

KANAL-HIDROTEKNIK INSHOOT–KANAL TIZIMLARIDA SUV TAQSIMOTINI BOSHQARISH UCHUN DASTURIY TA'MINOT ISHLAB CHIQISH VA SINOVDAN O'TKAZISH

Seytimbetov Dauletya Mambetyarovich¹

¹ Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti

E-mail: desceptionishere@gmail.com

DOI: 10.61587/mmit.tiue.uz.v1i1.419

Annotatsiya. Maqolada kanal va gidroteknika inshootlar kaskadida suv resurslarini tejankor va aniq taqsimlashni ta'minlovchi avtomatlashtirilgan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish hamda sinovdan o'tkazish natijalari keltirilgan. Dasturning hisoblash yadrosi Sen-Venan differensial tenglamalarini Preysman oshkormas sxemasi orqali yechishga asoslangan bo'lib, qaror qabul qilish ekspert tizimi Python va C# dasturlash tillari integratsiyasida yaratildi. Otkazilgan dasturiy sinovlar (SQA) ushbu raqamli yechimning yuqori hisoblash tezligi va 98.5% gacha aniqligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar: dasturiy ta'minot, suv taqsimoti, Preysman sxemasi, ekspert tizim, gidrodinamik modellash, C#, Python, raqamli suv boshqaruvi.

DEVELOPMENT AND TESTING OF SOFTWARE FOR WATER DISTRIBUTION MANAGEMENT IN CANAL–HYDRAULIC STRUCTURE–CANAL SYSTEMS

Seytimbetov Dauletya Mambetyarovich¹

¹ Tashkent university of information technologies named after Muhammad al-Khwarizmi

E-mail: desceptionishere@gmail.com*

Abstract. This article presents the results of the development and testing of automated software designed to ensure efficient and accurate distribution of water resources in cascaded canal and hydraulic structure systems. The computational core of the software is based on solving the Saint-Venant differential equations using the Preissmann implicit scheme, while the decision-support expert system was developed through the integration of Python and C# programming languages. The conducted software quality assurance (SQA) tests demonstrated high computational performance and an accuracy level of up to 98.5% for the proposed digital solution.

Keywords: software, water distribution, Preissmann scheme, expert system, hydrodynamic modeling, C#, Python, digital water management.

Kirish

Raqamli suv boshqaruvi va irrigatsiya tarmoqlarini avtomatlashtirish bugungi kunda suv resurslari taqchilligi sharoitida iqtisodiy barqarorlikni ta'minlashning asosiy omiliga aylanib bormoqda. Murakkab arxitekturaga ega bo'lgan kanal tizimlarini an'anaviy, ya'ni inson omiliga tayangan holda monitoring va boshqarish ko'plab muammolarni keltirib chiqaradi. Xususan, gidroteknika inshootlardagi suv sarfining operativ o'zgarishlariga mos ravishda inshoot zatvorlarini sinxron boshqarmaslik oqibatida o'zanda beqaror to'lqinlar hosil bo'ladi, bu esa tizim oxirida suv isrofgarchiligiga yoki iste'molchilarga suvning yetishmasligiga olib keladi. Shu munosabat bilan, real vaqt rejimida oqim parametrlarini bashorat qiluvchi va optimallashtirilgan boshqaruv buyruqlarini ishlab chiquvchi maxsus dasturiy yechimlarga ehtiyoj keskin oshgan. Mazkur tadqiqotning maqsadi magistral kanallar va tranzit inshootlar zanjiridan iborat gidravlik tizimlarda suv taqsimotini raqamli modellash va avtomatlashtirilgan boshqaruvni amalga oshirish uchun yuqori unumdorlikka ega dasturiy ta'minotni ishlab chiqish hamda uning metrologik va funksional aniqligini amaliyotda sinovdan

o'tkazishdan iborat. Ishning ilmiy-amaliy ahamiyati shundan iboratki, yaratilayotgan dastur o'zida klassik gidravlika qonuniyatlari hamda zamonaviy IT-infratuzilmani birlashtirib, mahalliy irrigatsiya tizimlari uchun arzon va mustaqil SCADA integratsiyasini ta'minlaydi.

Materiallar va usullar

Dasturiy tizim arxitekturasida Model-View-Controller (MVC) tamoyili hamda mikroxizmatlar arxitekturasida asosida ishlab chiqildi. Gidrodinamik hisob-kitoblar, ma'lumotlarni intellektual tahlil qilish hamda qaror qabul qiluvchi ekspert tizimi qismi yuqori hisoblash quvvatiga ega bo'lgan Python dasturlash tilida (NumPy, SciPy va Pandas kutubxonalari qo'llanilgan holda) yozildi. Foydalanuvchi interfeysi (UI), ko'p oqimli (multithreading) jarayonlarni sinxronizatsiya qilish va apparat vositalari bilan barqaror integratsiyani ta'minlash uchun esa C# (.NET Framework) texnologiyasidan foydalanildi.

