


UO‘K: 532.57

 10.70769/3030-3214.SRT.4.2.2026.3

SMART CHANNEL QURILMASINING SEZUVCHANLIGI VA MINIMAL SUV SARFINI EKSPERIMENTAL BAHOLASH



**Otaxonov Maqsud
Yusufovich**

“Smart Solution System” MCHJ
laboratoriya mudiri, dotsent,
Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: maksud.otakhonov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0003-3969-4436
Science ID: FJZ-0525-0015



**Zokirov Ilhomjon
Bahtiyor o‘g‘li**

PhD doktorant, TIQXMMI Milliy
tadqiqot universiteti, Toshkent,
O‘zbekiston
E-mail:
ilhomjonzokirov1@gmail.com
ORCID ID: 0009-0005-9672-3987
Science ID: MNM-0525-0011



**Arifjanov Alisher
Abdullayevich**

Mustaqil izlanuvchi, “O‘zbekiston
Milliy Metrologiya Instituti” Davlat
Muassasasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail: alisher@nim.uz
ORCID ID: 0009-0003-9552-050X
Science ID: FTN-0426-0086



**Azizov Khurshid
Abduxamidovich**

Mustaqil izlanuvchi, “O‘zbekiston
Milliy Metrologiya Instituti” Davlat
Muassasasi, Toshkent, O‘zbekiston
E-mail:
xurshidazizov002@gmail.com
ORCID ID: 0009-0008-9290-2533
Science ID: MTN-0426-0047

Annotatsiya. Ushbu maqolada ochiq o‘zanlarda suv sarfini o‘lchash uchun mo‘ljallangan “Smart Channel” qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfi eksperimental usulda baholangan. Tadqiqotning dolzarbligi sug‘orish tizimlarida suv resurslarini oqilona boshqarish, suv hisobini aniq yuritish va kichik sarflarni ishonchli qayd etish zarurati bilan izohlanadi. Tajribalar Toshkent viloyati Quyichirchiq tumanida joylashgan “Smart Solution System” MCHJning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi. Tadqiqot obyekti sifatida 60×60 sm o‘lchamdagi “Smart Channel” qurilmasi namunasi qabul qilindi. Qurilmaning ishlash prinsipi tezlik–maydon usuliga asoslangan bo‘lib, suv sarfi oqimning o‘rtacha tezligi va tirik kesim yuzi orqali aniqlanadi. Tajriba natijalari 60×60 sm o‘lchamdagi “Smart Channel” qurilmasi namunasi uchun o‘rtacha sezuvchanlik chegarasi 0,45 sm/s ga teng ekanini, minimal qayd etilgan suv sarfi esa 0,269 l/s ni tashkil etganini ko‘rsatdi. Qurilmaning o‘lchash aniqligi namunaviy elektromagnit sarf o‘lchagich hamda hajmiy usul bilan taqqoslash orqali baholandi. Natijalarga ko‘ra, “Smart Channel” qurilmasining xatoligi namunaviy sarf o‘lchash vositasiga nisbatan +2,47 % dan -2,48 % gacha, hajmiy usulga nisbatan esa +2,43 % dan -2,47 % gacha oraliqda o‘zgargan. Olingan ma‘lumotlar “Smart Channel” qurilmasi kichik suv sarflarini qayd etish va ochiq o‘zanlarda suv hisobini yuritishda amaliy jihatdan qo‘llash mumkin bo‘lgan qurilma ekanini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari qurilmaning minimal suv sarfini asoslash, sezuvchanlik chegarasini aniqlash va qiyoslash metodikasini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratadi.

Kalit so‘zlar: Smart Channel, ochiq o‘zan, suv sarfi, minimal suv sarfi, sezuvchanlik, tezlik–maydon usuli, qiyoslash, elektromagnit sarf o‘lchagich, hajmiy usul, o‘lchash xatoligi.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

УСТРОЙСТВА SMART CHANNEL И МИНИМАЛЬНОГО РАСХОДА ВОДЫ

**Отахонов Максуд
Юсуфович**

ООО «Smart Solution System»,
заведующий лабораторией,
доцент, Ташкент, Узбекистан

**Зокиров Илхомжон
Бахтиёр угли**

PhD докторант, Национальный
исследовательский университет
ТИИМХ, Ташкент, Узбекистан

**Арифжанов Алишер
Абдуллаевич**

Независимый исследователь,
Государственное учреждение
«Национальный институт
метрологии Узбекистана»,
Ташкент, Узбекистан

**Азизов Хуришид
Абдухамидович**

Независимый исследователь,
Государственное учреждение
«Национальный институт
метрологии Узбекистана»,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. В данной статье экспериментальным методом оценены чувствительность и минимальный расход воды устройства «Smart Channel», предназначенного для измерения расхода воды в открытых руслах. Актуальность исследования обусловлена необходимостью рационального управления водными ресурсами в оросительных системах, обеспечения точного учёта воды и надёжной регистрации малых расходов. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Гидравлика и гидрометрия» ООО «Smart Solution System», расположенной в Куйичирчикском районе Ташкентской области. В качестве объекта исследования был выбран образец устройства «Smart Channel» с размерами 60×60 см. Принцип работы устройства основан на методе «скорость–площадь», при котором расход воды определяется через среднюю скорость потока и площадь живого сечения. Результаты экспериментов показали, что для образца устройства «Smart Channel» размером 60×60 см средний порог чувствительности составляет 0,45 см/с, а минимально зарегистрированный расход воды — 0,269 л/с. Точность измерений устройства оценивалась путём сравнения с эталонным электромагнитным расходомером, а также объёмным методом. Согласно полученным результатам, погрешность устройства «Smart Channel» относительно эталонного расходомера составляет от +2,47 % до -2,48 %, а относительно объёмного метода — от +2,43 % до -2,47 %. Полученные данные подтверждают, что устройство «Smart Channel» может быть эффективно использовано для регистрации малых расходов воды и ведения учёта воды в открытых руслах. Результаты исследования создают научную основу для обоснования минимального расхода воды, определения порога чувствительности и совершенствования методики калибровки устройства.

