



Article

“SMART CHANNEL” QURILMASINI KALIBRLASH USLUBIYOTI.

M.Y.Otaxonov^{1*} , I.B.Zokirov² , A.A.Azizov³ , X.A.Azizov⁴ , A.A.Arifjanov⁴ 

¹ Gidravlika va gidrometriya laboratoriyasi, “Smart Solution System” MCHJ, Toshkent, 100000, Uzbekistan

² Gidravlika va gidroinformatika kafedrası, “TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, 100000, Uzbekistan

³ Toshkent davlat transport universiteti, Toshkent, 100000, Uzbekistan

⁴ “O‘zbekiston Milliy Metrologiya Instituti” Davlat Muassasasi, Toshkent, 100000, Uzbekistan
maksud.otakhonov@bk.ru (M.O.), ilhomjonzokirov1@gmail.com (I.Z.), abdukhamid1961@gmail.com (A.A.),
xurshidazizov002@gmail.com (X.A.), alisher@nim.uz (A.A.)

* Correspondence: ilhomjonzokirov1@gmail.com; Tel.: +99894 673-79-39 (I.Z.)

Annotatsiya: Ushbu maqolada ochiq o‘zanlarda suv sarfini o‘lchashga mo‘ljallangan “Smart Channel” qurilmasining laboratoriya sharoitida metrologik ko‘rsatkichlarini baholash va kalibrlash metodikasi yoritilgan. Tadqiqot obyekti sifatida balandligi va eni 80×80 sm bo‘lgan qurilma namunasi tanlandi. Tajribalar Toshkent viloyati Quyi Chirchiq tumanidagi “Smart Solutions System” MCHJning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi. Qurilma tezlik–maydon usuli asosida ishlaydi, ya‘ni suv sarfi oqimning o‘rtacha tezligi va tirik kesim yuzasi orqali aniqlanadi. Oqim tezligi 8 qatorga joylashtirilgan jami 32 ta ultratovushli datchik yordamida qatlamlar bo‘yicha qayd etiladi va umumiy o‘rtacha tezlik hisoblanadi. Tadqiqot davomida qurilmaning maksimal suv o‘tkazish qobiliyati, elektromagnit etalon suv sarfini o‘lchash vositasi va hajmiy usul bilan solishtirishdagi xatoliklari aniqlandi. Dastlabki sinovlarda maksimal suv sarfi 799,23 l/s bo‘lib, xatoliklar 5,98 % dan 14,30 % gacha yetdi. Bu holat yuqori sarf rejimlarida qurilmaning boshlang‘ich hisoblash algoritmini takomillashtirish zarurligini ko‘rsatdi. Shu sababli etalon va hajmiy usul natijalari asosida kalibrlash koeffitsienti ishlab chiqilib, qurilma dasturiga kiritildi. Kalibrlashdan so‘ng maksimal suv sarfi 890,57 l/s gacha oshdi, xatoliklar esa 2,47 % dan +2,37 % gacha kamaydi. Natijalar qurilmani qiyoslash va kalibrlash uning aniqligini sezilarli yaxshilashini, ochiq o‘zanlarda suv sarfini raqamli usulda ishonchli o‘lchash uchun ilmiy-amaliy asos yaratishini ko‘rsatdi, shuningdek qurilmani keng amaliyotga samarali joriy etish imkoniyatlarini ilmiy asoslashga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: Smart Channel, ochiq o‘zan, suv sarfi, tezlik–maydon usuli, ultratovushli datchik, elektromagnit etalon, hajmiy usul, maksimal suv sarfi, kalibrlash, metrologik ko‘rsatkichlar.

CALIBRATION PROCEDURE FOR THE “SMART CHANNEL” DEVICE.

Iqtibos: M.Y.Otaxonov, I.B.Zokirov, A.A.Azizov, X.A.Azizov, A.A.Arifjanov. Irrigatsiya va melioratsiya. 2026, 12,2, 6. <https://doi.org/10.35938/IM-2026-12-00006>

Olingan: 28.04.2026

Tuzatilgan: 18.05.2026

Qabul qilingan: 15.06.2026

Nashr qilingan: 06.07.2026

Copyright:



Maksud Y. Otakhonov^{1,*} , Ilkhom B. Zokirov² , Abdukhamid A. Azizov³ , Khurshid A. Azizov⁴ , Alisher A. Arifjanov⁴ 

¹ Laboratory of Hydraulics and Hydrometry, “Smart Solution System” LLC, Tashkent, 100000, Uzbekistan

² Department of Hydraulics and Hydroinformatics, “TIAME” National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan

³ Tashkent State Transport University, Tashkent, 100000, Uzbekistan

⁴ State Institution “Uzbekistan National Institute of Metrology”, Tashkent, 100000, Uzbekistan

¹ maksud.otakhonov@bk.ru (M.O.), ilhomjonzokirov1@gmail.com (I.Z.), abdukhamid1961@gmail.com (A.A.),
xurshidazizov002@gmail.com (X.A.), alisher@nim.uz (A.A.)

Abstract:

This article presents a methodology for evaluating and calibrating the metrological characteristics of the “Smart Channel” device designed for measuring water discharge in open channels under

laboratory conditions. An 80×80 cm device sample was selected as the research object. The experiments were conducted in the “Hydraulics and Hydrometry” laboratory of “Smart Solutions System” LLC, located in the Kuyichirchik district of Tashkent region. The device operates based on the velocity–area method, in which water discharge is determined using the average flow velocity and wetted cross-sectional area. Flow velocity is recorded layer by layer using a total of 32 ultrasonic sensors arranged in 8 rows, and the overall average velocity is then calculated. During the study, the maximum water conveyance capacity of the device and its errors compared with an electromagnetic reference flowmeter and the volumetric method were determined. In the initial tests, the maximum discharge was 799.23 l/s, while the errors ranged from 5.98% to 14.30%. This indicated the need to improve the initial calculation algorithm of the device under high-flow conditions. Therefore, a calibration coefficient was developed based on the results obtained from the reference flowmeter and the volumetric method and was integrated into the device software. After calibration, the maximum discharge increased to 890.57 l/s, while the errors decreased to the range from 2.47% to +2.37%. The results showed that verification and calibration significantly improved the accuracy of the device, provided a scientific and practical basis for reliable digital measurement of water discharge in open channels, and supported the effective implementation of the device in practice.

Keywords: Smart Channel, open channel, water discharge, velocity–area method, ultrasonic sensor, electromagnetic reference flowmeter, volumetric method, maximum discharge, calibration, metrological characteristics.

