

UO‘K 628.14:519.87

SUV TAQSIMLASH TARMOG‘INING GIDRAVLIK MODELINI DALA O‘LCHOVLARI ASOSIDA KALIBRLASH METODIKASI

Rahimov Ashraf Rasul o‘g‘litexnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD), professor,
Iqtisodiyot va pedagogika universiteti (Qarshi)**Murodullayev Javoxir Raxmatillo o‘g‘li**Tayanch doktorant,
Irrigatsiya va suv muammolari ilmiy-tadqiqot instituti (Toshkent)

ANNOTATSIYA

Maqolada birlamchi ma‘lumotlari to‘liq bo‘lmagan shahar suv taqsimlash tarmoqlari uchun gidravlik modelni dala o‘lchovlari asosida kalibrlashning olti bosqichli metodikasi taklif etilgan va u Qarshi shahri tarmog‘ida sinovdan o‘tkazilgan. Metodika uchta o‘zaro bog‘liq o‘lchov turini birlashtiradi: sakkiz nuqtada bosimning yetti sutkalik uzluksiz yozuvi, ajratilgan zonada minimal tungi sarfni (MNF) aniqlash va bosim bosqichlari bo‘yicha tungi sinov. O‘lchovlar 2025-yil 5-12-oktabr kunlarida bajarildi. Tarmoq bo‘yicha o‘rtacha bosim 41,5 m ni, maksimal bosim past zonada 57,7 m ni tashkil etdi; sutkalik tebranish bosh nasos stansiyalari chiqishida 5 m atrofida, past zonalarda esa 14-17 m ga yetdi. Minimal tungi sarf 27,1 m³/soatga teng bo‘lib, undan fizik yo‘qotish 25,1 m³/soat yoki bir ulanishga soatiga 20,9 litr ajratildi. Logarifmik koordinatalardagi regressiya bo‘yicha bosim-yo‘qotish ko‘rsatkichi $N_1 = 1,205 \pm 0,037$ ($R^2 > 0,998$) aniqlandi. Model kalibrlangandan so‘ng o‘rtacha kvadratik xatolik 7,49 m dan 0,56 m gacha kamaydi, barcha qoldiqlar ± 1 m koridoridan chiqmadi.

Kalit so‘zlar: gidravlik model, kalibrlash, dala o‘lchovlari, bosim data-loggeri, minimal tungi sarf, FAVAD, N_1 ko‘rsatkichi, RMSE, EPANET, Qarshi shahri.

АННОТАЦИЯ

В статье предложена шестиступенчатая методика калибровки гидравлической модели городской водораспределительной сети по данным натурных измерений, апробированная на сети города Карши в условиях неполноты исходных данных. Методика объединяет три взаимосвязанных вида измерений: семисуточную непрерывную запись давления в восьми точках, определение минимального ночного расхода (MNF) в изолированной зоне и ночное ступенчатое испытание по давлению. Измерения выполнены 5-12 октября 2025 года. Среднее давление по сети составило 41,5 м, максимальное в нижней зоне - 57,7 м; суточные колебания на выходе головных насосных станций - около 5 м, в нижних зонах - 14-17 м. Минимальный ночной расход равен 27,1 м³/ч, из которого выделены физические потери 25,1 м³/ч, или 20,9 л

на присоединение в час. По регрессии в логарифмических координатах получен показатель $N_1 = 1,205 \pm 0,037$ ($R^2 > 0,998$). После калибровки среднеквадратичная ошибка снизилась с 7,49 м до 0,56 м.

Ключевые слова: гидравлическая модель, калибровка, натурные измерения, регистратор давления, минимальный ночной расход, FAVAD, показатель N_1 , RMSE, EPANET, город Карши.

ABSTRACT

The paper proposes a six-stage methodology for calibrating the hydraulic model of an urban water distribution network from field measurements, and tests it on the Karshi city network under conditions of incomplete input data. The methodology combines three interrelated measurement types: seven-day continuous pressure logging at eight points, minimum night flow (MNF) measurement in an isolated zone, and a night-time stepped pressure test. Measurements were carried out on 5-12 October 2025. The network-average pressure was 41.5 m and the maximum pressure in the low zone 57.7 m; the daily fluctuation was about 5 m at the outlets of the head pumping stations and 14-17 m in the low zones. The minimum night flow was 27.1 m³/h, from which a physical loss of 25.1 m³/h, or 20.9 litres per connection per hour, was separated. Regression in logarithmic coordinates yielded a pressure-leakage exponent $N_1 = 1.205 \pm 0.037$ ($R^2 > 0.998$). After calibration the root-mean-square error fell from 7.49 m to 0.56 m, with all residuals inside a ± 1 m band.