Ключевые слова: Smart Channel, открытое русло, расход воды, минимальный расход воды, чувствительность, метод «скорость–площадь», сравнение, электромагнитный расходомер, объёмный метод, погрешность измерения.

EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF THE SENSITIVITY OF THE SMART CHANNEL DEVICE AND THE MINIMUM WATER DISCHARGE

**Otakhonov Maqsud
Yusufovich**

“Smart Solution System” LLC,
Head of Laboratory, Associate
Professor, Tashkent, Uzbekistan

**Zokirov Ilhomjon
Bakhtiyor ugli**

PhD Doctoral Student, TIAME
National Research University,
Tashkent, Uzbekistan

**Arifjanov Alisher
Abdullayevich**

Independent Researcher, “National
Institute of Metrology of
Uzbekistan”, Tashkent, Uzbekistan

**Azizov Khurshid
Abduxamidovich**

Independent Researcher, “National
Institute of Metrology of
Uzbekistan”, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. In this study, the sensitivity and minimum water discharge of the “Smart Channel” device, designed for measuring flow in open channels, were experimentally evaluated. The relevance of the research is justified by the need for rational water resource management in irrigation systems, accurate water accounting, and reliable detection of low discharges. The experiments were conducted in the “Hydraulics and Hydrometry” laboratory of “Smart Solution System” LLC, located in the Kuyichirchik district of the Tashkent region. A 60×60 sm prototype of the “Smart Channel” device was selected as the research object. The operating principle of the device is based on the velocity–area method, where discharge is determined using the average flow velocity and the cross-sectional area. The experimental results showed that for the 60×60 sm “Smart Channel” device, the average sensitivity threshold is 0.45 sm/s, while the minimum recorded discharge is 0.269 L/s. The measurement accuracy of the device was evaluated by comparison with a reference electromagnetic flow meter and the volumetric method. According to the results, the error of the “Smart Channel” device ranged from +2.47% to -2.48% relative to the reference flow meter, and from +2.43% to -2.47% relative to the volumetric method. The obtained results confirm that the “Smart Channel” device can be effectively applied for measuring low discharges and maintaining water accounting in open channels. The findings provide a scientific basis for determining the minimum measurable discharge, defining the sensitivity threshold, and improving

calibration methodologies.

Keywords: *Smart Channel, open channel, water discharge, minimum discharge, sensitivity, velocity-area method, comparison, electromagnetic flowmeter, volumetric method, measurement error.*

Kirish. Suv inson hayoti, sogʻliqni saqlash, sanitariya, iqtisodiy faoliyat va oziq-ovqat mahsulotlarini yetishtirishning asosiy tabiiy resurslaridan biridir. BMT maʼlumotlariga koʻra, suv barqaror rivojlanishning markazida turadi hamda oziq-ovqat va energiya ishlab chiqarish, sogʻlom ekotizimlar va ijtimoiy-iqtisodiy taraqqiyot uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Suv yetarli boʻlmagan sharoitda aholi salomatligi, ishlab chiqarish jarayonlari va oziq-ovqat xavfsizligi izdan chiqadi. Ayniqsa, qishloq xoʻjaligida suv ekinlarning oʻsishi, hosildorlik darajasi va mahsulot sifatini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. FAO va HLPE materiallarida suv oziq-ovqat xavfsizligi va ovqatlanishning tayanch omili ekani alohida taʼkidlanadi. Soʻnggi oʻn yilliklarda dunyoda suv resurslariga bosim kuchayib bormoqda. UN-Water maʼlumotiga koʻra, suv tanqisligi barcha qitʼalarda ortib borayotgan muammo boʻlib, bunga aholi sonining koʻpayishi, iqlim oʻzgarishi, suvga talabning oshishi va mavjud resurslarning cheklanganligi sabab boʻlmoqda. FAO hisobotida 3,2 milliard kishi yuqori yoki juda yuqori suv tanqisligi kuzatiladigan qishloq xoʻjaligi hududlarida yashashi qayd etilgan. Bunday sharoitda suvdan samarasiz foydalanish nafaqat tabiatga, balki global oziq-ovqat taʼminotiga ham bevosita xavf tugʻdiradi [1,2].