Kirish

Suv resurslarini oqilona boshqarish va ulardan samarali foydalanish bugungi kunda global va mintaqaviy darajadagi eng muhim muammolardan biri hisoblanadi [1,2]. Aholi sonining ortib borishi, sugʻoriladigan dehqonchilik maydonlarining kengayishi, sanoat va xizmat koʻrsatish tarmoqlarida suvga boʻlgan ehtiyojning oshishi, shuningdek iqlim oʻzgarishi natijasida mavjud chuchuk suv resurslarining kamayib borishi suvni aniq hisobga olish masalasini yanada dolzarb qilmoqda [3–5]. Ayniqsa, irrigatsiya tarmoqlarida suv sarfini ishonchli oʻlchash suv taqsimotini optimallashtirish, suv yoʻqotishlarini kamaytirish, suvdan foydalanish samaradorligini oshirish va hosildorlikni barqaror saqlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Ochiq oʻzamlarda suv sarfini oʻlchash uchun amaliyotda Parshall, SANIIRI, Tomson, Chipoletti kabi turli gidravlik inshootlar keng qoʻllaniladi. Ularning ishlash prinsipi, odatda, napor balandligini yoki sathlar farqini oʻlchashga asoslangan [6–8]. Biroq bunday qurilmalar yuqori aniqlik bilan ishlashi uchun erkin oqim rejimi, yetarli napor, standart geometrik shakl va barqaror gidravlik sharoit talab etiladi. Oqim koʻmilgan rejimga oʻtgan, napor yetarli boʻlmagan yoki kesim geometriyasi murakkablashgan sharoitlarda anʼanaviy inshootlarning qoʻllanish samaradorligi pasayadi [9–11]. Shu bois zamonaviy gidrometriyada tezlik–maydon usuliga asoslangan raqamli qurilmalarni ishlab chiqish va ularning metrologik xususiyatlarini chuqur oʻrganish dolzarb ilmiy yoʻnalishlardan biriga aylandi [12–14].

“Smart Channel” qurilmasi aynan shu ehtiyojdan kelib chiqqan holda ishlab chiqilgan boʻlib, u suv sarfini oqimning oʻrtacha tezligi va tirik kesim yuzasi orqali aniqlaydi. Qurilmaga oʻrnatilgan ultratovushli tezlik datchiklari qatlamlar boʻyicha oqim tezligini qayd etadi, sath maʼlumotlari esa koʻndalang kesim yuzasini aniqlashga xizmat qiladi. Natijada suv sarfi napor boʻyicha emas, balki oqimning haqiqiy kinematik va geometrik koʻrsatkichlari asosida hisoblanadi [15–17]. Bu esa qurilmaning koʻmilgan rejimlarda, kichik naporli yoki oʻzgaruvchan oqim sharoitlarida ishlash imkoniyatini oshiradi.

Har qanday yangi turdagi suv oʻlchash qurilmasini amaliyotga joriy etishdan oldin uning metrologik tavsiflarini laboratoriya sharoitida ishonchli baholash zarur. Xususan, qurilmaning minimal qayd etiladigan sarfi, maksimal suv oʻtkazish qobiliyati, xatoliklar diapazoni, etalon vositalar bilan mosligi va kalibrlash natijasida aniqlikning qanday oʻzgarishi aniqlanishi kerak [18–20]. Shu nuqtai nazardan, maxsus tashkil etilgan “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida Smart Channel qurilmasining sinovdan oʻtkazilishi va qiyoslanishi ilmiy hamda amaliy jihatdan muhim hisoblanadi.

Mazkur maqolaning maqsadi Smart Channel qurilmasining laboratoriya sharoitidagi metrologik koʻrsatkichlarini baholash, uning minimal va maksimal ish rejimlarini aniqlash, elektromagnit etalon

va hajmiy usul bilan qiyoslash natijalarini tahlil qilish hamda kalibrlashdan keyingi aniqlik darajasini asoslashdan iborat.

Materiallar va usullar

Tajriba obyekti. Tajriba obyekti sifatida “Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasining balandligi va eni 80×80 sm bo‘lgan namunasi tanlab olindi (rasm 1).

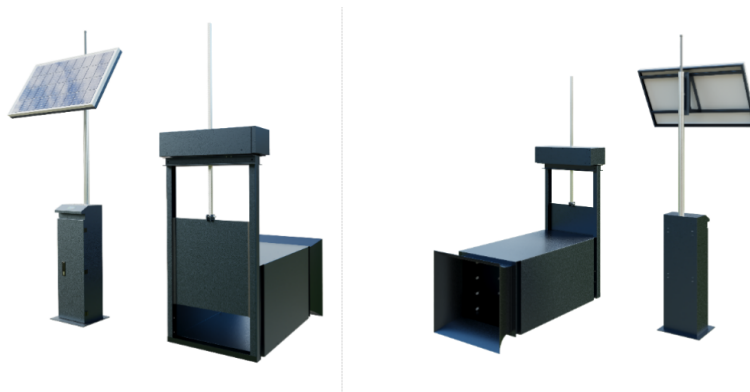


Figure 1. Overview of the Smart Channel device
1-Rasm. “Smart Channel” qurilmasining umumiy ko‘rinishi.

“Smart Channel” qurilmalari ochiq o‘zanlardagi suv sarfini o‘lchash uchun mo‘ljallangan. Undan asosan sug‘orma dehqonchilik va baliqchilik bilan shug‘ullanuvchi fermer xo‘jaliklarining suv olish nuqtalariga o‘rnatiladi. Shu bilan bir qatorda kichik irrigatsiya kanallariga ham o‘rnatiladi. Sanoat korxonalaridan oqib chiqayotgan oqava suvlarni ham hisobini yuritishda foydalaniladi. “Smart Channel” qurilmasi asosan suv o‘tkazish korpusi va saqllovchi shkafdan iborat. Suv o‘tkazish korpusi materiali po‘latdan bolib, zanglashga qarshi ishlov berilgan. Suv o‘tkazish korpusiga suv tezligi, sathini o‘lchash uchun ultratovushli datchiklari va suv sarfini boshqarish zatvori o‘rnatilgan. Qurilmaning saqllovchi shkafi ishiga ma‘lumotlarni saqlash, qayta ishlash, masofadan yuborish datchik va chiplar, elektr energiyasi uchun akkumlyator o‘rnatilgan. Yuqori qismiga quyosh paneli o‘rnatilgan. “Smart Channel” qurilmasiga o‘rnatilgan akkumlyator va uni elektr energiyasi bilan to‘yintiruvchi quyosh panelining o‘rnatilishi natijasida markaziy elektr tarmog‘iga umuman ehtiyoj sezilmaydi.

“Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasi 8 qator qilib suv tezligini o‘lchash datchiklari o‘rnatilgan. Datchiklar qurilmaning yon devorlariga bir-biriga qarama-qarshi 45° burchak ostida o‘rnatilgan. Suv tezligini o‘lchash datchiklari bir biriga ultratovush yuboradi. Tovushning borish va qaytish vaqtlari farqidan o‘sha qatlamdagi o‘rtacha tezlikni aniqlaydi. Suv tezligini aniqlash datchiklari quyidagi formulalar asosida suv tezligini aniqlaydi:

$$\vartheta = \frac{L}{2 \cos \theta} \cdot \frac{t_2 + t_1}{t_1 t_2} \quad (1)$$

Bu yerda: ϑ — qatlamdagi suv oqimining o‘rtacha tezligi, m/s; L — ultratovush nuri yo‘li uzunligi, m; θ — nur bilan oqim yo‘nalishi orasidagi burchak; t_1 — oqim bo‘ylab o‘tish vaqti, s; t_2 — oqimga qarshi o‘tish vaqti, s.

“Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasiga 8 qator qilib jami 32 dona suv tezligini o‘lchash datchiklari o‘rnatilgan. Datchiklar qurilmaning yon devorlariga bir-biriga qarama-qarshi 45° burchak ostida o‘rnatilgan. “Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasidan o‘tayotgan suvning o‘rtacha tezligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\vartheta_s = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \dots + \vartheta_n}{n} \quad (2)$$

Bu yerda: $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_n$ — qatlamlardagi o‘rtacha tezlik, m/s; n — qatlamlar soni.

“Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasidan o‘tayotgan umumiy suv sarfi quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$Q_s = \omega_s \cdot \vartheta_s \quad (3)$$

Bu yerda: ω_s — “Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasidan o‘tayotgan umumiy suv oqimining ko‘ndalang kesim yuzasi, m^2 .

“Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasidan o‘tayotgan umumiy suv oqimining ko‘ndalang kesim yuzasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\omega_s = b \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \quad (4)$$

Bu yerda: h_1 va h_2 — “Smart Channel” qurilmasidan o‘tayotgan suv oqimining kirish va chiqishdagi chuqurliklari, m.

Tadqiqot hududining tavsifi. Tadqiqotlar Toshkent viloyati Quyi Chirchiq tumanida joylashgan “Smart Solutions System” MCHJ ning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi (rasm 2). Laboratoriya 2025-yilda qurib bitkazilgan. Laboratoriya asosan 7 ta qismdan iborat bo‘lib, 1-zaxira suv rezervuari, 2-nasos, 3-naporli hosil rezervuari, 4-elektromagnit suv o‘lchash vositasi (etalon), 5-taqsimlash kanali, 6-“Smart Channel” qurilmasi o‘rnatish joyi, 7-suv hajmini aniqlash rezervuaridan iborat.

Zaxira suv rezervuarining hajmi $2500 m^3$, naporli suv rezervuarining hajmi $220 m^3$, suv hajmini aniqlash rezervuarining hajmi $200 m^3$ ni tashkil etadi. Har bir rezervuarga suv sathini o‘lchash bo‘yicha (ultratovushli) datchiklar o‘rnatilgan. Suv sarfi va sathini boshqarish uchun zatvorlar bilan ta‘minlangan. Ushbu laboratoriya asosan gidravlik tajribalar o‘tkazish uchun mo‘ljallangan bo‘lib, “Smart Channel” suv sarfini o‘lchash qurilmasini sinashda va qiyoslashda foydalaniladi. Laboratoriyadagi elektromagnit suv sarfini o‘lchash vositasi (4) etalon vosita hisoblanadi. Ushbu vosita naporli suv rezervuari va taqsimlash kanali o‘rtasiga o‘rnatilgan. Diametri $DN = 600$ mm.

Elektromagnit suv sarfini o‘lchash vositasining xatoligi $\pm 0.5\%$ ni tashkil etadi. Shu bilan bir qatorda, o‘lchov ishlarining aniqligini oshirish maqsadida suv hajmini aniqlash rezervuari ham qurilgan. Suv hajmini aniqlash rezervuari yuqori aniqlikda ishlovchi ultratovushli suv sathini o‘lchash datchiklari bilan ta‘minlangan. Ushbu datchiklarning xatoligi ± 1 mm ni tashkil etadi. Suv hajmini aniqlash rezervuarining xatoligi $\pm 0.5\%$ ni tashkil etadi. Nasos agregati dvigatelining quvvati 200 kW bo‘lib, nasosning maksimal suv sarfi 1200 l/s ni tashkil etadi. Laboratoriyada suv sarfini boshqarish imkoniyati yo‘lga qo‘yilgan. Suv sarfi napor hosil qilish rezervuariga o‘rnatilgan zadviykani ochib-yopish orqali boshqariladi. Laboratoriyada suv sarfini 0 dan 1200 l/s gacha o‘zgartirish imkoniyati mavjud.



Figure 2. General view of the laboratory
2-Rasm. Laboratoriyaning umumiy ko‘rinishi.

Tadqiqotlarni olib borish uslubi. Tadqiqotlarni olib borishda gidravlika va gidrometriya yo'nalishida umumqabul qilingan uslublardan foydalanildi. "Smart Channel" o'rnatish joyiga o'rnatilgandan so'ng, boshqaruv paneli ishga tushiriladi. Boshqaruv panelida barcha datchiklardan kelayotgan ma'lumotlar aks etadi. Nasos agregati ishga tushiriladi. Laboratoriyada tajribalar olib borish davomida nasos agregati doimiy ishlab turishi ta'minlanadi. Nasos agregati zaxira suv rezervuaridagi suvni napor hosil qilish rezervuariga uzatadi. Napor hosil qilish rezervuaridan suv diametri 600 mm bo'lgan dyuker orqali taqsimlash kanaliga uzatiladi. Dyukerga o'rnatilgan elektromagnit (etalon) suv sarfini o'lchash vositasidan o'tayotgan suv sarfi va hajmi ma'lumotlari doimiy kuzatib boriladi. Ishchi kanaldagi suv, o'rnatilgan "Smart channel" qurilmasidan o'tib, suv hajmini aniqlash rezervuariga quyiladi. Suv hajmini aniqlash rezervuariga quyilgan suv zatvorni boshqarish orqali suv saqlash rezervuariga uzatiladi (rasm 3).

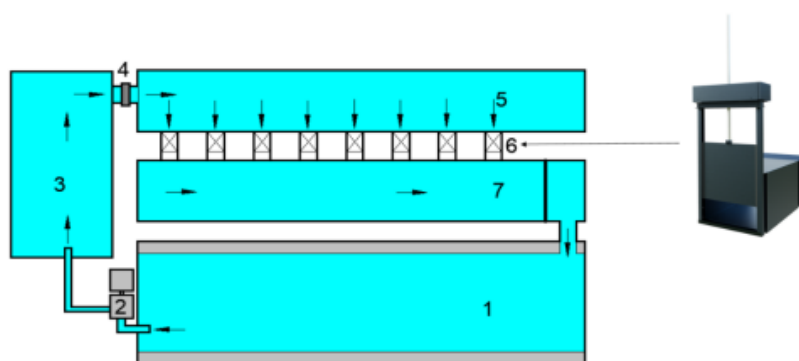


Figure 3. Hydraulics and Hydrometry Laboratory Plan
3-Rasm. Gidravlika va gidrometriya laboratoriyasi plani.

Tajribalar quyidagi ketma-ketlikda olib borildi:

1. "Smart Channel" qurilmasi "Gidravlika va gidrometriya" laboratoriyasining o'rnatish joyiga (6) o'rnatildi;
2. Boshqaruv paneli ishga tushirildi;
3. Nasos tizimi ishga tushirildi;
4. Laboratoriyaning texnik holati o'rganilib, barcha ma'lumot uzatuvchi datchiklarning faol ekanligi tasdiqlandi;
5. Zadvijka va zatvorlar kerakli boshqarildi;
6. Ishchi kanalgacha suv yuborildi;
7. Tajriba uchun o'rnatilgan "Smart Channel" qurilmasiga suv uzatildi;
8. Test sinovini boshlash uchun suv oqimi o'zgaras bo'lishi ta'minlandi va sinov ishlari olib borildi.