Keywords: hydraulic model, calibration, field measurements, pressure logger, minimum night flow, FAVAD, N_1 exponent, RMSE, EPANET, Karshi city.

KIRISH

Shahar suv taqsimlash tarmog'ining gidravlik modeli bosim rejimini boshqarish, yo'qotishlarni kamaytirish va rekonstruksiya variantlarini asoslashning asosiy vositasidir. Biroq model faqat u haqiqiy tarmoqning holatini yetarli aniqlikda aks ettirgandagina qaror qabul qilish uchun yaroqli bo'ladi. Bu esa kalibrlash - model parametrlarini o'lgan qiyomatlariga moslashtirish - jarayonini talab etadi [1-3].

Kalibrlash muammosi klassik ishlarda batafsil o'rganilgan. T.M. Walski model parametrlarini bosqichma-bosqich sozlash usulini taklif etgan [1], L.E. Ormsbee va D.J. Wood oshkora kalibrlash algoritmini ishlab chiqqan [2], K.E. Lansey va C. Basnet esa masalani parametrlarni baholashning umumiy masalasi sifatida qo'ygan [3]. Z.S. Kapelan va hammualliflari Bayes yondashuvini qo'llab, kalibrlash natijasining noaniqligini miqdoriy baholash imkonini bergan [4]. A. Ostfeld boshchiligidagi xalqaro «Battle of the Water Calibration Networks» tanlovi turli kalibrlash usullarini yagona ma'lumotlar to'plamida taqqoslab, natija sifatini belgilovchi asosiy omil - algoritmi emas, balki o'lchov ma'lumotlarining hajmi va sifati ekanligini ko'rsatdi [5].

Rivojlanayotgan mamlakatlarning eskirgan tarmoqlarida vaziyat murakkablashadi: abonentlar hisoblagichlari to'liq emas, tarmoqning raqamli xaritasi to'liq atributlarga ega bo'lmaydi, telemetriya esa ko'pincha umuman yo'q. Bunday sharoitda kalibrlash uchun zarur ma'lumotni faqat maqsadli dala o'lchovlari berishi mumkin. Bundan tashqari, yo'qotishlari yuqori tarmoqlarda talabni bosimdan mustaqil deb hisoblash mumkin emas: oqib chiqishlar bevosita bosimga bog'liq bo'lgani uchun model bosimga bog'liq talab (Pressure-Dependent Demand, PDD) rejimida qurilishi va yo'qotishlar FAVAD kontseptsiyasiga muvofiq darajali funksiya bilan ifodalanishi kerak [6-8].

Mazkur maqolaning maqsadi - kam ma'lumotli sharoitda ishlaydigan hududiy suv ta'minoti korxonalari uchun amaliy jihatdan qo'llanilishi mumkin bo'lgan, uchta o'lchov turini birlashtiruvchi kalibrlash metodikasini bayon etish va uni Qarshi shahri tarmog'i misolida sinovdan o'tkazishdir. Metodikaning o'ziga xosligi shundaki, u modelning geometrik va gidravlik parametrlarini emas, balki bosim-yo'qotish bog'liqligining ko'rsatkichini ham eksperimental aniqlaydi va shu bilan kalibrlash natijasini adabiyotdan olingan taxminiy qiymatlarga bog'liqlikdan xalos qiladi.

Tadqiqot obyekti va metodika

Tadqiqot obyekti - Qarshi shahri markazlashtirilgan ichimlik suv taqsimlash tarmog'i. Tarmoqning umumiy uzunligi 361,2 km, u 4 516 ta segmentdan iborat; shaharga sutkasiga o'rtacha 72,5 ming m³ suv uzatiladi, aholi soni 321,7 ming kishi. Relyef sezilarli notekis: o'lchov nuqtalarining geodezik balandliklari 373,5 m dan 394,9 m gacha o'zgaradi.

Taklif etilayotgan metodika olti bosqichdan iborat bo'lib, uning sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Metodikaning mantiqiy asosi quyidagicha: bosimning fazoviy va vaqt bo'yicha taqsimoti modelning geometrik va gidravlik parametrlarini sozlash uchun, minimal tungi sarf esa yo'qotishlarning fizik qismini ajratish va emitterlar koeffitsiyentini baholash uchun ma'lumot beradi; tungi bosim sinovi esa bu ikki ma'lumot to'plamini bog'lovchi N₁ ko'rsatkichini aniqlaydi.