Sugʻoriladigan dehqonchilik suv resurslarining eng yirik isteʼmolchilaridan biri boʻlib, aynan shu tarmoqda suvni oqilona boshqarish masalasi eng dolzarb hisoblanadi. FAO suv tanqisligi sharoitida qishloq xoʻjaligi va oziq-ovqat xavfsizligini taʼminlash uchun suv boshqaruvini takomillashtirish, samaradorlikni oshirish va monitoringni kuchaytirish zarurligini qayd etadi. Suvni aniq oʻlchamasdan turib uni adolatli taqsimlash, yoʻqotishlarni aniqlash, ortiqcha sarfni kamaytirish va samarali boshqaruv qarorlarini qabul qilish qiyin. Shu sababli sugʻorish tizimlari, suv olish nuqtalari va ochiq oʻzanlarda suv sarfini oʻlchash qurilmalarini oʻrnatish bugungi kunda zaruratga aylanmoqda [3,4].

Bunday qurilmalar suv sarfini real vaqt rejimida nazorat qilish, suv taqsimotidagi nomuta-

nosibliklarni aniqlash, yoʻqotishlarni kamaytirish va suvdan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beradi. Ayniqsa, ochiq oʻzanlarda qoʻllaniladigan zamonaviy raqamli qurilmalar suv resurslarini tejash, qishloq xoʻjaligida barqaror hosildorlikni taʼminlash va oziq-ovqat xavfsizligini mustahkamlashda muhim vosita boʻlib xizmat qiladi. Shuning uchun ochiq oʻzanlarda suv sarfini aniq oʻlchashga xizmat qiluvchi qurilmalarni ishlab chiqish, joriy etish va ularning qiyoslash metodikasini takomillashtirish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb vazifa hisoblanadi.

Ochiq oʻzanlarda suv sarfini oʻlchashga oid adabiyotlar va normativ hujjatlar tahlili shuni koʻrsatadiki, mavjud yondashuvlarni shartli ravishda ikki katta guruhga ajratish mumkin. Birinchi guruhga Parshall, SANIIRI, Tomson, Chipoletti va shunga oʻxshash gidravlik inshootlar asosidagi oʻlchash vositalari kiradi. Ikkinchi guruhga esa ichimlik suvi uchun ishlab chiqilgan, yopiq quvurlarda ishlovchi suv hisoblagichlari kiradi. Birinchi guruhdagi qurilmalarda sarf odatda inshoot geometriyasi va napor balandligi asosida aniqlansa, ikkinchi guruhdagi hujjatlar minimal, oʻtuvchi, nominal va maksimal sarflarni aniq metrologik koʻrsatkichlar sifatida Q_1 , Q_2 , Q_3 va Q_4 koʻrinishida belgilaydi [5,6].

Parshall va SANIIRI lotoklari boʻyicha asosiy xalqaro hujjatlardan biri ISO 9826:1992 boʻlib, u ochiq kanallarda Parshall va SANIIRI lotoklari yordamida suyuqlik sarfini oʻlchash usullarini belgilaydi. Mazkur standartda lotok turini tanlashda sarf diapazoni, mavjud napor, modul chegarasi, maksimal koʻmilish darajasi, kanal tavsifi, ruxsat etilgan energiya yoʻqotishi va talab etilgan aniqlik kabi omillar hisobga olinishi koʻrsatilgan. Demak, Parshall va SANIIRI turidagi qurilmalarda sarfni aniqlashning asosiy mantigʻi standartlashtirilgan geometriya va bosh oʻlchoviga tayangan reyting bogʻlanishiga asoslanadi [7,8,9].

Parshall lotogi boʻyicha amaliy qoʻllanmalarda ham minimal sarf masalasi boshni oʻlchashdagi ishonchlik bilan bogʻlangan. Amaliy jadvallar odatda maʼlum eng kichik bosh qiymatlaridan boshlab beriladi; bu kichik bosh

zonalarida o'lchash noaniqligi ortishini anglatadi. Shu bois klassik napor-asosli qurilmalarda minimal sarf ko'pincha nazariy nolga yaqin oqim emas, balki ruxsat etilgan xatolik bilan ishonchli qayd etiladigan eng kichik sarf sifatida talqin qilinadi [10,11].

Tomson va boshqa yupqa devorli suv o'tkazgichlar bo'yicha asosiy xalqaro tayanch hujjat ISO 1438:2017 hisoblanadi. Ushbu standart ochiq o'zanlarda to'g'ri to'rtburchak va uchburchak yupqa devorli suv o'tkazgichlar yordamida tiniq suv sarfini o'lchash talablarini belgilaydi. Standart erkin oqim sharoitiga, ventilatsiyaga, boshni o'lchash nuqtasining to'g'ri tanlanishiga va o'lchash aniqligiga alohida talab qo'yadi. Tomson suv o'tkazgichi amalda uchburchak notchli yupqa devorli suv o'tkazgichlar sinfiga kirgani uchun uning metrologik tavsifi ham bosh o'lchovi aniqligiga bevosita bog'liqdir [12,13].

Chipoletti suv o'tkazgichi bo'yicha alohida ISO standarti keng tarqalmagan bo'lsa-da, amaliy qo'llanmalarda u yupqa devorli suv o'tkazgichlar nazariyasi doirasida ko'riladi. Bunday qurilmalarda ham minimal sarf va sezuvchanlik masalasi kichik boshlarni o'lchash, erkin oqimni saqlash va geometrik shartlarni bajarish bilan belgilanadi. Shuning uchun Tomson va Chipoletti turidagi inshootlarda minimal sarfning quyi chegarasi asosan naporni ishonchli o'lchash imkoniyati bilan aniqlanadi.