Boshqaruv panelining oynasidagi sinovni boshlash tugmasini bosish orqali tajriba ishlari boshlanadi. Boshqaruv paneli oynasida quyidagi ma'lumotlar aks ettirilib boradi (rasm 4):

1. **Start.** Ushbu yozuvni bosish orqali qiyoslash jarayonini hisoblash boshlanadi.
2. **Namunaviy suv (elektromagnit etalon) sarfini o'lchash vositasidan kelayotgan ma'lumotlar:** suv sarfi Q_n , suv hajmi V_n , vaqt t .
3. **Smart Channel qurilmasi ma'lumotlari:** suv sarfi Q_s , suv hajmi V_s , vaqt t , suv chuqurliklari h_1 va h_2 , harakat kesimi ω_s .
4. **Suv hajmini aniqlash rezervuaridagi ma'lumotlar:** Suv hajmi V_h , vaqt t , suv sarfi Q_h .

Hisobot: Solishtirish usulidagi xatolik qiymatlari: Suv sarfi xatoligi ΔQ_{sn} , suv hajmi xatoligi ΔV_{sn} .

START TEST							
Comparison method							
Start	Q _{ref} , l/s	475,46	t, s	378	V _{ref} , m ³	179,721	Reference flow measurement device data
	Q _{sc} , l/s	432,54	t, s	378	V _{sc} , m ³	163,500	"Smart Channel" device data
	h ₁ , cm	50,40	h ₂ , cm	33,60	ω _{sc} , cm/s	3360	θ ₁ , cm/s
Volumetric method							
Stop	t, s	378	V _h , m ³	180,151	Q _h , l/s	476,58	Volume-measuring reservoir data
REPORT							
Flow rate and volume measured by the electromagnetic (reference) flow device:		Q _{ref} , l/s	475,46	V _{ref} , m ³	179,721	Error value in comparison method:	
Flow rate and volume measured by the "Smart Channel" device:		Q _{sc} , l/s	432,54	V _{sc} , m ³	163,500	ΔQ _{snr} , % -9,92 ΔV _{snr} , % -9,92	
Flow rate and volume in the volume-measuring reservoir:		Q _h , l/s	476,58	V _h , m ³	180,151	Error value in volumetric method:	
						ΔQ _{sh} , % -10,18 ΔV _{sh} , % -10,18	

Figure 4. Control panel window of the "Hydraulics and Hydrometry" laboratory
4-Rasm. "Gidravlika va gidrometriya" laboratoriyasi boshqaruv paneli oynasi.

Hajmiy usuldagi xatoliklar qiymati: Suv sarfi xatoligi ΔQ_{sh} , suv hajmi xatoligi ΔV_{sh} .

Boshqaruv panelida start tugmasini bosish orqali test sinovi boshlanadi. Stop tugmasini bosish orqali yakunlanadi. Boshqaruv paneli uchun maxsus dasturiy ta'minot yaratilgan bo'lib, unda tajriba natijalari avtomatik aks ettiriladi. Elektromagnit (etalon) sarf o'lchash vositasi suv sarfi va "Smart Channel" qurilmasi suv sarfi xatoliklari quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta Q_{se} = \frac{Q_s - Q_e}{Q_s} \times 100\% \quad (5)$$

Bu yerda: ΔQ_{se} — xatolik qiymati, Q_s — "Smart Channel" qurilmasi suv sarfi, l/s; Q_e — Elektromagnit (etalon) sarf o'lchash vositasi suv sarfi, l/s.

Hajmiy usuldagi suv sarfi va "Smart Channel" qurilmasi suv sarfi xatoliklari quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\Delta Q_{sh} = \frac{Q_s - Q_h}{Q_s} 100\% \quad (6)$$

Bu yerda: ΔQ_{sh} — xatolik qiymati, %; Q_s — "Smart Channel" qurilmasi suv sarfi, l/s; Q_h — hajmiy usuldagi suv sarfi, m³/s.

Suv hajmini aniqlash rezervuariga quyilgan suv hajmidan kelib chiqib, hajmiy usuldagi suv sarfi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q_h = \frac{V_h}{t} \quad (7)$$

$$V_h = \Omega_h \cdot h_h \quad (8)$$

$$\Omega_h = B \cdot S \quad (9)$$

Bu yerda: Q_h — rezervuarga tushayotgan suv sarfi, V — rezervuardagi suv hajmi, m³; Ω_h — rezervuar asosining yuzasi, m²; h_h — rezervuardagi suv chuqurligi, B va S — rezervuar asosining tomonlari, m.

Natijalar

Tadqiqotlarni olib borish jarayonida “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv o‘tkazish qobiliyati baholandi. Tajribalar qurilmaning zatvori to‘liq ochilgan holatda o‘tkazildi. Suvning erkin oqib o‘tishi ta’minlandi. Suv chuqurligi bo‘yicha 9.8 cm dan 77.1 cm gacha bo‘lgan jami $n = 8$ ta qiymatlar berilib tajribalar olib borildi. Tadqiqot natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (Jadval 1):

Table 1. Table for determining the maximum water flow and error of the “Smart Channel” device.

Jadval 1. “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfi va xatoligini aniqlash jadvali.

№	Qurilmadagi suv chuqurliklari		Qurilmadan oqib o‘tayotgan suv oqimining o‘rtacha tezligi	Qurilmadan o‘tayotgan suv sarfi	Namunaviy suv sarfini o‘lchash vositasi ko‘rsatkichi	Xatolik qiymati	Suv hajmini aniqlash rezervuariga quyilgan suv sarfi	Xatolik qiymati
	h_1 , sm	h_2 , sm	ϑ_s , sm/s	$Q_{s,max}$, l/s	Q_e , l/s	ΔQ_{se} , %	Q_{h_1} , l/s	ΔQ_{sh} , %
1	10,3	8,24	55,89	41,45	43,93	-5,98	44,02	-6,21
2	20,3	15,62	80,40	115,50	121,54	-5,23	122,05	-5,67
3	30,4	20,27	101,89	206,51	222,73	-7,86	222,67	-7,83
4	40,7	27,13	117,57	319,02	345,03	-8,16	343,97	-7,82
5	50,4	33,60	128,73	432,54	475,46	-9,92	474,87	-9,79
6	60,5	40,33	138,67	559,30	625,32	-11,81	624,35	-11,63
7	70,4	46,93	148,27	695,87	784,93	-12,80	783,58	-12,60
8	77,1	51,40	155,49	799,23	911,89	-14,09	913,54	-14,30

Tadqiqot natijalariga ko‘ra suv chuqurligining $h_1 = 10.3$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 41.45$ l/s, $h_1 = 20.3$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 115.50$ l/s, $h_1 = 30.4$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 206.51$ l/s, $h_1 = 40.7$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 319.02$ l/s, $h_1 = 50.4$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 432.54$ l/s, $h_1 = 60.5$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 559.30$ l/s, $h_1 = 70.4$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 695.87$ l/s, $h_1 = 77.1$ sm qiymatida suv sarfi $Q_s = 799.23$ l/s suv sarfi qayd etildi.

