctor of physical and mathematical sciences, professor

F.A.Nuraliev

Scientific secretary of the Scientific council
awarding of scientific degrees,
doctor of physical and mathematical sciences, professor

T.R.Nurmuxamedov

Chairman of the academic seminar under
the Scientific Council awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (Abstract of PhD dissertation)

Topicality and relevance of the dissertation theme. In the world, special attention is being paid to the mathematical modeling of the issues of water resources delivery to consumers, its management, and implementation of their work modes with modern information systems based on the given criteria. In this regard, in a number of countries of the world, including the USA, France, Spain, China, Ukraine, the Russian Federation, Kyrgyzstan and Uzbekistan, the creation of mathematical models taking into account the multidimensional spatial distribution of hydraulic processes in water management objects, in their numerical solution, great attention is paid to the construction of separate schemes and the management of water management facilities using modern information systems in water distribution.

Management of operating modes of water resources, rivers, main channels, irrigation system channels and reservoirs in the delivery of water resources to consumers in the world through modern information systems is directed to the creation of mathematical models taking into account the multivariable components of the unstable movement of water resources. Scientific and research works are being carried out. In this regard, one of the necessary issues is the creation of different schemes in the mathematical modeling of two-way unstable movement of water resources and the scientific justification of their solution with modern information systems.

In our republic, one of the urgent problems is to manage water resources by modeling stable and unstable movements of water resources in current water management facilities, to solve the issue of supplying water resources to consumers in the right amount at the right time. Measures are being taken to solve the issues that need to be scientifically substantiated by money and their solution with modern information systems. In the concept of water management development of the Republic of Uzbekistan for 2020-2030, including "... improving the system of forecasting water resources, keeping their accounts and forming a database, and ensuring transparency, ... "automation of the management of property objects on the basis of digital technologies..." tasks are defined. One of the important issues is the implementation of these tasks, including the control of the distribution of water resources in irrigation system channels, the creation of a set of algorithms and programs for solving the problem of mathematical modeling of the two-dimensional unstable movement of water resources in water management objects.

In our republic, it is one of the urgent problems to manage water resources by modeling stable and unstable movements of water resources in current water management facilities, to solve the issue of supplying water resources to consumers in the right amount at the right time. Measures are being taken to solve the issues that need to be scientifically substantiated by money and their solution with modern information systems. In the concept of water management development of the Republic of Uzbekistan for 2020-2030, including "... improving the system of forecasting water resources, keeping their accounts and forming a database, and ensuring transparency, ... "automation of the management of property objects on the basis of digital technologies..." tasks are defined. Implementation of these tasks,

including monitoring the distribution of water resources in irrigation system channels, creating a set of algorithms and programs for solving the problem of mathematical modeling of the two-dimensional unstable movement of water resources in water management facilities is one of the important issues.

The purpose of this dissertation work is optimal management of two-dimensional unstable movement of water resources in water management facilities.

Tasks of the research:

improvement of the mathematical model of two-dimensional unstable water movement in water management facilities;

development of the necessary condition for optimal management of the two-dimensional unstable movement of Water Resources in water management facilities;

development of algorithms for solving the problem of optimal management of two-dimensional unstable movement of water resources in water management facilities;

creation of a set of programs to solve the problem of optimal management of the two-dimensional unstable movement of water resources in water management facilities.

The object of the research is optimal management processes of hydraulic processes in water management facilities, taking into account the multidimensional spatial distribution.

The scientific novelty of the research is as follows:

the system of one-dimensional partial differential equations of Saint-Venant has been improved, describing the unsteady movement of water resources at water management facilities using a two-dimensional mathematical model;

the necessary optimality conditions have been developed based on the Pontryagin maximum principle for an improved two-dimensional mathematical model of Saint-Venant unsteady movement of water resources at water management facilities;

algorithms for solving the optimal control problem based on the necessary optimality condition developed for the improved two-dimensional mathematical model of Saint-Venant unsteady movement of water resources at water management facilities have been developed;

a set of programs has been created to solve the problem of optimal control of two-dimensional unsteady movement of water resources at water management facilities based on the projection gradient method.

