IRRIGATSIYA TARMOQLARINI GRAF MODELI ASOSIDA RAQAMLASHTIRISH, MA'LUMOT TAYYORLASH VA VALIDATSIYALASH DASTURIY VOSITASI

Qudaybergenov Adilbay Abatbaevich

PhD, dotsent, doktoranti, Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti, Tashkent, O'zbekiston
E-mail:adilbaygm@gmail.com

K E Y W O R D S

irrigatsiya tarmog'i, graf modeli, validatsiya algoritmi, ma'lumotlar modeli, raqamlashtirish, JSON va Excel import-eksport

A B S T R A C T

Ushbu ishda irrigatsiya tarmoqlarining graf modeli uchun ma'lumot tayyorlash va validatsiyalashga mo'ljallangan dasturiy vosita taklif etilgan. Tadqiqotning dolzarbligi shu bilan izohlanadiki, amaliyotda irrigatsiya tarmoqlari haqidagi ma'lumotlar ko'pincha grafik sxemalar, tarqoq jadvallar yoki nostandart fayllar ko'rinishida saqlanadi, bu esa ularni formal tahlil qilish, xatolarni aniqlash va keyingi gidravlik hamda optimallashtirish modellariga uzatishni qiyinlashtiradi. Ishda irrigatsiya tarmog'i yo'naltirilgan graf ko'rinishida ifodalandi, tugun va qirralar uchun semantik atributlar hamda topologik cheklovlar joriy etildi. Shu asosda tugun, qirra va talab yozuvlaridan iborat ma'lumotlar modeli ishlab chiqildi va uning sintaktik, topologik hamda semantik to'g'riligini tekshiruvchi validatsiya algoritmlari taklif qilindi. Dastur Python va PyQt5 muhitida modulli arxitektura asosida amalga oshirildi; unda grafik tahrirlash, avtomatik tekshirish, JSON va Excel formatlarida import-eksport, shuningdek PNG formatda saqlash imkoniyatlari yaratildi. Sinov natijalari dastur irrigatsiya tarmoqlarini raqamlashtirish, struktura xatolarini erta aniqlash, ma'lumotlarni standartlashtirish va keyingi gidravlik yoki optimal taqsimlash masalalari uchun ishonchli kirish ma'lumotlarini tayyorlashda samarali ekanini ko'rsatdi.

1. KIRISH

Suv resurslarining taqchilligi, irrigatsiya infratuzilmasining yirik va ko'p bosqichli tarmoqlar shaklida faoliyat yuritishi, shuningdek suv taqsimotiga oid qarorlarni tez va aniq qabul qilish zarurati irrigatsiya tizimlarini raqamli shaklda ifodalash masalasining dolzarbligini kuchaytirmoqda. Amaliyotda kanal tarmoqlari, gidroinshootlar, taqsimlash nuqtalari va terminal suv olish joylari haqidagi ma'lumotlar ko'pincha grafik sxema, Excel jadvali yoki tarqoq hisobotlar ko'rinishida saqlanadi. Bu esa tarmoq topologiyasini qayta tiklashni, ob'ektlar semantikasiga nisbatan yagona yondashuvni ta'minlashni, formal tekshirishni amalga oshirishni hamda keyingi gidravlik yoki optimallashtirish modellariga ishonchli kirish ma'lumotlarini uzatishni qiyinlashtiradi. Shu sababli irrigatsiya tarmog'ini yo'naltirilgan graf ko'rinishida formallashtirish, uning elementlarini semantik jihatdan tiplash va validatsiya qoidalari asosida tekshirishga mo'ljallangan dasturiy vositalarga ehtiyoj yuqori.

Mavjud tadqiqotlar, asosan, irrigatsiya tizimlarida suv harakati va taqsimoti uchun gidravlik hamda optimal boshqaruv modellarini ishlab chiqishga qaratilgan. Jumladan, yirik nasos stansiyalarida suv yetkazib berish jarayonlarini modellashtirish va optimallashtirish masalasi algebraik yondashuv asosida qo'yilgan bo'lib, unda nasos agregatlarining universal ish xarakteristikalari, ishchi agregatlar tarkibi va energiya sarfi mezoni bo'yicha optimal rejimni tanlash algoritmi ishlab chiqilgan [1]. Magistral kanallarda suvni optimal taqsimlash muammosi esa Sen–Venan tenglamalari va chekli ayirmalar usuli asosida ko'rilgan bo'lib, mualliflar diskret suv berish sharoitida beqaror oqimni hisobga

(cc) BY

oluvchi optimal boshqaruv qo‘yilishini taklif etgan [2]. uv omborlari darajasida mavsumiy rostlanadigan suv omborlari uchun suv resurslarini boshqarish algoritmlari ishlab chiqilgan va suv omborlarini to‘ldirish hamda bo‘shatish rejimlarini optimallashtirishga alohida urg‘u berilgan [3]. Shuningdek, kanallar darajasida diskret suv berishni hisobga olgan matematik modellar va optimal boshqaruv algoritmlarida to‘g‘ri to‘lqin, kinematik to‘lqin va konveksiya–diffuziya tipidagi modellar qiyoslangan hamda kanal uchastkalarida suv sarfining vaqt va masofa bo‘yicha o‘zgarishini hisoblash algoritmlari ishlab chiqilgan [4].

So‘nggi yillarda nashr etilgan tadqiqotlar ham, asosan, suv taqsimoti, kanallarda taqsimlash jadvallarini shakllantirish va optimal boshqaruv vazifalarini hal etishga qaratilgan. Xususan, Fan Y. va hammualliflar irrigatsiya kanali tizimi uchun suv taqsimoti va jadvallash modelini taklif etgan bo‘lib, unda kanal gidrodinamikasi, suv boshqaruv jihozlarining ishlash jadvali hamda dimlanish hodisalari o‘zaro bog‘liq holda hisobga olingan [5]. Mazkur ilmiy yo‘nalishning davomi sifatida ushbu mualliflar [6] ishda suv ta’minoti sharoitlariga qarab kanallar bo‘yicha suv taqsimotini optimallashtirish modelini ishlab chiqqan va suv tanqisligi sharoitida adolatli taqsimot tamoyilini ham nazarda tutgan. Shu bilan birga, Gong Y. va hammualliflar yirik sug‘orish hududining yagona magistral kanalida suv miqdorini taqsimlash uchun dinamik dasturlash usuliga asoslangan modelni taklif etgan [7]. Zeng N. va hammualliflar kaskadli irrigatsiya kanallari uchun Sen–Venan tipidagi saqlanish qonunlariga asoslangan xususiy hosilali differensial tenglamalar yordamida noliney optimal boshqaruv qo‘yilishini ishlab chiqqan [8]. Shuningdek, Zhou K. va hammualliflar kanal tizimlarida suv taqsimotini haqiqiy sharoitlarga yaqinroq ifodalash maqsadida suv sathiga asoslangan optimal taqsimot modelini taklif etgan va mazkur yondashuvning afzalliklarini asoslab bergan [9].