Tajribada olingan xatoliklar qiymati chegaraviy xatolik qiymatidan katta qiymatlarni ko‘rsatdi. Unga ko‘ra etalon suv sarfiga nisbatan $\Delta Q_{se} = -5.23 \div -14.09\%$, hajmiy usuldagi suv sarfiga nisbatan $\Delta Q_{sh} = -5.67 \div -14.30\%$ qiymatlarini qayd etdi. Bunday natija qoniqarsiz natija hisoblanadi (rasm 5). Shuning uchun bunday katta qiymatlardagi xatolik bilan “Smart Channel” qurilmasini suv o‘lchash uchun obyektlarga qo‘yish tavsiya etilmaydi. Xatolikning bunday ortib borishi amaliyot uchun juda zararlidir. Chunki suv sarfini hisoblashda xatolikning yuqori bo‘lishi noaniqlikni yanada oshirish bilan bir qatorda iqtisodiy muammolarni ham keltirib chiqaradi. Buning uchun albatta xatolikni to‘g‘rilash bo‘yicha izlanishlar olib borish kerak bo‘ladi.

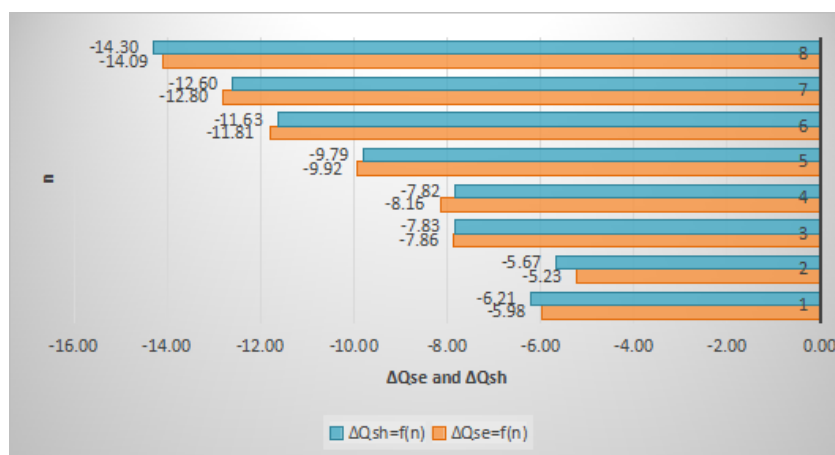


Figure 5. Errors in Measuring the Maximum Water Flow of the “Smart Channel” Device
5-Rasm. “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfini o‘lchashdagi xatoliklari.

Bunday holatlarda, yopiq tizimlarda, quvurlardagi suv sarfini o‘lchash vositalarida kalibrlash ishlari olib boriladi. Kalibrlash natijalari tekshirilib, natijalar qoniqarli bo‘lsa suv sarfini o‘lchash

vositalari obyektlarga o'rnatiladi. "Smart Channel" qurilmasida ham kalibrlash ishlari olib borildi. Dastlab kalibrlash koeffitsiyenti aniqlandi. Kalibrlash koeffitsiyentini aniqlash usuli ishlab chiqildi.

Elektromagnit (etalon) va hajmiy usuldagi suv sarflarining o'rtacha qiymatlari (Q_{eh}) quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$Q_{eh} = \frac{Q_e + Q_h}{2} \quad (10)$$

Kalibrlash koeffitsiyenti (k) quyidagicha aniqlandi:

$$k = \frac{Q_{eh}}{Q_s} \quad (11)$$

Table 2. Table for determining the maximum water flow and error of the "Smart Channel" device.

Jadval 2. "Smart Channel" qurilmasining maksimal suv sarfi va xatoligini aniqlash jadvali.

№	Suv oqimi chuqurligi h_1 , sm	Namunaviy suv sarfini o'lchash vositasi ko'rsatkichi Q_e , l/s	Suv hajmini aniqlash rezervuariga quyilgan suv sarfi Q_h , l/s	O'rtacha qiymat Q_{eh} , l/s	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi Q_s , l/s	Kalibrlash koeffitsiyenti k
1	10,3	43,93	44,02	43,97	41,45	1,06
2	20,3	121,54	122,05	121,79	115,50	1,05
3	30,4	222,73	222,67	222,70	206,51	1,08
4	40,7	345,03	343,97	344,50	319,02	1,08
5	50,4	475,46	474,87	475,17	432,54	1,10
6	60,5	625,32	624,35	624,84	559,30	1,12
7	70,4	784,93	783,58	784,25	695,87	1,13
8	77,1	911,89	913,54	912,71	799,23	1,14

Ushbu kalibrlash koeffitsiyentini aniqlash jadvalidagi ma'lumotlar matematika va statistika uslublarida tahlil etildi. Tahlil natijasida kalibrlash koeffitsiyenti hamda suv chuqurligi o'rtasida quyidagi bog'lanish olindi (rasm 6).

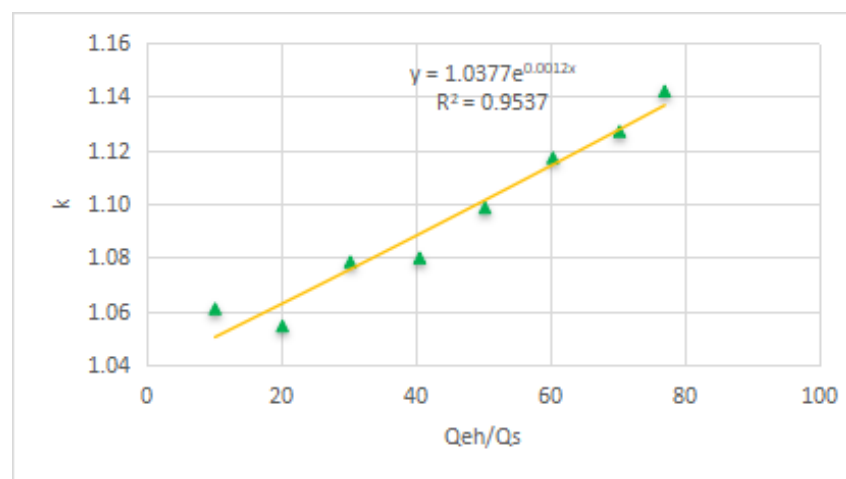


Figure 6. Graph of the variation of the calibration coefficient with water depth
6-Rasm. Kalibrlash koeffitsiyentining suv chuqurligi bo'yicha o'zgarish grafiqi.

Ushbu bog'lanish orqali "Smart Channel" qurilmasini maksimal suv sarfida kalibrlash bo'yicha quyidagi ifoda keltirib chiqarildi:

$$k = 1,0377e^{0,0012\left(\frac{Q_e}{Q_s}\right)} \quad (12)$$

Ushbu formula yordamida "Smart Channel" qurilmasini maksimal suv sarfida kalibrlash algoritmi yaratildi:

$$Q_{s.\max} = k \cdot Q_s \quad (13)$$

Ushbu algoritm “Smart Channel” qurilmasining dasturiga qo‘shimcha ravishda kiritildi. Ushbu algoritm faqat suv sarfining erkin oqib o‘tish rejimida hamda qurilma darvozasi to‘liq ochilgan holatda ishlaydi. Kalibrlash koeffitsiyentini qo‘llashdan so‘ng yana tajribalar o‘tkazildi va quyidagi natijaga erishildi (Jadval 3):

Table 3. Table for determining the maximum water flow and error of the “Smart Channel” device (after calibration)

Jadval 3. “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfi va xatoligini aniqlash jadvali..