Dala o'lchovlari va gidravlik modelni kalibrlash metodikasining bosqichlari

Qarshi shahri suv taqsimlash tarmog'i, 2025-yil 5-12-oktabr

1-bosqich. Tayyorgarlik

tarmoq sxemasi va relyef tahlili · 8 ta o'lchov nuqtasini tanlash · asboblarni kalibrlash va soatlarni yagona manbaga sinxronlash

2-bosqich. Bosimning uzluksiz yozuvi

0-16 bar diapazonli data-loggerlar · 5 daqiqalik qadam, 7 sutka · har bir nuqtada 2 016 ta yozuv · balandliklar GPS bilan aniqlanadi

3-bosqich. Minimal tungi sarf (MNF)

«Shayxali» zonasi — 1 200 ulanish · ultratovushli sarf o'lchagich · 01:00-05:00 oralig'ida 30 daqiqalik qadam, uch kecha takrorlanadi

4-bosqich. Bosim bosqichlari bo'yicha tungi sinov

AZP 45 m dan 30 m gacha, to'rt bosqich · har bosqich 40 daqiqa · kritik nuqta uzluksiz nazorat qilinadi · oxirida rejim tiklanadi

5-bosqich. Ma'lumotlarni qayta ishlash

$Q_{qon} = 1,7 \text{ l/ulanish-soat}$ · $L = MNF - Q_{qon}$ · $\ln L - \ln P$ koordinatalarida chiziqli regressiya → N_1 va uning xatoligi

6-bosqich. Gidravlik modelni kalibrlash

EPANET 2.2 / WNTR, PDD rejimi, emitter eksponenti $N_1 = 1,205$ · a_R va a_C parametrlari RMSE minimal bo'lguncha sozlanadi

Natija: kalibrlangan gidravlik model (RMSE = 0,56 m) va eksperimental $N_1 = 1,205 \pm 0,037$

1-rasm. Dala o'lchovlari va gidravlik modelni kalibrlash metodikasining bosqichlari

Modelning adekvatligini miqdoriy baholash uchun o'lchangan va hisoblangan bosimlar orasidagi o'rtacha kvadratik xatolikdan foydalanildi:

$$RMSE = \sqrt{(\sum (P_{o,i} - P_{h,i})^2 / n)} \quad (1)$$

bu yerda: $P_{o,i}$ - i-o'lchov nuqtasidagi o'lchangan bosim, m; $P_{h,i}$ - o'sha nuqtadagi hisoblangan bosim, m; n - o'lchov nuqtalari soni.

Fizik yo'qotish minimal tungi sarfdan qonuniy tungi iste'molni ayirish yo'li bilan aniqlanadi:

$$L = MNF - Q_{qon}, \quad Q_{qon} = q_u \cdot N_u \quad (2)$$

bu yerda: MNF - minimal tungi sarf, m³/soat; q_u - bitta ulanishga to'g'ri keladigan qonuniy tungi iste'mol me'yori (xalqaro amaliyotda 1,7 l/ulanish-soat); N_u - zonadagi ulanishlar soni.

Bosim va oqib chiqish orasidagi bog'liqlik FAVAD kontseptsiyasiga muvofiq darajali funksiya bilan ifodalanadi, uning ko'rsatkichi esa logarifmik koordinatalardagi chiziqli regressiya bo'yicha topiladi:

$$L = C \cdot P^{N_1} \rightarrow \ln L = \ln C + N_1 \cdot \ln P \quad (3)$$

Tarmoqning gidravlik modeli EPANET 2.2 hisoblash yadrosi asosida, Python muhitidagi WNTR kutubxonasi yordamida qurildi [9, 10]; yo'qotishlar har bir tugunga qo'shilgan emitterlar orqali, eksponenti N_1 ga teng deb modellashirildi. Kalibrlashda ikki sozlash parametri - quvur g'adir-budurligi ko'paytuvchisi a_R va tugun yo'qotish koeffitsiyenti ko'paytuvchisi a_C - (1) ifodadagi RMSE minimal bo'lguncha avtomatik sozlandi.