Shu bilan birga, Qiao J. va hammualliflar gidravlik tizimlar uchun graf ma’lumot modelining umumiy ustunliklarini ko‘rsatib, bunday model murakkab gidravlik ob’ektlar va ular o‘rtasidagi munosabatlarni saqlash, tahlil qilish hamda intellektual ilovalarga integratsiya qilish uchun samarali asos bo‘lishini isbotlagan [10]. Biroq [1–9] manbalarda asosiy urg‘u gidravlik tenglamalar, suv taqsimoti algoritmlari, jadvallash va optimal boshqaruv masalalariga berilgan bo‘lib, irrigatsiya tarmog‘ini dasturiy darajada semantik graf shaklida tayyorlash, tugunlar va qirralarni sohaviy jihatdan tiplash, topologik xatolar hamda format nomuvofiqliklarini avtomatik aniqlash, shuningdek JSON va Excel kabi qayta ishlatiladigan formatlarda ishonchli kirish modelini shakllantirish masalalari yetarli darajada ochib berilmagan. Shundan kelib chiqib, mavjud adabiyotlar gidravlik va optimallashtirish yadrosini yaxshi yoritgan bo‘lsa-da, ushbu yondashuvlarni amalga tatbiq etish uchun zarur bo‘lgan ma’lumotlarni tayyorlash va tekshirish qatlami mustaqil dasturiy ob’ekt sifatida kam tadqiq etilgan.

Ushbu tadqiqotning maqsadi irrigatsiya tarmoqlarining tartibsiz grafik-jadvalli tasvirini formallashtirilgan raqamli graf modeliga o‘tkazish, tugunlar va qirralar semantikasiga asoslangan ma’lumotlar modelini ishlab chiqish, topologik hamda parametrik tekshirish qoidalarini joriy etish, shuningdek ushbu jarayonlarni JSON va Excel formatlarida import-eksport qilish imkoniyatiga ega stol usti dasturi orqali amalga oshirishdan iborat. Boshqacha aytganda, tadqiqot gidravlik yoki optimallashtirish hisoblarining o‘zini bajarishga emas, balki aynan shu hisoblar uchun zarur bo‘lgan ishonchli, tekshirilgan va qayta ishlatiladigan kirish ma’lumotlari qatlamini shakllantirishga qaratilgan.

2. MATERIALLAR VA METODOLOGIYA

2.1. Masalaning qo‘yilishi

Ochiq kanalli irrigatsiya tarmoqlarini raqamli shaklda tavsiflashdagi asosiy muammo shundan iboratki, amaliyotda tarmoq sxemalari ko‘p hollarda grafik rasm, tarqoq jadval yoki nostandart hisobot shaklida saqlanadi. Bunday ko‘rinish tarmoq topologiyasini formal tiklashni, gidrotexnik ob’ektlarning funksional rolini ajratishni, struktura xatolarini erta bosqichda aniqlashni va keyingi hisoblash modullari uchun yagona formatda kirish ma’lumotlarini tayyorlashni qiyinlashtiradi. Shu sababli mazkur ishda irrigatsiya tarmog‘ini graf nazariyasi asosida formallashtirish, tugun va qirralarga semantik ma’no yuklash, parametrlar va bog‘lanishlar uchun cheklovlar tizimini joriy etish hamda ularni

(cc) BY

dasturiy validatsiya orqali tekshirish masalasi qo‘yildi

Masalaning formal-matematik ifodasi

Tadqiqotda irrigatsiya tarmog‘i yo‘naltirilgan graf sifatida qabul qilindi. Ushbu qo‘yilish tarmoqning tuzilmasini, suv harakati yo‘nalishini va keyingi hisoblashlar uchun zarur bo‘lgan asosiy ob’ektlarni yagona modelda ifodalash imkonini beradi.

$$G = (V, E), \qquad E \subseteq V \times V. \qquad (1)$$

bu yerda $V = \{v_1, v_2, \ldots, v_n\}$ - tugunlar to‘plami, E - qirralar to‘plami. (1) formuladagi tugunlar manba, gidrouzel, taqsimlash nuqtasi, rostlagich, yon suv olish nuqtasi va terminal kabi ob’ektlarni, qirralar esa ular orasidagi kanal uchastkalari yoki texnologik bog‘lanishlarni ifodalaydi. Demak, har bir $e = (v_i, v_j) \in E$ qirrasi suv harakati yoki boshqaruv aloqasining yo‘nalishini belgilaydi.

Tarmoqning faqat topologik emas, balki semantik jihatdan ham aniq ifodalanishi uchun har bir tugunga atributlar vektori mos qo‘yildi:

$$a(v) = \{id_v,\ f_v, t_v, p_v, c_v, m_v, x_v, y_v\}, \qquad v \in V\ .\ (2)$$

Bu yerda id_v - tugun identifikatori, f_v - funksional roli, t_v - texnologiya turi, p_v - piket yoki joylashuv belgisi, c_v - o‘tkazish qobiliyati, m_v - o‘lchash imkoniyati, x_v, y_v - grafik sahnadagi koordinatalar. (2)-formula tarmoq tugunlarini oddiy nuqta emas, balki texnik va dispetcherlik ma’nosiga ega ob’ekt sifatida tasvirlash imkonini beradi.

Xuddi shunday, har bir qirra uchun parametrlar vektori kiritildi:

$$b(e) = \{id_e, s_e, r_e, l_e, \eta_e, c_e\}, \qquad e \in E. \qquad (3)$$

Bu yerda id_e - qirra identifikatori, s_e - qirra turi, r_e - uchastka yoki segment raqami, l_e - uzunlik, η_e - samaradorlik koeffitsienti, c_e - o‘tkazish qobiliyati. (3)-formula orqali har bir kanal uchastkasi yoki texnologik bog‘lanishni keyingi gidravlik va tashkiliy hisoblashlar uchun kerakli asosiy parametrlar bilan birga saqlash mumkin bo‘ladi.