№	Qurilmadagi suv chuqurliklari		Qurilmadan oqib o‘tayotgan suv oqimining o‘rtacha tezligi	Qurilmadan o‘tayotgan suv sarfi	Namunaviy suv sarfini o‘lchash vositasi ko‘rsatkichi	Xatolik qiymati	Suv hajmini aniqlash rezervuariga quyilgan suv sarfi	Xatolik qiymati
	h_1 , sm	h_2 , sm	θ_s , sm/s	Q_s , l/s	Q_e , l/s	ΔQ_{se} , %	Q_h , l/s	ΔQ_{sh} , %
2	10,2	8,16	58,35	42,85	42,95	-0,23	42,88	-0,07
5	20,4	15,69	83,93	121,17	121,28	-0,09	121,48	-0,26
9	31,2	20,80	110,42	229,67	231,58	-0,83	227,87	0,78
12	41,5	27,67	129,34	357,84	344,87	0,83	352,16	1,59
15	51,2	34,13	142,88	487,69	486,83	0,18	477,85	2,02
18	61,3	40,87	156,26	638,59	623,45	2,37	624,35	2,23
21	71,1	47,40	167,21	792,58	796,66	-0,52	783,58	1,14
24	76,9	51,27	173,71	890,57	896,11	-0,62	912,54	-2,47

Kalibrlash natijasida xatolik qiymatlari sezilarli darajada kamayishiga erishildi. Etalon suv sarfi va hajmiy usuldagi suv sarflari bilan “Smart Channel” qurilmasini maksimal suv sarfi o‘rtasida + ishorali xatolikning eng katta qiymati 2,37 %, -ishorali xatolikning eng katta qiymati -2,47 % ni tashkil etdi (rasm 7).

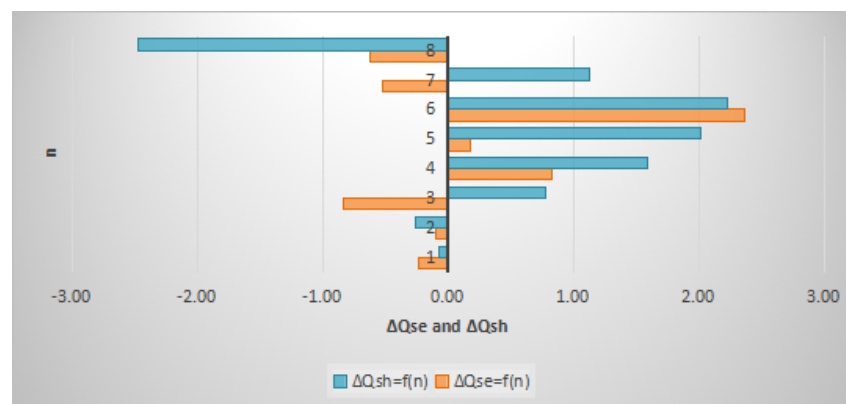


Figure 7. Errors in measuring maximum water consumption of the “Smart Channel” device (after calibration).
Rasm 7. “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfini o‘lchashdagi xatoliklari (kalibrlashdan keyingi).

Oxirgi olingan natijalar ham tahlil etildi. Tahlil natijasida, kalibrlashdan keyingi suv sarfi va oqim chuqurligi o‘rtasida bog‘lanish olindi. Ushbu bog‘lanish “Smart Channel” qurilmasini maksimal suv sarfini ko‘rsatuvchi ishchi grafik hisoblanadi (rasm 8):

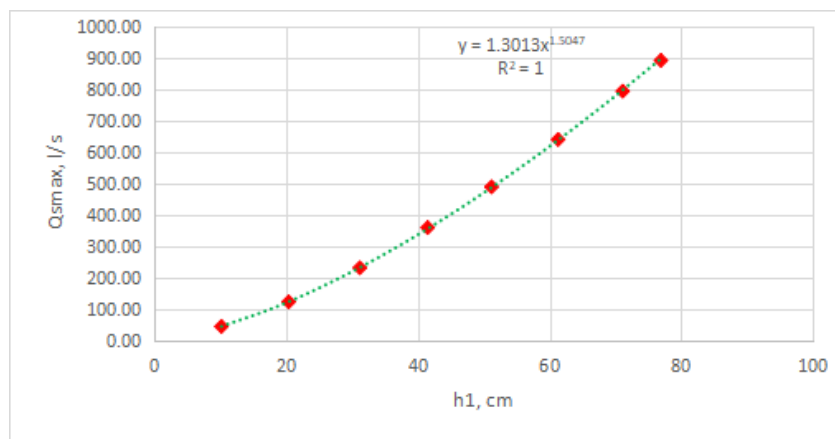


Figure 8. Maximum water consumption operating graph of the “Smart Channel” device.

Rasm 8. “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfi ishchi grafigi.

Tadqiqot natijalari matematika va statistika uslublarida tahlil etilib, “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfini nazariy aniqlash bo‘yicha empirik formula taklif etildi:

$$Q_{s. \max} = c \cdot h_1^d \quad (14)$$

bu yerda: $Q_{s. \max}$ – “Smart Channel” qurilmasining maksimal suv sarfi, l/s; $c = 1,3013$ – koeffitsiyent; h_1 – “Smart Channel” qurilmasidagi suv chuqurligi, sm; $d = 1,5047$ – daraja ko‘rsatkichi.

Munozara

Olib borilgan laboratoriya tadqiqotlari natijalari “Smart Channel” qurilmasining ochiq o‘zanlarda suv sarfini tezlik–maydon usuli asosida aniqlash imkoniyatlari yuqori ekanligini ko‘rsatdi. Biroq dastlabki tajribalar natijasida, ayniqsa yuqori suv sarfi rejimlarida, qurilmaning o‘lchash aniqligi pasayishi kuzatildi. Kalibrlashdan oldingi sinovlarda etalon elektromagnit suv sarfini o‘lchash vositasi hamda hajmiy usul bilan solishtirganda xatoliklarning –5.98% dan –14.30% gacha ortishi qurilmaning boshlang‘ich hisoblash algoritmi yuqori oqim rejimlarini to‘liq hisobga olmasligini ko‘rsatdi. Ushbu natijalar ultratovushli datchiklar asosida ishlovchi suv sarfini o‘lchash tizimlarida hisoblash algoritmlarini takomillashtirish va mahalliy gidravlik sharoitlarga moslashtirilgan kalibrlash usullarini ishlab chiqish zarurligini tasdiqlaydi.