MDH amaliyotida ochiq o'zan o'lchovlari uchun MI 2406-97 tavsiyasi muhim o'rin tutadi. Mazkur hujjat Venturi, lotok va boshqa standart suv o'lchash inshootlari uchun Q_{max} va Q_{min} kabi ko'rsatkichlardan foydalanilishini nazarda tutadi. Hujjatning metodologik ahamiyati shundaki, unda ochiq o'zanlar uchun ham yuqori va pastki ishchi sarf chegaralarini alohida metrologik parametr sifatida ko'rish zarurligi aks etadi [14].

Ichimlik suvi hisoblagichlari bo'yicha yondashuv esa ancha formalashgan. OIML R 49-1:2024 va ISO 4064-1:2014 hujjatlarida suv hisoblagichning oqim tavsifi Q_1 , Q_2 , Q_3 va Q_4 qiymatlari bilan belgilanishi ko'rsatilgan. Bu yerda Q_1 -minimal sarf, Q_2 -o'tuvchi sarf, Q_3 - doimiy yoki nominal ishga yaqin sarf, Q_4 -ortiqcha yuklama sarfi hisoblanadi. Ushbu hujjatlar odatda $Q_2 = 1.6Q_1$ va $Q_4 = 1.25Q_3$ nisbatlarini belgilaydi. Shu bilan birga, suv hisoblagichining metrologik tavsifi ko'pincha Q_3/Q_1 nisbati orqali ifodalanadi. GOST tizimidagi

ichimlik suvi hujjatlari ham shu yondashuvga yaqin. GOST R 50193.1-92 sovuq ichimlik suvi hisoblagichlari uchun texnik va metrologik tavsiflarni, GOST R 50193.2-92 esa o'rnatish talablarini belgilaydi. GOST 8.156-83 hujjatida esa sovuq suv hisoblagichlarini qiyoslash usullari va vositalari ko'rsatilgan. Garchi bu hujjatlar "Smart Channel" qurilmasiga to'g'ridan-to'g'ri tatbiq etilmasa ham, ulardagi asosiy metodologik g'oya — qurilmani minimal, o'tuvchi, nominal va maksimal ish nuqtalarida tekshirish — "Smart Channel" qiyoslash metodikasiga moslashtirilishi mumkin.

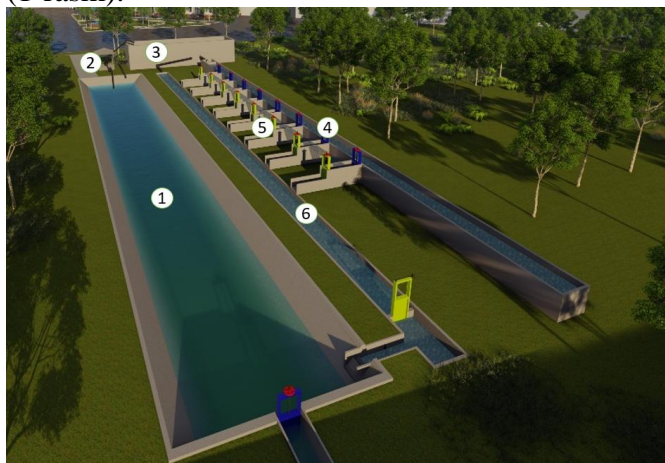
Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, ochiq o'zanlardagi klassik qurilmalarning katta qismi — Parshall, SANIIRI, Tomson, Chipoletti va ularga o'xshash inshootlar — asosan naporni o'lchash orqali suv sarfini aniqlaydi. Bunday yondashuvda erkin oqim, standart geometriya, yuqori va quyi sathlar nisbati hamda boshni yetarli aniqlikda o'lchash imkoniyati hal qiluvchi ahamiyatga ega. Shu sababli bunday qurilmalar ko'milgan rejim, naporning yetishmasligi, erkin oqimning buzilishi yoki o'zan geometrik sharoitlari o'zgaradigan holatlarda cheklanishlarga duch kelishi mumkin.

"Smart Channel" qurilmasining asosiy farqi shundaki, unda suv sarfi napor bo'yicha emas, balki tezlik va tirik kesim yuzi asosida aniqlanadi, ya'ni $Q = \omega \cdot \vartheta$. Bu yondashuv napor-asosli klassik inshootlarga qaraganda boshqacha metrologik asos yaratadi: qurilmaning sezuvchanligi bosh o'lchovining quyi chegarasiga emas, balki minimal o'lchanadigan tezlik, minimal ishchi sath va kesimni aniqlash aniqligiga bog'lanadi. Shu sababli "Smart Channel" uchun qiyoslash metodikasida minimal suv sarfi ikkita darajada qaralishi kerak: birinchisi — minimal tezlik va minimal sathdan kelib chiqadigan nazariy pastki chegara, ikkinchisi — etalon bilan taqqoslash natijasida ruxsat etilgan xatolik doirasida aniqlanadigan metrologik minimal sarf.

Shunday qilib, adabiyotlar va normativ hujjatlar tahlili "Smart Channel" qurilmasining minimal suv sarfi va sezuvchanligini asoslash uchun quyidagi metodologik zaminni beradi: klassik napor-asosli qurilmalardan-pastki ishonchli o'lchash chegarasi tushunchasi, ichimlik suvi hisoblagichlaridan esa minimal, o'tuvchi, nominal va maksimal ish nuqtalarida qiyoslash tamoyili olinishi lozim. Aynan shu yondashuv "Smart

Channel” qurilmasi uchun ilmiy asoslangan qiyoslash metodikasini ishlab chiqish va uning minimal suv sarfini aniqlashga xizmat qiladi.