Masalaning qo‘yilishida tarmoqning hisoblashga yaroqli struktura sifatida qaralishi muhim ahamiyatga ega. Shu sababli ierarxik rejimda har bir tugun uchun yuqori b’ef qismi bittadan ortiq bo‘lmasligi talab etildi:

$$\deg^{-}(v) \le 1, \qquad v \in V\ ,\ V_S.. \qquad (4)$$

(4)-formula daraxt rejimida tarmoqning shoxlanuvchi, ammo qayta tutashmaydigan ierarxik strukturaga ega bo‘lishini ta’minlaydi. Bu shart manba tomondan pastga qarab suv taqsimotini, yoki aksincha terminallardan yuqoriga qarab talablarni yig‘ish jarayonini algoritmik jihatdan soddalashtiradi.

Terminal nuqtalar bo‘yicha talab ma’lumotlarini graf modeliga bog‘lash uchun $V_T \subset V$ terminal tugunlar to‘plami ajratildi va har bir talab yozuvi quyidagi tuzilma orqali ifodalandi:

$$r = (s, d, v_t, N_{t,d}), \qquad v_t \in V_T, \qquad d \in D.. \qquad (5)$$

Bu yerda s - ssenariy, d - vaqt intervali, v_t - terminal tugun, $N_{t,d}$ - shu terminal uchun belgilangan suv talabi. (5)-formula talab ma’lumotlarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri terminallarga bog‘lash imkonini beradi va keyinchalik netto talablarni tarmoq bo‘yicha yig‘ish, taqsimlash yoki cheklash masalalariga o‘tish uchun asos yaratadi.

Shunday qilib, mazkur tadqiqotda irrigatsiya tarmog‘ining tartibsiz grafik-jadvalli tasvirini semantik, topologik va parametrik jihatdan tekshiriladigan yagona raqamli graf modeliga aylantirish masalasi qo‘yildi. Bunda kirish ma’lumotlari sifatida tugunlar, qirralar va terminal talablari haqidagi ma’lumotlar qabul qilinadi; chiqish natijasi sifatida esa (1)–(5)-formulalarda berilgan qoidalarga mos, validatsiyadan o‘tgan va JSON hamda Excel formatlarida saqlanuvchi raqamli model hosil qilinishi lozim.

2.2. Graf modeli va semantik cheklovlar

(1)–(5)-formulalar tarmoqning formal asosini belgilaydi. Amaliy masalalarda esa tugun va qirralarning texnologik ma’nosi ham hisobga

(cc) BY

olinishi lozim. Shu sababli graf modeli semantik tiplash bilan kengaytirildi va har bir tugun hamda qirra uchun tegishli turlar to‘plami kiritildi:

$$f_V : V \to F_V, \qquad f_E : E \to F_E. \qquad (6)$$

Bu yerda F_V — tugunlar funksional rollari to‘plami, F_E — qirralar turlari to‘plami. (6)-formulaga ko‘ra har bir $v \in V$ tugunga aniq bir funksional rol, har bir $e \in E$ qirraga esa aniq bir texnologik tur mos qo‘yiladi.

Semantik tiplash grafdagi elementlar o‘rtasida yo‘l qo‘yiladigan va yo‘l qo‘yilmaydigan bog‘lanishlarni formal tarzda belgilash imkonini beradi. Shu maqsadda ruxsat etilgan bog‘lanishlar munosabati kiritildi:

$$\mathrm{C} \subseteq F_V \times F_E \times F_V . \qquad (7)$$

(7)-formuladagi C munosabati qaysi funksional rolga ega tugundan qaysi turdagi qirra orqali qaysi funksional rolga ega tugunga chiqish mumkinligini belgilaydi.

$$\left(f_V(u), f_E(e), f_V(v) \right) \in \mathrm{C}, \qquad \forall e = (u, v) \in E \qquad (8)$$

(8)-shart semantik muvofiqlikning asosiy cheklovi hisoblanadi. Masalan, source_headworks tugunidan odatda canal_reach orqali taqsimlash yoki boshqaruv tugunlariga chiqishga ruxsat beriladi, ammo terminal tugundan yana magistral kanal uchastkasini boshlash semantik jihatdan noto‘g‘ri hisoblanadi.

Irrigatsiya tarmoqlarida manbalar, oraliq rostlash nuqtalari va terminallar alohida ahamiyatga ega bo‘lgani uchun tugunlar to‘plami ichida maxsus kichik to‘plamlar ajratiladi:

$$V = V_S \cup V_I \cup V_T, \qquad V_S \cap V_I = \varnothing, \qquad V_S \cap V_T = \varnothing, \qquad V_I \cap V_T = \varnothing, \qquad (9)$$

Bu yerda V_S — manba tugunlari, V_I — oraliq boshqaruv va taqsimlash tugunlari, V_T — terminal tugunlar to‘plami. (9)-formula tarmoqni funksiyasiga ko‘ra qatlamlarga ajratish imkonini beradi.

Suv harakati mantig‘ini saqlash uchun manba va terminal tugunlar darajalariga ham cheklov qo‘yiladi:

$$\deg^-(v) = 0, v \in V_S, \qquad \deg^+(v) = 0, v \in V_T \qquad (10)$$

(10)-formula tarmoqda suv oqimi yo‘nalishining mantiqiy chegaralarini belgilaydi. Tree rejimida esa ierarxik tuzilma (4)-shart orqali nazorat qilinadi.

Qirralarning parametrik ma’nosi ham semantik cheklovlar bilan bog‘liq holda ko‘riladi. Xususan, kanal uchastkasi turidagi qirra uchun samaradorlik koeffitsienti fizik jihatdan quyidagi chegarada bo‘lishi shart:

$$0 < \eta_e \le 1, \qquad \forall e \in E_c \subseteq E, \qquad (11)$$

bu yerda E_c — canal_reach turidagi qirralar to‘plami. (11)-shart kanal uchastkasining uzatish samaradorligi manfiy yoki birdan katta qiymat qabul qilmasligini ta’minlaydi.

Shunday qilib, ushbu qismda graf modeli faqat tugun va qirralar to‘plami emas, balki funksiyalar, ruxsat etilgan munosabatlar, qatlamlar va parametrik cheklovlar bilan boyitilgan semantik struktura sifatida qaraldi.

2.3. Ma’lumotlar modeli va validatsiya algoritmlari

Graf modeli amaliyotda ishlashi uchun uni fayl darajasida saqlash, qayta yuklash va tekshirish mumkin bo‘lishi lozim. Shu sababli ushbu ishda graf modeliga mos keluvchi ma’lumotlar modeli hamda uning to‘g‘riligini ta’minlovchi validatsiya algoritmlari ishlab chiqildi.