Tadqiqot davomida elektromagnit etalon o‘lchash vositasi hamda hajmiy usul natijalari asosida ishlab chiqilgan kalibrlash koeffitsiyenti qurilmaning dasturiy ta‘minotiga integratsiya qilindi. Takroriy sinovlar natijasida o‘lchash aniqligi sezilarli darajada yaxshilangani kuzatildi. Xususan, kalibrlashdan keyin maksimal xatolik qiymatlari –2.47% va +2.37% oralig‘igacha kamaydi. Bu esa ishlab chiqilgan kalibrlash algoritmi yuqori suv sarfi sharoitlarida qurilmaning metrologik tavsiflarini sezilarli yaxshilashini ko‘rsatadi. Olingan natijalar qurilmaning nafaqat laboratoriya sharoitida, balki amaliy foydalanish jarayonida ham yuqori aniqlik bilan ishlash imkoniyatiga ega ekanligini tasdiqlaydi.

Kalibrlash koeffitsiyenti va suv chuqurligi o‘rtasidagi bog‘lanish matematik-statistik usullar yordamida tahlil qilinib, ular orasida yuqori darajadagi funksional bog‘liqlik mavjudligi aniqlandi. Ushbu bog‘lanish asosida taklif etilgan empirik formula qurilmaning maksimal suv sarfini nazariy jihatdan baholash imkonini beradi. Mazkur formula yordamida ishlab chiqilgan algoritm qurilmaning dasturiy ta‘minotiga qo‘shilishi natijasida o‘lchash jarayoni avtomatlashtirildi hamda inson omili ta‘siri kamaytirildi. Shu bilan birga, empirik bog‘lanish qurilmaning kelgusidagi matematik modellarini ishlab chiqish va optimallashtirish uchun ham muhim ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalari tezlik–maydon usuliga asoslangan zamonaviy raqamli suv sarfini o‘lchash qurilmalarida individual kalibrlash jarayoni majburiy bosqichlardan biri bo‘lishi lozimligini ko‘rsatadi. Chunki ochiq o‘zanlarda oqimning gidravlik xususiyatlari suv chuqurligi, oqim tezligi va oqim rejimiga qarab doimiy ravishda o‘zgarib turadi. Natijada standart hisoblash formulalari barcha ish rejimlarida bir xil aniqlikni ta‘minlay olmaydi. Shu sababli har bir qurilmaning real ekspluatatsiya

sharoitlariga mos kalibrlash funksiyasiga ega bo'lishi o'lchash ishonchligini sezilarli darajada oshiradi.

Mazkur tadqiqot faqat laboratoriya sharoitida olib borilganligi sababli ayrim tashqi omillarning ta'siri baholanmadi. Jumladan, kanal tubida cho'kindi moddalar to'planishi, suv tarkibidagi muallaq zarrachalar, suv o'tlari, oqimning turbulentligi hamda kanal geometriyasining notekisligi ultratovushli datchiklarning ishlash aniqligiga ma'lum darajada ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shuningdek, mavsumiy suv sathining o'zgarishi ham qurilmaning metrologik tavsiflariga ta'sir qilishi ehtimoldan xoli emas. Shu sababli kelgusida tabiiy irrigatsiya kanallari, kollektor-drenaj tarmoqlari va baliqchilik xo'jaliklarida uzoq muddatli dala sinovlarini o'tkazish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Bundan tashqari, kelgusidagi tadqiqotlarda turli o'lchamdagi "Smart Channel" qurilmalari uchun alohida kalibrlash funksiyalarini ishlab chiqish, sun'iy intellekt elementlari yordamida o'z-o'zini moslashtiruvchi hisoblash algoritmlarini yaratish hamda real vaqt rejimida masofaviy monitoring tizimlari bilan integratsiyalash masalalarini o'rganish muhim ilmiy yo'nalishlardan biri bo'lib qoladi. Bu esa qurilmaning nafaqat aniqligini, balki ekspluatatsion ishonchligini ham sezilarli darajada oshirish imkonini beradi.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari ishlab chiqilgan kalibrlash metodikasi "Smart Channel" qurilmasining metrologik tavsiflarini sezilarli yaxshilashini, suv sarfini yuqori aniqlikda o'lchash imkoniyatini yaratishini hamda ochiq o'zanlarda suv resurslarini raqamli monitoring qilish tizimlarini rivojlantirish uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishini ko'rsatdi. Shuningdek, olingan natijalar qurilmani davlat metrologik sinovlaridan muvaffaqiyatli o'tkazish, sanoat miqyosida ishlab chiqarish va irrigatsiya tizimlarida keng joriy etish uchun yetarli ilmiy asos yaratadi.

Xulosa

Mazkur tadqiqot davomida ochiq o'zanlarda suv sarfini o'lchashga mo'ljallangan 80×80 sm o'lchamdagi "Smart Channel" qurilmasining metrologik tavsiflari laboratoriya sharoitida baholandi hamda uni kalibrlash uslubiyoti ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari qurilmaning tezlik-maydon usuli va 32 ta ultratovushli datchik yordamida suv sarfini avtomatik aniqlash imkoniyatiga ega ekanligini tasdiqladi.

Dastlabki sinovlarda qurilmaning maksimal suv o'tkazish qobiliyati 799,23 l/s ni tashkil etgani hamda yuqori suv sarfi rejimlarida o'lchash xatoliklari 5.98–14.30 % oralig'ida bo'lgani aniqlandi. Elektromagnit etalon o'lchash vositasi va hajmiy usul natijalari asosida ishlab chiqilgan kalibrlash koeffitsiyenti qurilma dasturiga joriy etilgandan so'ng maksimal o'lchanadigan suv sarfi 890,57 l/s gacha oshdi, o'lchash xatoliklari esa –2.47 % dan +2.37 % gacha kamaydi.

Tadqiqot davomida kalibrlash koeffitsiyentini aniqlash usuli hamda uni qurilma dasturiga integratsiyalash algoritmi ishlab chiqildi. Shuningdek, maksimal suv sarfi bilan suv chuqurligi orasidagi empirik bog'lanish aniqlanib, qurilmaning ishchi tavsifini ifodalovchi matematik model taklif etildi.

Olingan natijalar ishlab chiqilgan kalibrlash uslubiyoti "Smart Channel" qurilmasining metrologik aniqligini oshirishini hamda uni ochiq o'zanlarda suv sarfini ishonchli raqamli monitoring qilishda qo'llash imkoniyatini kengaytirishini ko'rsatdi. Tadqiqot natijalari qurilmani amaliyotga joriy etish, davlat metrologik sinovlarini tashkil etish va kelgusida turli o'lchamdagi modifikatsiyalarini ishlab chiqish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

Mualliflarning hissalari

Konseptualizatsiya, M.Y.O. va I.B.Z.; metodologiya, M.Y.O. va I.B.Z.; dasturiy ta'minot, M.Y.O. va I.B.Z.; tasdiqlash, A.A.A., X.A.A. va A.A.Arif.; rasmiy tahlil, M.Y.O. va I.B.Z.; tadqiqot, M.Y.O., I.B.Z. va A.A.A.; resurslar, M.Y.O. va X.A.A.; ma'lumotlarni kuratorlik qilish, I.B.Z. va M.Y.O.; original matnni yozish, I.B.Z. va M.Y.O.; yozish, ko'rib chiqish va tahrirlash, M.Y.O., I.B.Z., A.A.A., X.A.A. va A.A.Arif.; vizualizatsiya, I.B.Z. va M.Y.O.; ilmiy rahbarlik, M.Y.O. Barcha mualliflar qo'lyozmaning nashrga taqdim etilgan yakuniy versiyasi bilan tanishib chiqqan va uni ma'qullagan.