Material va metodlar. Tadqiqotlar Toshkent viloyati quyichirchiq tumanida joylashgan “Smart Solution System” MCHJ ning “Gidravlika va gidrometriya” laboratoriyasida olib borildi. Laboratoriya asosan 5 ta qismdan iborat bo’lib, 1-zaxira suv rezervuaru, 2-nasos, 3-naporli suv rezervuari, 4-taqsimlash kanali, 5-“Smart Channel” qurilmasi o’rnatish joyi, 6-suv hajmini aniqlash rezervuaridan iborat. Ushbu laboratoriya asosan gidravlik tajribalar o’tkazish uchun mo’ljallangan bo’lib, “Smart Channel” suv sarfini olchash qurilmasini sinashda va qiyoslashda foydalaniladi (1-rasm).



1-rasm. Laboratoriyadagi kanallarining sxematik ko’rinishi.

Labortoriyaning 3-naporli suv rezervuaridan 4-taqsimlash kanaliga suv diametri $d=600$ mm bo’lgan dyuker orqali oqib o’tadi. Aynan ushbu dyukerga DN=600 bo’lgan elektromagnitli sarf o’lchagich o’rnatilgan. Elektromagnitli sarf o’lchagichning xatoligi $\pm 0,5\%$ ni tashkil etadi. Ushbu elektromagnitli sarf o’lchagichdan namunaviy sarf o’lchash vositasi sifatida foydalaniladi. Ya’ni, namunaviy sarf o’lchash vositasidan suv miqdori o’zgarimasdan “Smart Channel” qurilmasidan ham oqib o’tadi. Ikkala suv sarfi qiyoslanib xatoligi aniqlanadi.

Tadqiqotlarning ishonchliligini oshirish maqsadida, laboratoriyaga 6-suv hajmini aniqlash rezervuari qurilgan. “Smart Channel” qurilmasidan oqib o’tgan suv miqdori o’zgarimasdan rezervuarg qayiladi. Ushbu rezervuar yordamida, hajmiy

usulda suv sarfi aniqlanadi. Rezervuar prizmatik shaklida bo’lib, ishchi hajmi 200 m^3 ni tashkol etadi. Rezervuarg suv sathini yuqori aniqlikda o’lchovchi ultratovushli sath o’lchash datchiklari qo’yilgan. Sath o’lchash datchiklari yuborgan ma’lumotlar, yaratilgan algoritm va dasturiy ta’minot asosida, rezervardagi suv hajmi avtomatik ravishda aniqlanadi.

Tajriba obyekti. Tajriba obyekti sifatida “Smart Channel” suv sarfini o’lchash qurilmasining balandligi va eni 60×60 sm bo’lgan namunasi tanlab olindi (2-rasm).



a) Old ko’rinishi

b) Orqa ko’rinishi

2-rasm. “Smart Channel” qurilamsining umumiy ko’rinishi.

“Smart Channel” qurilmalari ochiq ozanlardagi 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 saqlovchi 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 saqlovchi 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.

Tajriba olib borish uslubi. Tajribalarni olib borishda gidravlika va gidrometriyada yoʻnalishida umumqabul qilingan uslublardan foydalanildi. Tajriba olib borish jarayonida, “Smart Channel” Qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfini baholash asosiy maqsad qilib olindi. Laboratoriyada olib borilgan tajribalar quyidagi ketma-ketlikda olib borildi:

1) Tanlab olingan “Smart Channel” qurilmasi laboratoriyaning sinov uchun oʻrnatish joyiga (5) ga oʻrnatildi;

2) Nasos tizimi (2) ishga tushirildi;

3) Namunaviy suv oʻlchash vositasi ishga tushirildi;

4) Suv hajmini aniqlash rezervuari (6) ishga tushirildi.

Tajribalarning har bir bosqichida suv sathi va sarfining oʻzgarishligi boshqaruv zatvorlari yordamida taʼminlandi. Tajribalarning dastlabki bosqichida “Smart Channel” qurilmasi sezuvchanligi aniqlandi. Keyingi bosqichida minimal suv sarfini aniqlash imkoniyti baholandi.

“Smart Channel” suv sarfini oʻlchash qurilmasi tezlik maydon usulida ishlaydi va suv sarfini hisoblaydi. Suv tezligini oʻlchash datchiklari minimal tezlik $v_{\min}=0,5$ sm/s va maksimal tezlik $v_{\max}=500$ sm/s qiymatlarida yuqori aniqlikda ishlaydi deb hisoblanadi. “Smart Channel” suv sarfini oʻlchash qurilmasi kengligi b , suv chuqurligi h_w , maksimal suv chuqurligi h_{\max} va uzunligi L deb belgilab olindi. Qurilmaga oʻrnatilgan tezlik datchiklarning har biri 10-13 sm chuqurlikni qamrab oladi. Shunga koʻra minimal suv sarfiga toʻgʻri keladigan suv chuqurligi $h_w=10-13$ sm oraligʻida qabul qilindi. Qurilmadan oʻtayotgan suv sarfi quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$Q_s = \omega_s \cdot v_s \quad (1)$$

$$\omega_s = b \cdot h_w \quad (2)$$

$$h_w = 10 - 13 \text{ cm} \quad (3)$$

bu yerda: Q_s -“Smart Channel” qurilmasidan oʻtayotgan suv sarfi, ω_s -“Smart Channel” qurilmasidan oʻtayotgan suv oqimining koʻndalang kesim yuzasi, h_w -“Smart Channel” qurilmasidan oʻtayotgan suv oqimining chuqurligi.