Ma’lumotlar modeli uchta asosiy ob’ektdan tashkil topadi: tugun yozuvi, qirra yozuvi va talab yozuvi. Har bir tugun yozuvi grafdagi bitta $v_i \in V$ tugunga, har bir qirra yozuvi esa bitta $e_k \in E$ qirraga mos qo‘yiladi.

$$\phi_V : R_V \to V, \qquad (12)$$

$$\phi_E : R_E \to E. \qquad (13)$$

(cc) BY

Bu yerda ϕ_V va ϕ_E akslantirishlari ma'lumotlar jadvalidagi yozuvlarni graf ob'ektlariga bir qiymatli bog‘laydi. Demak, ma'lumotlar modeli graf nazariyasidagi abstrakt ob'ektlarni fayl darajasida identifikatorlar orqali ifodalaydi.

Har bir tugun yozuvi quyidagi struktura bilan beriladi:

$$r_i^V = (id_i,\ f_i, t_i, name_i, p_i, cap_i, m_i, x_i, y_i, c_i). \quad (14)$$

Bu yerda id_i - tugun identifikatori, f_i - funksional roli, t_i - texnologiya turi, $name_i$ - nomlanishi, p_i - piket yoki joylashuv belgisi, cap_i - o‘tkazish qobiliyati, m_i - o‘lchash imkoniyati, x_i, y_i - grafik koordinatalari, c_i - qo‘shimcha izoh yoki xizmat maydonidir. Qirra yozuvi esa quyidagi ko‘rinishda saqlanadi:

$$r_k^E = (id_k, u_k, v_k, s_k, ch_k, \ell_k, \eta_k, cap_k, p_k^s, p_k^e). \quad (15)$$

Bu yerda id_k - qirra identifikatori, u_k va v_k - boshlang‘ich va oxirgi tugunlar, s_k - qirra turi, ch_k - kanal turi, ℓ_k - uzunlik, η_k - samaradorlik koeffitsienti, cap_k - o‘tkazish qobiliyati, p_k^s va p_k^e - boshlanish va tugash piketlaridir. Talab yozuvi esa terminal tugunga bog‘langan vaqtli ma'lumotni saqlaydi:

$$r_j^D = \left(\sigma_j, d_j, t_j, N_{t_j, d_j}\right). \quad (16)$$

Bu yerda σ_j - ssenariy, d_j - vaqt intervali, t_j - terminal tugun identifikatori, N_{t_j,τ_j} - ushbu terminal uchun suv talabi. (16) dagi t_j qiymati faqat terminal tipidagi tugunga tegishli bo‘lishi kerak.

Amaliy saqlash formatida ushbu ob'ektlar to‘rtta mantiqiy qismga ajratiladi:

$$M = \{M_V, M_E, M_D, M_{meta}\}, \quad (17)$$

bu yerda M_V - tugunlar jadvali, M_E - qirralar jadvali, M_D - talablar jadvali va M_{meta} - loyihaga tegishli xizmat ma'lumotlari. Excel formatda bular mos ravishda NODES, EDGES, DEMAND va META varaqlari sifatida, JSON formatda esa tegishli ob'ekt massivlari sifatida saqlanadi.

Ma'lumotlar modeli tuzilgandan keyin uning to‘g‘riligini ta'minlash uchun validatsiya algoritmlari qo‘llaniladi. Ushbu ishda validatsiya uch qatlamga ajratildi: sintaktik, topologik va semantik tekshirish. Sintaktik validatsiyaning maqsadi maydonlarning mavjudligi, identifikatorlarning to‘g‘riligi va parametrlar diapazonini tekshirishdan iborat. Bunda, avvalo, tugun va qirra identifikatorlarining unikalligi talab qilinadi:

$$\begin{aligned} &id_i \neq id_j \quad \forall i \neq j, \\ &id_k \neq id_l \quad \forall k \neq l. \end{aligned}, \quad (18)$$

(18)-shart tugun va qirra identifikatorlarining unikalligini ta'minlaydi; aks holda grafni bir qiymatli tiklash mumkin bo‘lmaydi.

Har bir qirra uchun uning ikki uchi mavjud tugunlarga bog‘langan bo‘lishi va qirra o‘z-o‘ziga qaytmasligi shart:

$$u_k \in V, \qquad v_k \in V, \qquad u_k \neq v_k, \qquad \forall e_k \in E. \quad (19)$$

(19)-shart grafda “osilib qolgan” yoki o‘z-o‘ziga bog‘langan qirralar paydo bo‘lishining oldini oladi.

Kanal uchastkalari uchun parametrik tekshirish quyidagi chegaralar bo‘yicha amalga oshiriladi:

$$\ell_k \geq 0, \qquad cap_k \geq 0, \qquad 0 < \eta_k \leq 1. \quad (20)$$

(20)-shart uzunlik va o‘tkazish qobiliyati manfiy bo‘lmasligini, samaradorlik koeffitsienti esa fizik jihatdan ma'noli oraliqda qolishini ta'minlaydi.

Topologik validatsiyaning asosiy maqsadi tarmoqning hisoblashga yaroqli yo‘naltirilgan struktura ekanini tekshirishdan iborat:

$$G \text{ — DAG}. \quad (21)$$

(21)-shart bajarilmasa, graf bo‘yicha pastdan yuqoriga talab yig‘ish yoki yuqoridan pastga suv

(cc) BY

taqsimlash kabi jarayonlar bir qiymatli bajarilmaydi. Tree rejimida esa ierarxik tuzilma (4)-formula bilan qo‘shimcha nazorat qilinadi.