O'lchov asboblari sifatida o'lchov oralig'i 0-16 bar bo'lgan bosim data-loggerlari (yozuv qadami 5 daqiqa), zona kirishida ultratovushli oqim o'lchagich va bosim datchigi, geodezik balandliklarni aniqlash uchun GPS qabul qilgichi ishlatildi. Barcha

asboblarning soati yagona manbaga sinxronlandi, bu turli nuqtalardagi yozuvlarni bir vaqt shkalasiga keltirish imkonini berdi.

Natijalar va ularning tahlili

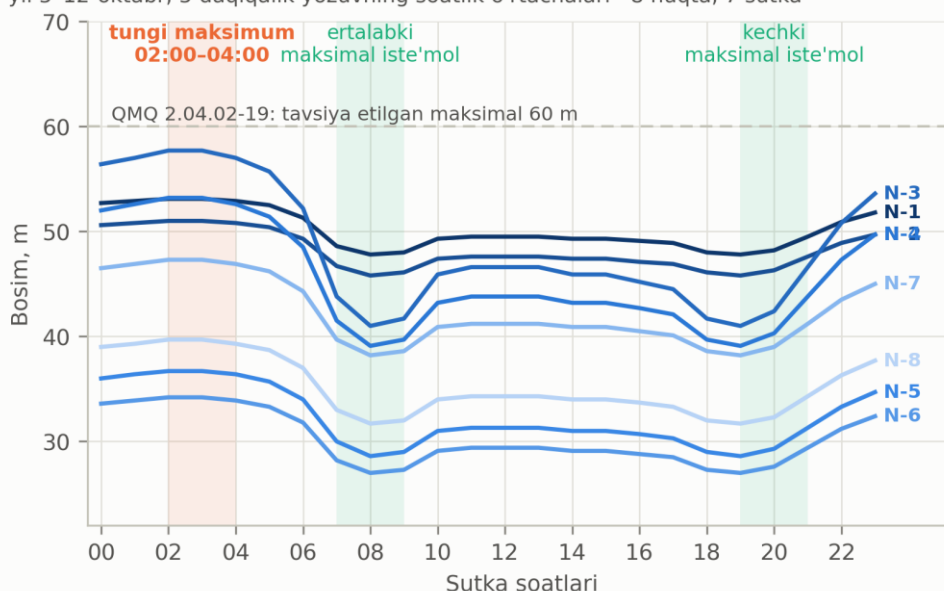
Bosimning fazoviy va sutkalik taqsimoti. Yetti sutka davomida har bir nuqtada 2 016 ta yozuv qayd etildi; umumiy hajm 16 128 ta o'lchovni tashkil etdi. Nuqtalarning tavsifi va olingan bosim ko'rsatkichlari 1-jadvalda, bosimning sutkalik o'zgarishi esa 2-rasmda keltirilgan.

1-jadval. Dala o'lchovlari nuqtalarining tavsifi va olingan bosim ko'rsatkichlari

N _o	O'lchov nuqtasi	Geodezik balandlik, m	P _{min} , m	P _{max} , m	P _{o'rt} , m	ΔP, m
N-1	3-podyom Nasos-2 chiqishi	373,5	47,8	53,1	50,1	5,3
N-2	3-podyom Nasos-1 chiqishi	376,4	45,8	51,0	48,2	5,2
N-3	«Shayxali» — past zona	374,8	41,0	57,7	48,5	16,7
N-4	«Temiryo'lchi» — past zona	379,2	39,1	53,2	45,4	14,1
N-5	«Paxtazor» — yuqori zona	392,6	28,6	36,7	32,2	8,1
N-6	Kritik nuqta	394,9	27,0	34,2	30,2	7,2
N-7	Magistral oraliq tugun	381,0	38,2	47,3	42,3	9,1
N-8	Rezervuar chiqishi	389,4	31,7	39,7	35,2	8,0
	Tarmoq bo'yicha	373,5-394,9	27,0	57,7	41,5	—

O'lchov nuqtalaridagi bosimning sutkalik o'zgarishi

2025-yil 5-12-oktabr, 5 daqiqalik yozuvning soatlik o'rtachalari · 8 nuqta, 7 sutka



2-rasm. O'lchov nuqtalaridagi bosimning sutkalik o'zgarishi (2025-yil oktabr)