“Smart Channel” qurilmasi yuqorida keltirilgan (1) va (2) formulalar yordamida suv sarfini aniqlaydi. Buning uchun dasturiy taʼminot yaratilgan boʻlib maʼlumotlar avtomatik koʻrsatib boriladi.

Namunaviy suv sarfini oʻlchash vositasidan oʻtayotgan suv sarfi ham tezlik maydon usuliga asoslangan boʻlib, quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$Q_n = \omega_n \cdot v_n \quad (4)$$

$$\omega_n = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

bu yerda: Q_n -namunaviy suv sarfini oʻlchash vositasidan oʻtayotgan suv sarfi, ω_n -namunaviy suv sarfini oʻlchash vositasidan oqib oʻtayotgan suv oqimining koʻndalang kesim yuzasi, D - namunaviy suv sarfini oʻlchash vositasining ichki diametri ($D = 600$ mm).

Suv saqlash rezervuariga quyilgan suv hajmidan kelib chiqib suv sarfi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Q_r = \frac{V}{t} \quad (6)$$

$$V = \Omega_r \cdot h_r \quad (7)$$

$$\Omega_r = B \cdot S \quad (8)$$

bu yerda: Q_r -rezervuargacha tushayotgan suv sarfi, V -rezervuardagi suv hajmi, Ω_r -rezervuar asosining yuzasi, h_r -rezervuardagi suv chuqurligi, B va S rezervuar asosining tomonlari.

“Smart Channel” qurilmasi koʻrsatgan suv sarfi va namunaviy sarf oʻlchash vositasidan oʻtayotgan suv sarfi xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$\Delta Q_{sn} = \frac{Q_s - Q_n}{Q_s} \cdot 100\% \quad (9)$$

“Smart Channel” qurilmasi koʻrsatgan suv sarfi va suv hajmini aniqlash rezervuariga tushayotgan suv sarflari orasidagi xatoligi quyidagi formula yordamida aniqlandi:

$$\Delta Q_{sr} = \frac{Q_s - Q_r}{Q_s} \cdot 100\% \quad (10)$$

Natija va muhokama. Tajribaning dastlabki bosqichida “Smart Channel” qurilmasining sezuvchanligini aniqlash masalasida tadqiqotlar olib borildi. Suv chuqurligi 10 dan 50 sm gacha hamda tezlikning 0,1 dan 0,5 sm/s gacha boʻlgan qiymatlarida tajribalar olib borildi. Olib borilgan tajriba natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (1-jadval).

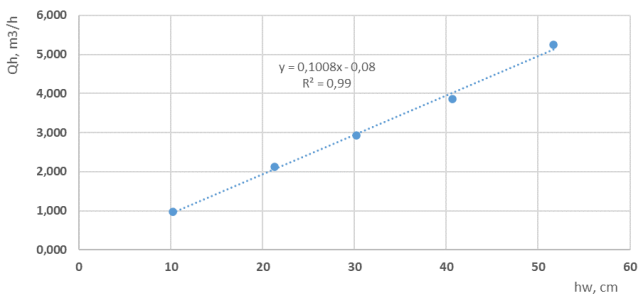
Olib borilgan tajribalar davomida “Smart Channel” qurilmasida suv chuqurligi 10,2 sm boʻlganda, tezlik 0,44 sm/s, suv chuqurligi 21,3 sm boʻlganda, tezlik 0,46 sm/s, suv chuqurligi 30,2 sm boʻlganda, tezlik 0,45 sm/s, suv chuqurligi 40,7 sm boʻlganda, tezlik 0,44 sm/s, suv chuqurligi 51,7 sm

bo'lganda, tezlik 0,47 sm/s qiymatlarini ko'rsatdi. Undan kichik tezliklarni ko'rsatmadi va suv sarfi aniqlanmadi. Chuqurliklar bo'yicha o'rtacha tezlik qiymati 0,45 sm/s ni tashkil etdi. Hisoblash natijalariga ko'ra bir soatdagi suv sarfi har bir chuqurli uchun aniqlandi va quyidagi chiziqli bog'lanish olindi (3-rasm).

1-jadval

Smart Channel qurilmasining sezuvchanligini aniqlash bo'yicha eksperimental natijalar

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan o'qib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi ω_n, sm^2	Qurilmadan o'qib o'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi $\vartheta_n, \text{sm/s}$	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi $Q_n, \text{l/s}$	Bir soatdagi qurilmadan o'qib o'tgan suv sarfi $Q_n, \text{m}^3/\text{s}$
	b	h	h_w				
1	60	60	10,2	612	0,44	0,269	0,969
2	60	60	21,3	1278	0,46	0,588	2,116
3	60	60	30,2	1812	0,45	0,815	2,935
4	60	60	40,7	2442	0,44	1,074	3,868
5	60	60	51,7	3102	0,47	1,458	5,249
O'rtacha qiymat					0,45		



3-rasm. "Smart Channel" qurilmasining chuqurliklar bo'yicha sezuvchanlik sarfi qiymatining o'zgarishi garfigi.