Implementation of the research results based on the results of optimal management of water distribution in the channels of the irrigation system in the conditions of economical delivery of water to consumers:

a set of programs for solving the problem of modeling two-dimensional unsteady movement of water in water management facilities has been implemented in the facilities of the basin management of irrigation systems Amu-Surkhan (resolution of the khokimiyat of the Surkhandarya region of the Republic of Uzbekistan dated October 5, 2025. Reference No. 05-05/7784). As a result, the loss of water resources in the channels of the irrigation system was reduced to 3-5%;

mathematical models of two-dimensional unsteady movement of water, as well as control of their operating modes, have been implemented in water management facilities and hydraulic structures of the Jizzakh Main Pumping Station operation department (resolution of the khokimiyat of the Surkhandarya region of the Republic of Uzbekistan dated October 5, 2025. Reference No. 05-05/7784). As a result, the created set of programs made it possible to increase the efficiency of the hydraulic structures of the canals by 5-7%;

algorithms for solving the finite element method for modeling unsteady water movement in water management facilities have been implemented at facilities and systems for the operation of the South Mirzachul main canal (resolution of the khokimiyat of the Surkhandarya region of the Republic of Uzbekistan dated October 5, 2025. Reference No. 05-05/7784). As a result, the developed algorithms made it possible to increase the irrigation efficiency of the sown fields by up to 10% and the quality of the harvested crop.

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

E‘LON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть, I part)

1. Haydarova. R. Development of boundary conditions for mathematical models of unsteady water movement in water management facilities // Scientific and Technical Journal of NamIET. volume 9 | ISSUE 2 ISSN 2181-8622. www.niet.uz. pp.184-188. (05.00.00; №51)

2. Haydarova. R. Suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun ma‘lumotlar bazasining tuzilishini ishlab chiqish //AGRO ILM- O‘zbekiston qishloq va suv xo‘jaligi. Maxsus son [1] [100], 2025. B.57-59. (05.00.00; №37)

3. Haydarova. R., Turayev R., Seytov A., Abduraxmonov O., Choriyorov N. Optimal water management in the channels of machine water raise systems //O‘zMU xabarлари. Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universiteti ilmiy jurnali, 2025, [2/1.1]. pp.90-101. (05.00.00; №46)

4. Turaev R., Seytov A., Hollozov B., Haydarova R., Kuldasheva S. Algorithms for planning water management in irrigation systems // AIP Conference Proceedings, 2025, 3045(1), 040040, (№3, Scopus, IF=4,652)

5. Haydarova R.D. Suv xo‘jaligi obyektlari jarayonlarini ko‘p o‘lchovli fazoviy taqsimlanishini asosida matematik modellashtirish // O‘zbekiston agrar fani xabarnomasi. Ilmiy-amaliy jurnal. №4 (16), 2025. B.118-122. (05.00.00; №5)

6. Хайдарова Р.Д., Омонов Ф., Абдурахманов Р. С. Математические модели неустойчившегося движения воды в крупных магистральных каналах с каскадами насосных станций // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences VOLUME 2 | ISSUE 10 ISSN 2181-1784 Scientific Journal Impact Factor SJIF 2022: 5.947 Advanced Sciences Index Factor ASI Factor = 1.7. www.oriens.uz. С.52–67. (05.00.00; №8)

7. Хайдарова Р.Д. Условия оптимального управления водных ресурсов в каналах ирригационных систем // Oriental Renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences VOLUME 2 | ISSUE 10 ISSN 2181-1784 Scientific Journal Impact Factor SJIF 2022: 5.947 Advanced Sciences Index Factor ASI Factor = 1.7 www.oriens.uz. С.325-334. (05.00.00; №8)