$$t_j \in V_T \quad \forall r_j^D \in R_D, \qquad (22)$$

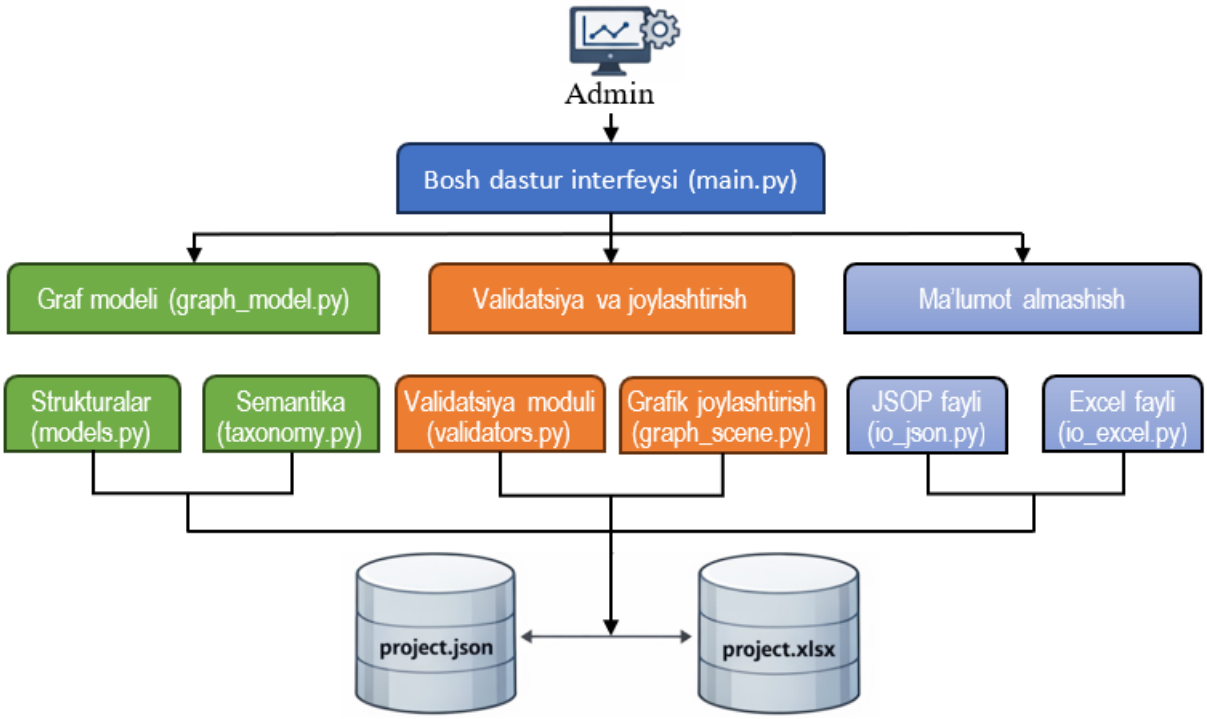
(22)-shart talab yozuvlarining faqat terminal tugunlarga bog‘lanishini ta’minlaydi, tugun va qirra tiplarining texnologik mosligi esa (8)-formuladagi semantik muvofiqlik sharti asosida tekshiriladi.

Ushbu ishda validatsiya algoritmi bosqichma-bosqich qo‘llaniladi: avval (18)–(20)-shartlar bo‘yicha sintaktik va parametrik tekshirish, keyin (21)-shart bo‘yicha topologik tekshirish, so‘ngra (8) va (22)-shartlar bo‘yicha semantik tekshirish bajariladi.

Shunday qilib, ushbu qismda taklif etilgan ma’lumotlar modeli graf nazariyasidagi abstrakt ob’ektlarni formal yozuvlarga aylantirishga xizmat qiladi, validatsiya algoritmlari esa bu yozuvlarning sintaktik, topologik va texnologik jihatdan to‘g‘ri ekanini ta’minlaydi.

2.4. Dasturiy arxitektura va sinov tartibi

Yuqorida keltirilgan graf modeli, ma’lumotlar strukturasi va validatsiya qoidalarini amaliy jihatdan tatbiq etish uchun modulli desktop dastur ishlab chiqildi. Dastur arxitekturasi graf modelini qurish, tekshirish, vizuallashtirish va tashqi fayllar bilan ma’lumot almashish jarayonlarini bir-biridan mustaqil, lekin o‘zaro bog‘langan modullar orqali amalga oshirishga asoslangan.



1-rasm. *Dasturiy arxitektura sxemasi*

Rasmda ko‘rsatilganidek, boshqaruv qatlami main.py orqali amalga oshiriladi. U foydalanuvchi interfeysini tashkil etadi va barcha funksional modullarni birlashtiradi. Graf modeli graph_model.py va models.py modullarida saqlanib, tarmoq $G = (V, E)$ ko‘rinishida boshqariladi. Tugun va qirralar semantikasi taxonomy.py orqali aniqlanadi.

Validatsiya va joylashtirish jarayonlari alohida qatlam sifatida ajratilgan. validators.py moduli (18)–(22)-shartlarni, shuningdek (8)-formuladagi semantik muvofiqlikni tekshirib, ma’lumotlar modelining sintaktik, topologik va semantik to‘g‘riligini ta’minlaydi. Grafik vizuallashtirish va interaktiv tahrirlash esa graph_scene.py orqali amalga oshiriladi.

(cc) BY

Ma'lumot almashish mexanizmi ikki formatda tashkil etilgan: io_json.py va io_excel.py modullari orqali loyiha JSON va Excel ko‘rinishida saqlanadi. Bu munosabat quyidagi ekvivalentlik bilan ifodalanadi:

$$\Psi_{json}(M) \equiv \Psi_{xlsx}(M) \equiv M . \qquad (23)$$

Dastur ishlash jarayoni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi:

$$M \xrightarrow{V} M^{*} \xrightarrow{R} G^{*} \xrightarrow{S} F , \qquad (24)$$

bu yerda M — kirish ma'lumotlari modeli, V — validatsiya, R — grafni tiklash, S — saqlash yoki eksport qilish operatorы, F — tashqi fayllar to‘plami. (24)-formula dasturning ishlash zanjirini ifodalaydi.

Sinov jarayonida project.json, project1.json, project.xlsx va project1.xlsx fayllari asosida import, validatsiya, vizual tiklash va qayta saqlash bosqichlari tekshirildi. Baholash mezonlari quyidagi to‘plam orqali belgilandi:

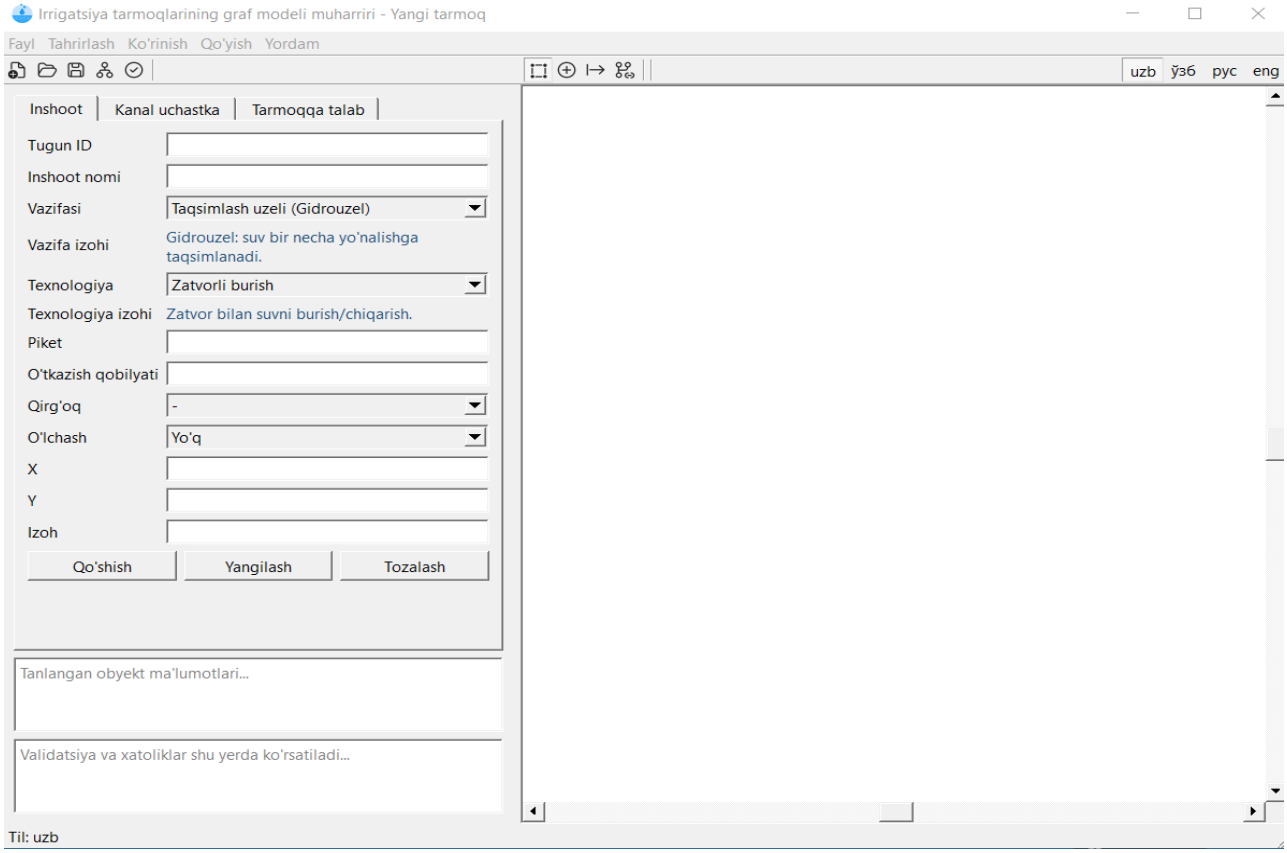
$$Q = \{q_1, q_2, q_3, q_4, q_5\}. \qquad (25)$$

Bu yerda q_1 — tiklash to‘g‘riligi, q_2 — import-eksport izchilligi, q_3 — topologik tekshirish, q_4 — semantik tekshirish, q_5 — tahrirlashdan keyin barqarorlik. Natijada dastur arxitekturasi graf modeli, ma'lumotlar strukturasi va validatsiya algoritmlarini yagona muhitda birlashtiruvchi amaliy platforma sifatida ishlashga qodir ekani tasdiqlandi.

3. TADQIQOT NATIJALARI

Taklif etilgan dasturiy vositani sinovdan o‘tkazish natijasida irrigatsiya tarmoqlarini yo‘naltirilgan graf ko‘rinishida shakllantirish, tahrirlash, saqlash, qayta yuklash va struktura jihatdan avtomatik tekshirishni yagona ishchi muhitda amalga oshirish mumkinligi tasdiqlandi. Dastur foydalanuvchiga tarmoqni oddiy sxema sifatida emas, balki keyingi hisoblash, validatsiya va ma'lumot almashish jarayonlari uchun yaroqli formal raqamli model sifatida tayyorlash imkonini beradi.

Dastur interfeysi tarmoq elementlarini funksional jihatdan ajratib ishlashga mos tarzda tashkil etilgan. Chap panelda tugunlar, qirralar va tarmoq talabi bo‘yicha kirish formalari, tanlangan ob'ekt inspektori hamda jurnal qismi joylashtirilgan, o‘ng tomonda esa grafik sahna aks ettirilgan. Interaktiv qurish, qirra qo‘shish, yon irmoq hosil qilish, avtomatik joylashtirish, ekranga moslashtirish va to‘r bo‘yicha tekislash funksiyalari tarmoqni tayyorlash jarayonini tezlashtiradi.



2-rasm. *Dastur interfeysining umumiy ko‘rinishi*

Tadqiqot jarayonida arxiv tarkibidagi ikki namunaviy loyiha asosiy sinov ob'ektlari sifatida o‘rganildi. Birinchi namunaviy loyihada 12 ta tugun va 11 ta qirra mavjud bo‘lib, qirralar tarkibida 7 ta canal_reach va 4 ta control_link aniqlandi. Ikkinchi namunaviy loyihada esa 16 ta tugun va 15 ta qirra qayd etildi; unda 8 ta canal_reach va 7 ta control_link borligi kuzatildi. Bu natijalar dastur magistral va tarmoqlanuvchi kanal uchastkalarini, shuningdek boshqaruv elementlari o‘rtasidagi texnologik bog‘lanishlarni aks ettira olishini ko‘rsatdi.

Namunaviy project.xlsx faylini tahlil qilish natijasida ma'lumotlar tuzilmasi NODES, EDGES, DEMAND va META varaqlaridan tashkil topishi aniqlandi. NODES varag‘ida tugun identifikatori, funksional turi, texnologiyasi, piketi, o‘tkazish qobiliyati va koordinatalar saqlanadi. EDGES varag‘ida qirra identifikatori, boshlang‘ich va tugal tugunlar, qirra turi, kanal turi, uchastka raqamlari, uzunlik, piketlar, samaradorlik koeffitsienti eta_e va o‘tkazish qobiliyati joylashgan.