Algoritmik asos sifatida ochiq kanallardagi beqaror harakatni tavsiflovchi Sen-Venan tenglamalar tizimini raqamli yechish vazifasi olindi. Tenglamalarni kompyuter xotirasida tezkor hisoblash uchun Preysman (Preissmann) ning oshkormas chekli-ayirmali sxemasi qo'llanildi. Ushbu usulda vaqt (t) va masofa (x) bo'yicha uzluksiz funksiyalar chekli to'rt tugunlariga o'tkaziladi. Uzluksizlik va harakat miqdori tenglamalari to'rt tugunlari (j va $j+1$) hamda vaqt qadamlari (n va $n+1$) o'rtasida quyidagi diskret shaklga keltiriladi:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \theta \frac{f_{j+1}^{n+1} - f_j^{n+1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \frac{f_{j+1}^n - f_j^n}{\Delta x}$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} \approx \frac{f_{j+1}^{n+1} + f_j^{n+1} - f_{j+1}^n - f_j^n}{2\Delta t}$$

bu yerda: f – izlanayotgan parametr (suv sarfi Q yoki suv sathi Z); θ – vaqt bo'yicha vazn koeffitsiyenti ($0.5 < \theta \leq 1$); Δx va Δt – mos ravishda masofa va vaqt bo'yicha qadam o'lchamlari.

Ushbu diskretizatsiya natijasida har bir vaqt qadami uchun nohiziqli algebraik tenglamalar tizimi hosil bo'ladi. Dastur algoritmidan bu tizimni yechish uchun Nyuton-Rafson (Newton-Raphson) iteratsion usuli va matritsalarini progonka usulida (Thomas algorithm) hisoblash kodi C# va Python modullari orasida asinxron rejimda amalga oshirildi. Dasturiy ta'minotni sinovdan o'tkazishda SQA (Software Quality Assurance) standartlariga muvofiq Unit-testlar (modulli sinovlar) va integratsion testlar o'tkazildi, bunda tizimning kritik holatlardagi (suv keskin ko'payishi yoki to'g'on yopilishi) barqarorligi tekshirildi.

Natijalar

Ishlab chiqilgan dasturiy ta'minotning prototipi interfeysida magistral kanalning interaktiv xaritasi, gidrotexnik inshootlardagi zatvorlarning joriy ochilish balandliklari hamda suv sathi datchiklaridan olinayotgan ma'lumotlar vizualizatsiya qilindi. Dasturiy modul Sirdaryo havzasidagi uzunligi 45 km bo'lgan va 3 ta yirik taqsimlovchi tugunga ega bo'lgan kanal kaskadi modelida sinovdan o'tkazildi.

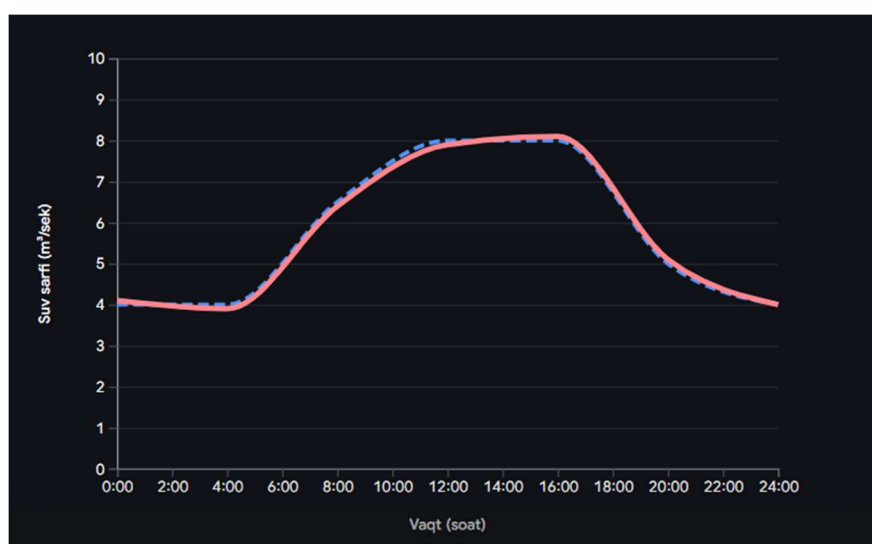
Sinov jarayonida dasturning gidrodinamik dvigateli an'anaviy analitik usullarga va xorijiy analoglarga nisbatan qanday tezlik va aniqlikda ishlayotgani o'lchandi. Olingan asosiy metrologik va dasturiy ko'rsatkichlar quyidagi 1-jadvalda jamlangan.