8. Хайдарова Р.Д. Математические модели неустойчившегося движения воды в водохозяйственных объектах, учитывающие многомерную распределенность параметров в пространстве // Eurasian journal of academic research Innovative Academy Research Support Center UIF = 8.1 | SJIF = 5.685 www.in-academy.uz. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7161769>. С.206-215, (05.00.00; №36)

II bo‘lim (II часть, II part)

9. Haydarova R.D. Mathematical models for modeling twodimensional unsteady water movement at water facilites // ISSN: 2350-0328 International Journal

of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 10, Issue 3, March 2023. www.ijarset.com. pp.20404-20412.

10. Turaev R, Seytov A, Haydarova R. Optimal Water Management of the Cascade of Pumping Stations// ISSN: 2350-0328 International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology .Vol. 10, Issue 5, May 2023. www.ijarset.com. pp.20755-20762

11. Haydarova R.D. Analysis of mathematical models of unstable water movement in water economy facilities taking into account the multi-dimensional distribution of parameters in space//18 th –ICARHSE. International Conference on Advance Research in Humanities, Applied Sciences and Education Hosted from New York, USA <https://conferencea.org> September, 28 th 2023. pp.76-80

12. Хайдарова Р.Д. Моделирование двумерного неустановившегося движения воды в ирригационных каналах//Theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences International scientific-online conference. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7155978>. С.133-143

13. Хайдарова Р.Д. Цифровой алгоритм расчета времени прихода водных масс между разрезами канала//Алгебра ва анализнинг долзарб масалалари мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами 1-қисм 2022 йил 18-19 ноябрь.С.308-309.

14. Haydarova R.D. Analysis of numerical methods of modeling unsteady water movement in water management facilities, taking into account the multidimensional distribution of their parameters in space// <http://www.openconference.us>Innovative Society: Problems, Analysis and Development Prospects (Spain). pp.217-221.

15. Haydarova R.D Suv xo‘jaligi obyektlarida beqaror suv harakatini modellashtirish uchun chekli elementlar sonli usulini qo‘llashning xususiyatlari// «Тараққиёт тадқиқотлари: муаммо, таклиф ва ислохотлар» мавзусидаги Республика кўп тармоқли илмий-амалий анжуманлари материаллари тўплами, 10-сон II-қисми, 31 октябрь 2023 йил. – Тошкент:, 2023. В.47-52.

16. Хайдарова Р.Д. Выбор алгоритмов и программного модуля решения основных уравнений численного метода конечных элементов для моделирования двухмерного неустановившегося движения воды на водохозяйственных объектах//Наука, общество, инновации: актуальные вопросы современных исследований: сборник статей II Международной научно- практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – 210 с. ISBN 978-5-00236-011-6. С.24-25.

17. Эсонтурдиев М.Н., Сейтов А., Хайдарова Р., Иргашев И. Алгоритм расчета потребности водных ресурсов участков магистрального канала// Mathematical analyses and Its applications in modern mathematical physics. International conference. Part II. September 23-24, 2022; Samarkand. С.219–220.

18. Chupanov A., Seytov A., Ruzmetov Q., Esonturdiyev M., Haydarova R., Xonimqulov B. Models of forming surfase water resources in the Republic of Uzbekistan. Mathematical analyses and Its applications in modern mathematical

physics//International conference.Part II. September 23-24, 2022; Samarkand. pp.142–144.

19. Haydarova. R, Esonturdiyev M. Suv omborlardagi suv sarfi va suv sathini hisoblash dasturi//O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi № DGU 24179 guvohnomasi.

20. Haydarova. R, Esonturdiyev M. Magistral kanallardagi suv sarfi va suv sathini hisoblash dasturi//O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi № DGU 24178 guvohnomasi.

Avtoreferat «Muhammad al-Xorazmiy» ilmiy-amaliy, axborot tahliliy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturasida.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog‘i: 3. Adadi 100 dona. Buyurtma № 59/24.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.