1-jadval.

project.xlsx faylidagi asosiy ma'lumot ob'ektlari va atributlari

Varaq nomi	Asosiy atributlar	Funksional vazifasi	Namunaviy qiymat
NODES	node_id, node_function, node_technology, name, picket, capacity, bank_side, measurement_enabled, x, y, comment	Irrigatsiya tarmog‘idagi tugunlarning identifikatori, roli, texnologiyasi, piketi, o‘tkazish qobiliyati va grafik joylashuvini saqlaydi	S1, source_headworks, gravity_gated_intake, “Eski GTS”, 00+00, 280
EDGES	edge_id, from_node, to_node, edge_type, channel_type, reach_no, segment_no, name, length_m, start_picket, end_picket, eta_e, capacity	Tugunlar orasidagi kanal uchastkalari va texnologik bog‘lanishlarni, ularning uzunligi, samaradorligi va o‘tkazish qobiliyatini saqlaydi	K1, S1→G1, canal_reach, main_canal, 2300, 0.84, 280
DEMAND	scenario, decade, terminal_id, N_t_d	Terminal nuqtalar bo‘yicha ssenariy va vaqt intervali kesimidagi suv talabini kiritish uchun mo‘ljallangan	Namunaviy faylda hozircha to‘ldirilmagan
META	key, value	Loyihaning umumiy metama'lumotlarini, jumladan nomi va yaratilgan vaqtini saqlaydi	project_name = new_project, created_at = 2026-03-04T21:57:09

1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, raqamli model tuzilmasi tugunlar, qirralar, talab yozuvlari va metama'lumotlardan tashkil topgan. Bunday yondashuv tarmoq topologiyasi, ob'ekt atributlari va keyingi hisoblash uchun zarur bo‘lgan kirish ma'lumotlarini bir xil formatda saqlash imkonini beradi.

Tadqiqotning muhim natijalaridan biri avtomatik validatsiya mexanizmining amaliy samaradorligi bilan bog‘liq bo‘ldi. Dasturda tugun va qirra identifikatorlarining unikalligi, from_node va to_node maydonlarining mavjud tugunlarga ishora qilishi, o‘z-o‘ziga bog‘lanishning taqiqlanishi, canal_reach uchun (20)-formuladagi parametrik cheklovlar, shuningdek grafning DAG bo‘lishi kabi qoidalar avtomatik tekshiriladi.

(cc) BY

2-jadval.

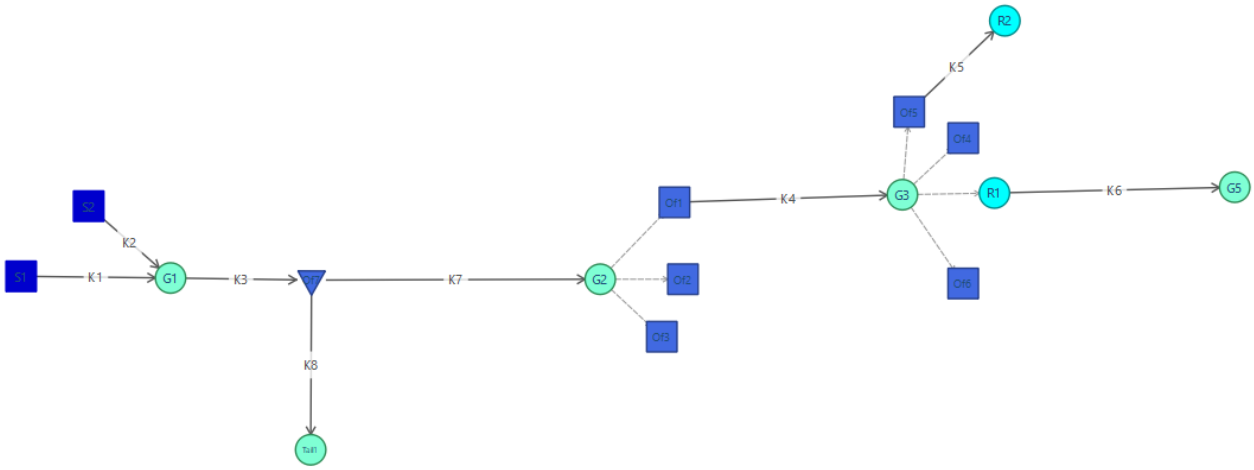
Dasturda amalga oshirilgan asosiy validatsiya qoidalari

№	Validatsiya qoidasi	Tekshiriladigan shart	Tizim reaksiyasi
1	Unikal identifikatorlar	node_id va edge_id takrorlanmasligi kerak.	Xato
2	Tugunlarga bog‘lanishning to‘g‘riligi	from_node va to_node mavjud tugunlarga ishora qilishi kerak.	Xato
3	O‘z-o‘ziga bog‘lanishni taqiqlash	Qirrada from_node = to_node bo‘lmasligi kerak.	Xato
4	Nasos jufti logikasi	pump_intake va pump_unit_node orasida faqat control_link bo‘lishi kerak.	Xato
5	Kanal parametrlari chegarasi	canal_reach uchun $0 < eta_e \leq 1$, capacity ≥ 0 va length_m ≥ 0.	Xato
6	Uchastka raqamlari	reach_no raqamli; segment_no raqamli va 1 dan katta yoki teng bo‘lishi kerak.	Xato/ogohlantirish
7	O‘lchash rejimi talabi	source_headworks, pump_intake va measurement_node uchun measurement_enabled=True bo‘lishi kerak.	Xato
8	Talab yozuvining to‘g‘riligi	DEMAND.terminal_id mavjud tugunga tegishli va field_intake_terminal bo‘lishi kerak.	Xato
9	Atsikliklik sharti	Grafda sikl bo‘lmasligi, ya’ni tarmoq DAG bo‘lishi kerak.	Xato
10	Tree rejimi talabi	Tree rejimida manbadan boshqa har bir tugun bitta upstream parent ga ega bo‘lishi kerak.	Xato
11	Rol va texnologiya mosligi	node_function va node_technology semantik jihatdan mos bo‘lishi kerak.	Xato/ogohlantirish
1	Unikal identifikatorlar	node_id va edge_id takrorlanmasligi kerak.	Xato

2-jadvalda keltirilgan qoidalar tarmoqning grafik ko‘rinishini formal raqamli modelga aylantirishda muhim ahamiyatga ega. Ushbu tekshirishlar ma’lumotlar tuzilmasidagi mantiqiy va texnologik xatolarni erta bosqichda aniqlash imkonini berdi.

Import va eksport jarayonlari bo‘yicha olingan natijalar ham amaliy ahamiyatga ega bo‘ldi. Dasturda JSON va Excel formatlari o‘rtasida ikki tomonlama ma’lumot almashinuvi yo‘lga qo‘yilgan bo‘lib, loyihani bir xil bazaviy nom asosida .json va .xlsx ko‘rinishida saqlash hamda har ikki formatdan qayta tiklash mumkin.