Jadval va rasmdan uchta muhim xulosa kelib chiqadi. Birinchidan, tarmoqdagi o'rtacha bosim 41,5 m ni tashkil etadi. Ikkinchidan, maksimal bosim past zonada tungi soatlarda 57,7 m ga yetadi, ya'ni QMQ 2.04.02-19 tavsiya etadigan 60 m chegarasiga yaqinlashadi [11] - bu ortiqcha bosimning mavjudligini bevosita hujjatlashtiradi. Uchinchidan, sutkalik tebranish ΔP nuqtaga qarab keskin farq qiladi:

bosh nasos stansiyalari chiqishida atigi 5 m atrofida bo'lsa, past zonalarda 14-17 m ga yetadi. Aynan shu farq past zonalarda bosimni rostlovchi klapan (PRV) o'rnatish zaruriyatini eksperimental asoslaydi [12, 13]. Nuqtalarning geodezik balandliklari va o'lchangan bosimlari o'zaro izchil: gidravlik chiziq barcha nuqtada 423-425 m oralig'ida bo'lib, farq magistral bo'ylab napor yo'qotilishiga to'g'ri keladi - bu o'lchovlarning ichki uyg'unligini tasdiqlaydi.

Minimal tungi sarf va N_1 ko'rsatkichi. MNF ni aniqlash uchun «Shayxali» hududidagi 1 200 ta ulanishni qamrab oluvchi zona tanlandi va gidravlik jihatdan izolyatsiyalandi. Uch kecha davomida 01:00-05:00 oralig'ida sarf 30 daqiqalik qadam bilan qayd etildi. Minimal tungi sarf har uchala kechada 03:00 atrofiga to'g'ri keldi va 26,8-27,4 m³/soat oralig'ida bo'ldi. (2) ifodaga muvofiq qonuniy tungi iste'mol 2,04 m³/soatni tashkil etadi; demak fizik yo'qotish o'rtacha 25,1 m³/soatga, ya'ni bir ulanishga soatiga 20,9 litrga teng. Bu ko'rsatkich xalqaro amaliyotda yuqori hisoblanadigan 10 l/ulanish·soat chegarasidan ikki barobar katta [14].

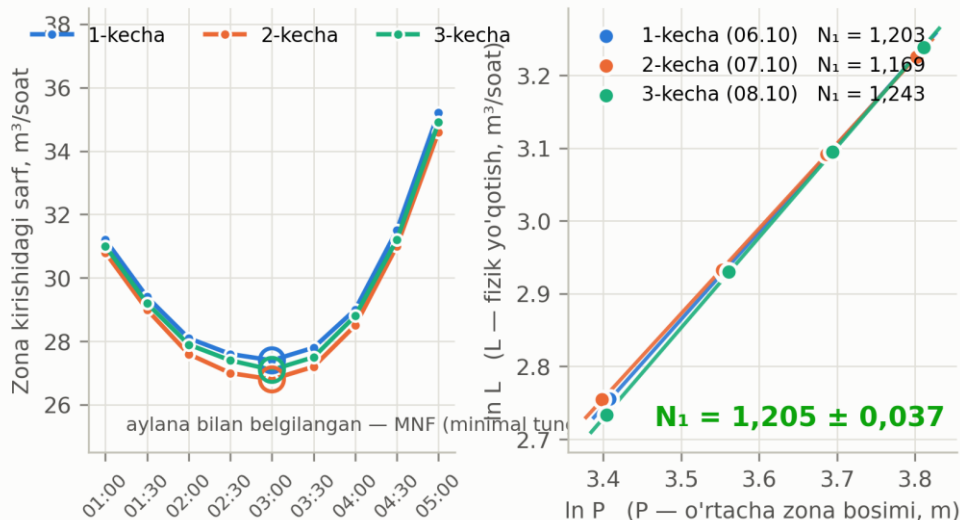
N_1 ni aniqlash uchun har kecha zona kirishidagi bosim to'rt bosqichda pasaytirildi. Har bir bosqichda bosim gidravlik zarbaning oldini olish uchun 5-10 daqiqa davomida sekin o'zgartirilib, so'ng 20-30 daqiqa barqarorlashtirildi va oxirgi 15-20 daqiqaning o'rtacha qiymatlari qayd etildi. O'rtacha zona bosimi 45 m dan 30 m gacha tushirildi; kritik nuqtadagi bosim ruxsat etilgan minimal napordan past tushmasligi uzluksiz nazorat qilindi. Har bir kecha oxirida rejim tiklanib, sarfning boshlang'ich qiymatga qaytgani tekshirildi. Birinchi kecha natijalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. N_1 ni aniqlash bo'yicha tungi sinov natijalari (1-kecha, 2025-yil 6-oktabr)