Authors' contribution

Conceptualization, M.Y.O. and I.B.Z.; methodology, M.Y.O. and I.B.Z.; software, M.Y.O. and I.B.Z.; validation, A.A.A., X.A.A. and A.A.Arif.; formal analysis, M.Y.O. and I.B.Z.; investigation,

M.Y.O., I.B.Z. and A.A.A.; resources, M.Y.O. and X.A.A.; data curation, I.B.Z. and M.Y.O.; writing-original draft preparation, I.B.Z. and M.Y.O.; writing-review and editing, M.Y.O., I.B.Z., A.A.A., X.A.A. and A.A.Arif.; visualization, I.B.Z. and M.Y.O.; supervision, M.Y.O.; project administration, M.Y.O. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Moliyalashtirish

Ushbu tadqiqot tashqi moliyaviy qo'llab-quvvatlashsiz bajarilgan.

Funding source

This research received no external funding.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Ushbu tadqiqot natijalarini tasdiqlovchi ma'lumotlar maqolaning tegishli jadvallari va rasmlarida keltirilgan.

Ethics approval

The data supporting the findings of this study are presented within the article in the relevant tables and figures.

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot natijalarini tasdiqlovchi ma'lumotlar maqolaning tegishli jadvallari va rasmlarida keltirilgan.

Data Availability Statement

The data supporting the findings of this study are presented within the article in the relevant tables and figures.

Rahmatnomalar

Mualliflar "Smart Channel" suv sarfini o'lchash qurilmasini laboratoriya sharoitida qiyoslash va kalibrlash jarayonida "Smart Solutions System" MCHJning "Gidravlika va gidrometriya" laboratoriyasi tajriba bazasidan foydalanilganini e'tirof etadilar. Shuningdek, mazkur tadqiqotni amalga oshirish uchun zarur laboratoriya sharoitlari va texnik imkoniyatlarni yaratib bergani uchun "Smart Solutions System" MCHJ direktori Ilyosjon Fozilovga samimiy minnatdorchilik bildiradilar.

Acknowledgments

The authors acknowledge the use of the experimental facilities of the Hydraulics and Hydrometry Laboratory of "Smart Solutions System" LLC during the laboratory verification and calibration of the "Smart Channel" water discharge measurement device. The authors also express their sincere gratitude to Mr. Ilyosjon Fozilov, Director of "Smart Solutions System" LLC, for providing the necessary laboratory conditions and technical opportunities to conduct this study.

Manfaatlar to'qnashuvi

Mualliflar manfaatlar to'qnashuvi yo'qligini e'lon qiladilar.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Qisqartmalar

Q – suv sarfi, l/s;

Q_s – "Smart Channel" qurilmasi orqali aniqlangan suv sarfi, l/s;

Q_e – elektromagnit etalon suv sarfini o'lchash vositasi ko'rsatkichi, l/s;

Q_h – hajmiy usul bo'yicha aniqlangan suv sarfi, l/s;

V_n – elektromagnit etalon vosita bo'yicha suv hajmi, l;

V_s – "Smart Channel" qurilmasi bo'yicha suv hajmi, l;

V_h – hajmiy rezervuardagi suv hajmi, l;

h_1, h_2 – suv chuqurliklari, sm;

V – harakat kesimi / suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi, m²;

ΔQ_{se} – "Smart Channel" va elektromagnit etalon sarfi orasidagi xatolik, %;

ΔQ_{sh} – "Smart Channel" va hajmiy usul sarfi orasidagi xatolik, %;

K – kalibrlash koeffitsiyenti;
 R^2 – determinatsiya koeffitsiyenti.

Adabiyot

- [1] Boretti, A., Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the World Water Development Report. *npj Clean Water*, 2, Article 15. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- [2] Bureau of Reclamation. (2001). Water Measurement Manual: Chapter 8—Flumes, Section 10: Parshall flumes. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands-/wmm/chap0810.html>
- [3] Dinar, A. (2024). Challenges to water resource management: The role of economic and modeling approaches. *Water*, 16(4), Article 610. <https://doi.org/10.3390/w16040610>
- [4] Evaluation of ultrasonic sensor for flow measurement in open channel. (2023). *Journal of Scientific and Industrial Research*. <https://or.niscpr.res.in/index.php/JSIR/article/view/2613>
- [5] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Chapter 4: Streamflow. In *Manual on stream gauging*. FAO. <https://www.fao.org/4/t0848e/t0848e-09.htm>
- [6] Grison, C., Koop, S. H. A., Eisenreich, S. J., Hofman, J., Chang, I.-S., Wu, J., Savic, D., van Leeuwen, K. (2023). Integrated water resources management in cities in the world: Global challenges. *Water Resources Management*, 37(6–7), 2787–2803. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03475-3>
- [7] He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12, Article 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- [8] Ingraio, C., Strippoli, R., Lagioia, G., Huisinigh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), e18507. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>
- [9] International Organization for Standardization. (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025:2017). ISO.
- [10] International Organization for Standardization. (2017). Hydrometry—Open channel flow measurement using thin-plate weirs (ISO 1438:2017). ISO.
- [11] International Organization for Standardization. (2017). Hydrometry—Open channel flow measurement using thin-plate weirs (ISO 1438:2017). ISO.
- [12] International Organization for Standardization. (2017). Hydrometry—Measurement of discharge by the ultrasonic transit-time (time of flight) method (ISO 6416:2017). ISO.
- [13] International Organization for Standardization. (2024). Water meters for cold potable water and hot water—Part 1: Metrological and technical requirements (ISO 4064-1:2024). ISO.
- [14] International Organization for Standardization. (2024). Water meters for cold potable water and hot water—Part 2: Test methods (ISO 4064-2:2024). ISO.
- [15] Kim, S. D., Park, M. J., Shin, C. K. (2010). Investigation on application of Parshall flume for flow measurement in open channel. *Measurement Science Review*, 10(1), 8–13.
- [16] Kumar, A., Sarangi, A., Singh, D. K., Mani, I., Dash, S. (2025). Development of a digital open channel flow measuring device for surface irrigation. *Water Supply*, 25(4), 667–683. <https://doi.org/10.2166/ws.2025.022>
- [17] Le Coz, J., Camenen, B., Peyrard, X., Dramais, G. (2012). Uncertainty in open-channel discharges measured with the velocity-area method. *Flow Measurement and Instrumentation*, 26, 18–29.
- [18] Maciolek, P. (2025). Open channel flow measurement using an immersion electromagnetic flow meter and ultrasonic probe. *Procedia Computer Science*.
- [19] Skogerboe, G. V., Hyatt, M. L., Anderson, R. K., Eggleston, K. O. (1967). Design and calibration of submerged open channel flow measurement structures: Part 2—Parshall flumes. Utah Water Research Laboratory, Utah State University.
- [20] Skogerboe, G. V., Hyatt, M. L., Anderson, R. K., Eggleston, K. O. (1967). Design and calibration of submerged open channel flow measurement structures: Part 2—Parshall flumes. Utah Water Research Laboratory, Utah State University.

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi: Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.