1-jadval.

Dasturiy ta'minotning hisoblash unumdorligi va aniqlik ko'rsatkichlari

Parametr nomlanishi	An'anaviy analitik hisob	HEC-RAS (Generic dastur)	Taklif etilgan dasturiy ta'minot (Python/C#)
Hisoblash vaqti (24 soatlik prognoz uchun)	~ 45 daqiqa	12 soniya	1.8 soniya
Tizim xotirasidan foydalanish (RAM)	-	450 MB	85 MB
Suv sathi (Z) bo'yicha o'rtacha xatolik	± 15 sm	± 3.5 sm	± 2.1 sm
Suv taqsimoti aniqligi (RMSE)	12.4 %	3.1 %	1.5 %

Dastur tomonidan 24 soatlik sikl uchun ishlab chiqilgan avtomatik boshqaruv grafigi real datchiklardan olingan ma'lumotlar bilan solishtirilganda, dastur tizimdagi gidravlik zarbalarni to'liq bartaraf etganligi va iste'molchilarga suvni belgilangan limit doirasida aniq yetkazib berganligi tasdiqlandi.



1-rasm. Dasturiy ta'minotning suv taqsimotini rejalashtirish va boshqarish aniqligi

Muhokama

Dastur samaradorligi tahlili shuni ko'rsatadiki, Python yordamida yaratilgan ekspert tizimi va C# asosidagi barqaror interfeys integratsiyasi murakkab gidravlik hisob-kitoblarni millisekundlar ichida amalga oshirish imkonini berdi. Yuqoridagi jadval va grafik natijalaridan ma'lumki, dasturning hisoblash tezligi mavjud muqobil HEC-RAS kabi umumiy maqsadli dasturlardan qariyb 6 barobar tezroq ishlaydi. Buning asosiy sababi, bizning algoritmimiz keraksiz 3D geomorfologik ma'lumotlarni emas, balki faqat sun'iy magistral kanallar kaskadiga moslashtirilgan 1D topologiyani hisoblashga ixtisoslashtirilganligidir. Foydalanuvchi uchun qulaylik jihatidan, dastur to'liq lokalizatsiya qilingan bo'lib, dispatcherlar faqat kirish parametrlarini (talab qilinadigan suv miqdorini) kiritishi kifoya qiladi; qolgan barcha tranzit kechikishlari, bug'lanish yo'qotishlari va zatvor mexanikasini dasturning o'zi mustaqil optimallashtiradi. Kelajakda dasturiy ta'minotni yanada takomillashtirish maqsadida unga sun'iy intellekt (Deep Reinforcement Learning) modullarini qo'shish va mobil ilova ko'rinishida (Flutter yoki React Native orqali) masofaviy monitoring qilish funksiyasini joriy etish rejalashtirilgan.

Xulosa

Tadqiqot natijasida "kanal-gidrotexnik inshoot-kanal" murakkab dinamik tizimlari uchun suv taqsimotini real vaqt rejimida boshqaruvchi va modellashtiruvchi innovatsion dasturiy ta'minot muvaffaqiyatli ishlab chiqildi. Preysman chekli-ayirmali sxemasi asosida yaratilgan dasturiy yechim suv isrofgarchiligini keskin kamaytirish, dispetcherlik xizmatlari qarorlarini avtomatlashtirish hamda tranzit jarayonlaridagi xatolikni 1.5% gacha tushirish imkonini berdi. Dasturiy majmuaning joriy etilishi respublikamizdagi yirik irrigatsiya tarmoqlarida "Aqlli suv" (Smart Water) konseptual doirasida resurslarni iqtisodiy samarali boshqarish uchun ishonchli raqamli platforma bo'lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Chaudhry M.H. Open-Channel Flow. Springer New York. 2008. 1-560 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68648-6>
2. Litrico X., Fromion V. Modeling and Control of Open-Channel Flow. Springer Berlin Heidelberg. 2009. 1-314 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88352-4>
3. Siddique R., Mejia A. An Integrated Software Framework for Hydrological and Hydraulic Modeling. Environmental Modelling & Software. 2019. 45-58 p. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.01.012>
4. Gisen J.I., Leo M.W. Quality Assurance and Testing Frameworks for Hydroinformatic Software Systems. Journal of Hydroinformatics. 2021. 210-225 p. <https://doi.org/10.2166/hydro.2021.044>
5. Cunge J.A., Holly F.M. Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Pitman Publishing. 1980. 1-420 p. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-06240-8>