Bosqich	Vaqt	P kirish, m	P AZP, m	P kritik, m	Q, m ³ /soat	L = Q – Q _{qon} , m ³ /soat	Oraliq N_1
0 — asos	01:00–01:40	52,0	45,0	36,0	27,40	25,36	—
1	01:40–02:20	46,8	40,1	31,1	24,18	22,14	1,192
2	02:20–03:00	41,0	35,0	26,0	20,72	18,68	1,215
3	03:00–03:40	35,4	30,2	21,2	17,77	15,73	1,199
4 — nazorat	03:40–04:20	52,1	45,1	36,1	27,45	25,41	tiklandi

Minimal tungi sarf va N_1 ko'rsatkichini eksperimental aniqlash

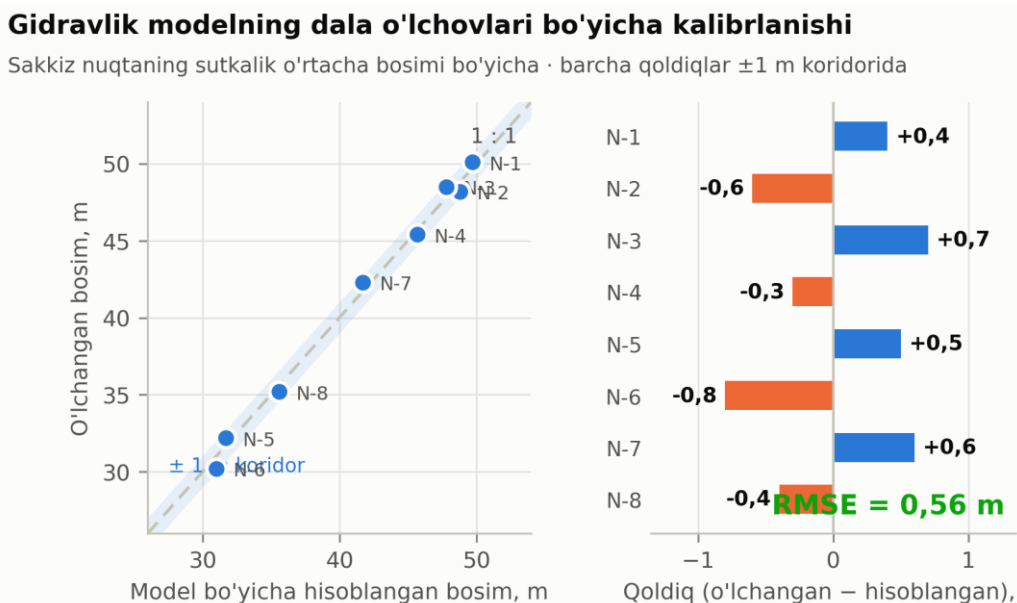
Zona «Shayxali», 1 200 ulanish · 6-8.10.2025 · qonuniy tungi iste'mol 2,04 m³/soat ayirilgan



3-rasm. Minimal tungi sarf va N_1 ko'rsatkichini eksperimental aniqlash: chapda - tungi sarfning o'zgarishi, o'ngda - logarifmik koordinatalardagi regressiya

(3) ifodaga muvofiq logarifmik koordinatalarda qurilgan chiziqli regressiya bo'yicha uch kecha uchun N_1 ning qiymatlari mos ravishda 1,203; 1,169 va 1,243 ni tashkil etdi; determinatsiya koeffitsiyenti barcha holatda $R^2 > 0,998$ bo'ldi. Yakuniy natija $N_1 = 1,205 \pm 0,037$ ga teng. Olingan qiymat birdan sezilarli yuqori bo'lib, bu tarmoqda polietilen quvurlar va bo'ylama yoriqlarning ustunligini ko'rsatadi: bunday teshiklar bosim ortganda elastik ravishda kengayadi va oqim klassik teshik formulasidagi $P^{0,5}$ emas, balki undan ancha tez ortadi [7, 8].

Modelni kalibrlash natijalari. Aniqlangan N_1 qiymati emitter eksponenti sifatida modelga kiritilgandan so'ng a_R va a_C parametrlari (1) ifodadagi RMSE minimal bo'lguncha sozlandi. Kalibrlash natijasida boshlang'ich RMSE = 7,49 m dan yakuniy RMSE = 0,56 m gacha kamaydi; sozlash parametrlari $a_R = 0,84$ va $a_C = 1,58$ qiymatlarini oldi. Qoldiqlarning eng kattasi 0,8 m ni tashkil etib, barcha sakkiz nuqtada ± 1 m koridoridan chiqmadi (4-rasm). $a_C > 1$ bo'lishi modelga dastlab kiritilgan yo'qotish koeffitsiyentlari haqiqiy qiymatdan past baholanganini, $a_R < 1$ esa quvurlarning gidravlik qarshiligi taxmin qilinganidan biroz kichik ekanligini bildiradi.