Olingan natijalar matematika va ststistika uslublarida tahlil qilinib, "Smart Channel" qurilmasining 60x60 sm o'lchamidagi sezuvchanlik sarfini aniqlash bo'yicha quyidagi formula ishlab chiqildi.

$$Q_h = 10,008h_w - 0,008 \quad (11)$$

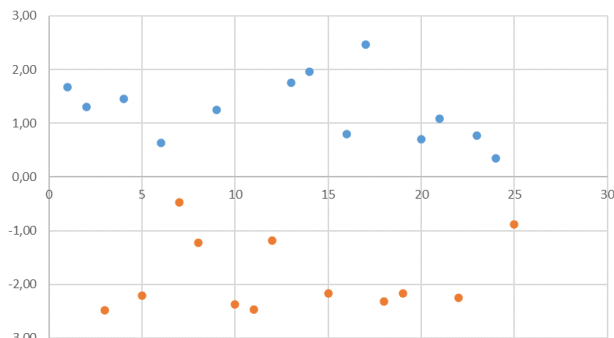
Tadqiqotlarning keying bosqichida "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash bo'yicha tajribalar olib borildi. Qurilmadan o'tayotgan suv chuqurligining 10,1 dan 53,3 sm gacha, oqim tezligining 0,50 dan 0,59 sm/s gacha bo'lgan qiymatlarida tajribalar olib borildi. Qurilmaning o'lchash imkoniyati namunaviy o'lchash qurilmasi sarfi bilan taqqoslandi. Olib borilgan tadqiqot natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (2-jadval):

2-jadval

"Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash jadvali

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan o'qib o'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi ω_n, sm^2	Qurilmadan o'qib o'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi $\vartheta_n, \text{sm/s}$	Qurilmadan o'tayotgan suv sarfi $Q_n, \text{l/s}$	Namunaviy suv sarfini o'lchash vositasi ko'rsatkichi $Q_n, \text{l/s}$	Xatolik qiymati $\Delta Q_n, \%$
	b	h	h_w					
1	60	60	11,3	678	0,51	0,346	0,340	1,67
2	60	60	10,1	606	0,52	0,315	0,311	1,31
3	60	60	12,5	750	0,51	0,383	0,392	-2,48
4	60	60	11,2	672	0,53	0,356	0,351	1,45
5	60	60	10,7	642	0,57	0,366	0,374	-2,20
6	60	60	20,1	1206	0,58	0,699	0,695	0,64
7	60	60	20,3	1218	0,59	0,719	0,722	-0,47
8	60	60	20,5	1230	0,51	0,627	0,635	-1,23
9	60	60	21,4	1284	0,53	0,681	0,672	1,25
10	60	60	22,7	1362	0,52	0,708	0,725	-2,37
11	60	60	29,8	1788	0,56	1,001	1,026	-2,47
12	60	60	30,2	1812	0,51	0,924	0,935	-1,18
13	60	60	30,7	1842	0,52	0,958	0,941	1,76
14	61	61	31,5	1921,5	0,56	1,076	1,055	1,96
15	62	62	30,9	1915,8	0,54	1,035	1,057	-2,17
16	63	63	39,8	2507,4	0,55	1,379	1,368	0,80
17	64	64	40,5	2592	0,57	1,477	1,441	2,47
18	65	65	40,3	2619,5	0,51	1,336	1,367	-2,32
19	66	66	40,9	2699,4	0,50	1,350	1,379	-2,17
20	67	67	41,8	2800,6	0,58	1,624	1,613	0,70
21	68	68	49,7	3379,6	0,51	1,724	1,705	1,08
22	69	69	50,6	3491,4	0,50	1,746	1,785	-2,25
23	70	70	50,3	3521	0,50	1,761	1,747	0,77
24	71	71	50,2	3564,2	0,52	1,853	1,847	0,34
25	72	72	51,3	3693,6	0,53	1,958	1,975	-0,89

Olib borilgan tajribalar natijalari tahlil etildi. Tahlilga ko'ra, "Smart Channel" qurilmasi va namunaviy sarf o'lchash qurilmasi o'rtasidagi xatoliklar + va - ishoralarda qayd etildi. Bu shuni anglatadiki + ishorali xatoliklarda "Smart Channel" qurilmasi sarfi ko'proq, - ishorali xatoliklarda esa kamroq suv sarfini ko'rsatmoqda. Xatolikning eng kichik qiymati 0,34% bo'lgan bo'lsa, eng yuqori qiymati -2,48% ni tashkil etdi. Suv chuqurligi bo'yicha xatolik qiymatlari tahlil etildi va quyidagi bog'lanish olindi (4-rasm).



4-rasm. "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini ko'rsatuvchi grafik.