(cc) BY



3-rasm. *Namunaviy tarmoqning ko'rinishi*

Avtomatik joylashtirish va offtake mode funksiyalari ham amaliy jihatdan foydali ekani aniqlandi. Agar graf atsiklik bo'lsa, tugunlar qatlamli tarzda joylashtiriladi, sikl mavjud bo'lganda esa prujinaviy joylashtirish usuli qo'llaniladi; bu katta tarmoqlarda vizual tartibni saqlashga yordam beradi. Umuman, olingan natijalar taklif etilgan dasturiy vosita irrigatsiya tarmoqlarini raqamli shaklga o'tkazish, standartlashtirish va keyingi gidravlik yoki optimallashtirish modellari uchun ishonchli kirish ma'lumotlarini tayyorlashda amaliy ahamiyatga ega ekanini ko'rsatdi.

4. NATIJALAR MUHOKAMASI

Taklif etilgan dasturiy vositaning asosiy qiymati irrigatsiya tarmog'ini oddiy grafik tasvirdan formal ma'lumot modeliga o'tkazish imkonini berishida namoyon bo'ladi. Amaliyotda tarmoq sxemalari ko'pincha rasm, JSON yoki Excel jadvallari ko'rinishida saqlanadi; bunday shakllar vizual tahlil uchun qulay bo'lsa-da, avtomatik tekshirish, qayta ishlash va hisoblash modellari bilan integratsiya uchun yetarli emas. Ushbu dastur esa tugun, qirra, talab va metama'lumotlarni yagona strukturada saqlab, tarmoqni mashina o'qiy oladigan holatga keltiradi.

Olingan natijalardan ko'rinib turibdiki, taklif etilgan yondashuvning ustun tomoni umumiy grafik redaktorlardan farqli ravishda sohaviy semantikani hisobga olishidir. node_function, node_technology, canal_reach, control_link, field_intake_terminal va source_headworks kabi maxsus rol hamda texnologiyalar faqat tasviriy belgi sifatida emas, balki validatsiya ob'ekti sifatida ham qo'llaniladi. Shu sababli dastur nafaqat graf chizish vositasi, balki irrigatsiya tarmog'i uchun qoidalarga asoslangan ma'lumot tayyorlash muhiti vazifasini bajaradi.

Mazkur dasturning amaliy ahamiyati, ayniqsa, keyingi hisoblash bosqichlari nuqtai nazaridan yuqori. Raqamli graf modeli netto talabdan brutto rejaga o'tish, tarmoq bo'yicha agregatlash, samaradorlik koeffitsientlarini qo'llash, limitlash va optimal taqsimlash masalalari uchun ishonchli kirish qatlamini hosil qiladi. Boshqacha aytganda, ushbu vosita hisoblash yadrosining o'zi emas, balki gidravlik, gidrologik va optimallashtirish modellari bilan bog'lanuvchi tayyorlovchi axborot qatlami hisoblanadi.

Shu bilan birga, tadqiqot natijalari dasturning ayrim cheklovlarini ham ko'rsatdi. Joriy versiyada Sen–Venan tenglamalari asosida gidravlik hisoblash, suv sathi yoki sarf bashorati, real vaqt dispetcherlik boshqaruvi, SCADA va sensor ma'lumotlari integratsiyasi hamda LP/MILP darajasidagi taqsimot modellari hali amalga oshirilmagan. DEMAND varag'i struktura jihatdan tayyorlangan bo'lsa-da, namunaviy loyihalarda u to'ldirilmagan.

Keyingi tadqiqotlarda ushbu vositani rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari sifatida graf modeliga gidravlik parametrlar va vaqt bo'yicha talab qatorlarini bog'lash, net-to-gross hisoblash modullarini qo'shish, PostgreSQL, Django yoki Neo4j asosida markazlashgan ma'lumotlar bazasi bilan integratsiya qilish hamda telemetriya va dispetcherlik tizimlari bilan ulash

(cc) BY

mumkin. Shunday qilib, taklif etilgan dastur irrigatsiya tarmoqlarini raqamlashtirishda bazaviy, ammo strategik ahamiyatga ega bo‘lgan dasturiy bosqich sifatida baholanadi.

5. XULOSA

Ushbu ishda irrigatsiya tarmoqlarining graf modeli uchun ma'lumot tayyorlash va validatsiyalashga mo‘ljallangan dasturiy vosita taklif etildi. Dastur tarmoqni yo‘naltirilgan graf sifatida formallashtirish, semantik cheklovlarni tekshirish, JSON va Excel formatlarida saqlash hamda qayta tiklash imkonini berdi. Natijalar taklif etilgan yondashuv irrigatsiya tarmoqlarini raqamlashtirish, standartlashtirish va keyingi gidravlik yoki optimallashtirish modellari uchun ishonchli kirish ma'lumotlarini tayyorlashda samarali ekanini ko‘rsatdi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rakhimov S., Seytov A., Kudaybergenov A. Modeling and optimization of water supply processes at large pumping stations // Global and Stochastic Analysis. T. 8, № 3. C. 55–59.
2. Kabulov A., Seytov A., Kudaybergenov A. Optimal water distribution in large main canals of irrigation system // Global and Stochastic Analysis. 2021. T. 8, № 3. C. 45–53.
3. Rakhimov S., et al. Algorithms for solving the problems of optimizing water resources management on a reservoir seasonal regulation // 2021 Asia-Pacific Conference on Applied Mathematics and Statistics. Chiangmai, Thailand, 2022. C. 060023.
4. Seytov A. J., et al. Mathematical models and optimal control algorithms for channels of irrigation systems, taking into account the discreteness of water supply // Academic research in educational sciences. 2021. T. 2, № 5. C. 521–533.
5. Fan Y., et al. Water distribution and scheduling model of an irrigation canal system // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. T. 209. C. 107866.
6. Fan Y., et al. Canal water distribution optimization model based on water supply conditions // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. T. 205. C. 107565.
7. Gong Y., et al. Study on Water Quantity Allocation Optimization for Single Main Canal in Large-Scale Irrigation Area Based on DP Method // Water. 2022. T. 14, № 23. C. 3917.
8. Zeng N., et al. Nonlinear optimal control of cascaded irrigation canals with conservation law PDEs // Control Engineering Practice. 2020. T. 100. C. 104407.
9. Zhou K., et al. An optimal water distribution model for canal systems based on water level // Sci Rep. 2025. T. 15, № 1. C. 12350.
10. Qiao J., et al. Integrating Graph Data Models in Advanced Water Resource Management: A New Paradigm for Complex Hydraulic Systems // Water. 2024. T. 17, № 1. C. 3.

(cc) BY