4-rasm. Gidravlik modelning dala o'lchovlari bo'yicha kalibrlanishi: chapda - o'lchangan va hisoblangan bosimlarning taqqoslanishi, o'ngda - qoldiqlar

Muhokama

Olingan $N_1 = 1,205$ qiymati xalqaro tadqiqotlar natijalari bilan yaxshi mos keladi. A.O. Lambert real tarmoqlar uchun N_1 ning odatiy oralig'i 0,5-2,5 ekanligini, aralash materialli tarmoqlar uchun esa 1,0 ga yaqin qiymatlar xarakterli ekanligini ko'rsatgan [6]. J.E. van Zyl va A.M. Cassa elastik deformatsiyalanuvchi yoriqlar uchun N_1 ning 1,5 gacha ko'tarilishini nazariy asoslaganlar [7]. Bizning natijamiz shu oraliqning o'rta qismida joylashgan, bu esa Qarshi tarmog'ida ham qattiq (metall quvurlardagi teshiklar), ham elastik (polietilen quvurlardagi bo'ylama yoriqlar) yo'qotish yo'llarining birgalikda mavjudligini bildiradi.

Metodikaning muhim amaliy natijasi shundaki, u korxona hisobotidagi yo'qotish darajasi bilan suv balansi bo'yicha hisoblangan qiymat orasidagi ziddiyatni hal qiladi. Qarshi shahri bo'yicha korxona hisoboti 31 % yo'qotishni ko'rsatadi, hisobga olingan sotuv hajmi bo'yicha hisoblangan daromadsiz suv (NRW) darajasi esa 59,3 % ga teng. Minimal tungi sarf tahlili yo'qotishning fizik qismini bevosita o'lchash imkonini berdi: u zona darajasida umumiy tungi sarfning 92,5 % ini tashkil etadi. Bu korxona hisobotidagi 31 % aynan fizik yo'qotishni ifodalashini, qolgan qismi esa hisob-o'lchov tizimidagi kamchiliklar bilan bog'liq tijoriy yo'qotish ekanligini tasdiqlaydi. Bunday ajratish muhim, chunki fizik va tijoriy yo'qotishlar mutlaqo turli chora-tadbirlarni talab qiladi: birinchisi bosimni boshqarish va tarmoqni ta'mirlashni, ikkinchisi esa hisoblagichlarni almashtirish va hisob-kitob tizimini tartibga solishni [14, 15].

Metodikaning cheklovlari quyidagilardan iborat. Birinchidan, sakkizta o'lchov nuqtasi 361 km uzunlikdagi tarmoq uchun minimal to'plam hisoblanadi; nuqtalar sonini oshirish kalibrlash aniqligini yanada yaxshilaydi, biroq amalda asboblarning soni

bilan cheklanadi. Ikkinchidan, N_1 bitta zonada aniqlangan va butun tarmoq uchun bir xil deb qabul qilingan; turli zonalarda quvur materiali tarkibi farq qilgani bois bu soddalashtirish ma'lum xatolik kiritadi. Uchinchidan, kalibrlash barqaror rejim uchun bajarilgan; o'tkinchi jarayonlar hisobga olinmagan. Kelgusi tadqiqotlarda N_1 ni har bir bosim zonasi uchun alohida aniqlash va kalibrlash natijasining noaniqligini Bayes yondashuvi bilan baholash ko'zda tutilgan [4].

Xulosalar

1. Kam ma'lumotli sharoitda ishlaydigan shahar suv taqsimlash tarmoqlari uchun uchta o'lchov turini - bosimning uzluksiz yozuvi, minimal tungi sarf va bosim bosqichlari bo'yicha tungi sinovni - birlashtiruvchi olti bosqichli kalibrlash metodikasi taklif etildi va Qarshi shahri tarmog'ida sinovdan o'tkazildi.

2. O'lchovlar tarmoqdagi o'rtacha bosim 41,5 m ni, past zonadagi maksimal tungi bosim esa 57,7 m ni tashkil etishini ko'rsatdi. Sutkalik tebranishning zonalar bo'yicha keskin farqi (bosh stansiyalarda 5 m, past zonalarda 14-17 m) bosimni rostlovchi klapanlar o'rnatish zaruriyatini eksperimental asoslaydi.

3. Minimal tungi sarf 27,1 m³/soat, undan ajratilgan fizik yo'qotish 25,1 m³/soat yoki bir ulanishga soatiga 20,9 litrga teng bo'lib, xalqaro amaliyotdagi yuqori chegaradan ikki barobar katta.

4. Bosim-yo'qotish ko'rsatkichi eksperimental yo'l bilan $N_1 = 1,205 \pm 0,037$ ($R^2 > 0,998$) qiymatida aniqlandi. Bu adabiyotda aralash materialli tarmoqlar uchun keltirilgan qiymatlar bilan mos keladi va model natijalarini taxminiy qiymatlarga bog'liqlikdan xalos qiladi.

5. Kalibrlash natijasida o'rtacha kvadratik xatolik 7,49 m dan 0,56 m gacha kamaydi va barcha qoldiqlar ± 1 m koridorida qoldi. Bu model tarmoqning haqiqiy gidravlik holatini bosim rejimini boshqarish variantlarini hisoblash uchun yetarli aniqlikda ifodalashini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Walski T.M. Technique for calibrating network models // Journal of Water Resources Planning and Management. - 1983. - Vol. 109, No. 4. - P. 360-372. - DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1983)109:4(360)
2. Ormsbee L.E., Wood D.J. Explicit pipe network calibration // Journal of Water Resources Planning and Management. - 1986. - Vol. 112, No. 2. - P. 166-182. - DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1986)112:2(166)
3. Lansey K.E., Basnet C. Parameter estimation for water distribution networks // Journal of Water Resources Planning and Management. - 1991. - Vol. 117, No. 1. - P. 126-144. - DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1991)117:1(126)
4. Kapelan Z.S., Savic D.A., Walters G.A. Calibration of water distribution hydraulic models using a Bayesian-type procedure // Journal of Hydraulic Engineering. - 2007. - Vol. 133, No. 8. - P. 927-936.

5. Ostfeld A., Salomons E., Ormsbee L. et al. Battle of the water calibration networks // Journal of Water Resources Planning and Management. - 2012. - Vol. 138, No. 5. - P. 523-532. - DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000191
6. Lambert A.O. What do we know about pressure:leakage relationships in distribution systems? // Proceedings of the IWA Conference «System Approach to Leakage Control and Water Distribution Systems Management». - Brno: IWA, 2001.
7. van Zyl J.E., Cassa A.M. Modeling elastically deforming leaks in water distribution pipes // Journal of Hydraulic Engineering. - 2014. - Vol. 140, No. 2. - P. 182-189. - DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000813
8. Schwaller J., van Zyl J.E. Modeling the pressure-leakage response of water distribution systems based on individual leak behavior // Journal of Hydraulic Engineering. - 2015. - Vol. 141, No. 5. - Art. 04014089. - DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000984
9. Rossman L., Woo H., Tryby M., Shang F., Janke R., Haxton T. EPANET 2.2 User Manual. EPA/600/R-20/133. - Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2020.
10. Klise K.A., Bynum M., Moriarty D., Murray R. A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study // Environmental Modelling & Software. - 2017. - Vol. 95. - P. 420-431. - DOI: 10.1016/j.envsoft.2017.06.022
11. QMQ 2.04.02-19. Suv ta'minoti. Tashqi tarmoqlar va inshootlar. - Toshkent: O'zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi, 2019.
12. Vicente D.J., Garrote L., Sánchez R., Santillán D. Pressure management in water distribution systems: current status, proposals and future trends // Journal of Water Resources Planning and Management. - 2016. - Vol. 142, No. 2. - Art. 04015061. - DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000589
13. Araujo L.S., Ramos H., Coelho S.T. Pressure control for leakage minimisation in water distribution systems management // Water Resources Management. - 2006. - Vol. 20, No. 1. - P. 133-149. - DOI: 10.1007/s11269-006-4635-3
14. Alkassseh J.M.A., Adlan M.N., Abustan I. et al. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: a case study in Kinta Valley, Malaysia // Water Resources Management. - 2013. - Vol. 27, No. 5. - P. 1439-1455. - DOI: 10.1007/s11269-012-0247-2
15. Al-Washali T., Sharma S., Kennedy M. Methods of assessment of water losses in water supply systems: a review // Water Resources Management. - 2016. - Vol. 30, No. 14. - P. 4985-5001. - DOI: 10.1007/s11269-016-1503-7