Tadqiqotlarning ishonchligini ortirish maqsadida hajmiy usulda ham tajribalar olib borildi. "Smart Channel" qurilmasi ustida olib borilayotgan tajribalar davomida namunaviy sarf o'lchash vositasi bilan bir vaqtda hajmiy usulda ham tajribalar olib borildi. Yuqorida ta'kidlaganimizdek, namunaviy sarf o'lchash vositasidan o'tayotgan suv

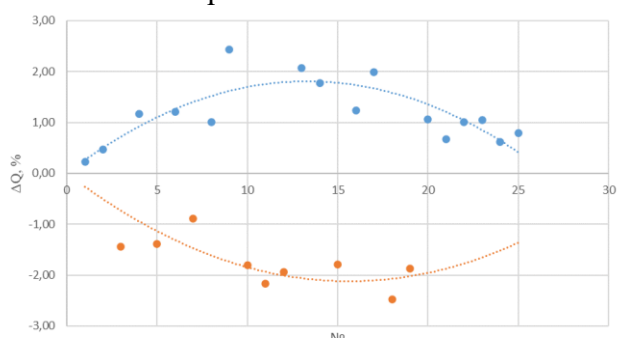
sarfi o'zgarishdan "Smart Channel" qurilmasi o'tadi va suv hajmini aniqlash rezervuariga quyiladi. Suv saqlash rezervuariga tushayotgan suv sarfi hajmiy usulda aniqlanadi. Hajmiy usulda aniqlanadigan suv sarfi formulalari yuqorida (6), (7), (8) keltirilgan bo'lib, yaratilgan dasturiy ta'minot yordamida avtomatik hisoblab boriladi. Hajmiy usulda olib borilgan tadqiqot natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan (3-jadval).

3-jadval

"Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini aniqlash jadvali

№	Qurilmaning o'lchamlari va suv chuqurligi			Qurilmadan oqib q'tayotgan suv oqimining ko'ndalang kesim yuzasi	Qurilmadan oqib q'tayotgan suv oqimining o'rtacha tezligi	Qurilmadan o'rtacha suv sarfi	Hajmiy usulda aniqlangan suv sarfi	Xatolik qiymati
	b	ω_b , cm ²	θ_b , cm/s	ω , sm ²	θ , sm/s	Q_b , l/s	Q_h , l/s	%
1	60	60	11,3	678	0,51	0,346	0,345	0,23
2	60	60	10,1	606	0,52	0,315	0,313	0,47
3	60	60	12,5	750	0,51	0,383	0,388	-1,44
4	60	60	11,2	672	0,53	0,356	0,352	1,17
5	60	60	10,7	642	0,57	0,366	0,371	-1,38
6	60	60	20,1	1206	0,58	0,699	0,691	1,21
7	60	60	20,3	1218	0,59	0,719	0,725	-0,89
8	60	60	20,5	1230	0,51	0,627	0,621	1,00
9	60	60	21,4	1284	0,53	0,681	0,664	2,43
10	60	60	22,7	1362	0,52	0,708	0,721	-1,80
11	60	60	29,8	1788	0,56	1,001	1,023	-2,17
12	60	60	30,2	1812	0,51	0,924	0,942	-1,93
13	60	60	30,7	1842	0,52	0,958	0,938	2,07
14	61	61	31,5	1921,5	0,56	1,076	1,057	1,77
15	62	62	30,9	1915,8	0,54	1,035	1,053	-1,79
16	63	63	39,8	2507,4	0,55	1,379	1,362	1,24
17	64	64	40,5	2592	0,57	1,477	1,448	1,99
18	65	65	40,3	2619,5	0,51	1,336	1,369	-2,47
19	66	66	40,9	2699,4	0,50	1,350	1,375	-1,87
20	67	67	41,8	2800,6	0,58	1,624	1,607	1,07
21	68	68	49,7	3379,6	0,51	1,724	1,712	0,67
22	69	69	50,6	3491,4	0,50	1,746	1,728	1,01
23	70	70	50,3	3521	0,50	1,761	1,742	1,05
24	71	71	50,2	3564,2	0,52	1,853	1,842	0,61
25	72	72	51,3	3693,6	0,53	1,958	1,942	0,80

Hajmiy usulda ham "Smart Channel" qurilmasi sarf o'lchash xatoliklari + va - ishoralarda qayd etildi. Bu shuni anglatadiki + ishorali xatoliklarda "Smart Channel" qurilmasi sarfi ko'proq, - ishorali xatoliklarda esa kamroq suv sarfini ko'rsatmoqda.



5-rasm. "Smart Channel" qurilmasining o'lchash xatoligini ko'rsatuvchi grafik.

Xatolikning eng kichik qiymati 0,23% bo'lgan bo'lsa, eng yuqori qiymati -2,47% ni tashkil

etdi. Suv chuqurligi bo'yicha xatolik qiymatlari tahlil etildi va quyidagi bog'lanish olindi (5-rasm).

Ma'lumki Parshal, Saniiri, Tomson, Chipoletti va shu kabi suv sarfini o'lchash qurilmalarining xatoligining maksimal qiymati $\pm 5\%$ deb qabul qilingan. Olib borilgan eksperimental tadqiqotlar natijasida "Smart Channel" qurilmasining 60x60 cm o'lchami uchun xatolikning maksimal chegarasi $\pm 2,48\%$ yoki $\pm 2,50\%$ qiymatlarda qabul qilish maqsadga muvofiqdir.

Xulosa. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida "Smart Channel" qurilmasining 60x60 sm o'lchamdagi namunasi uchun sezuvchanlik va minimal suv sarfi laboratoriya sharoitida eksperimental ravishda baholandi. Olingan natijalar qurilmaning kichik suv sarflarini qayd etish imkoniyatini amaliy jihatdan asoslashga xizmat qiladi. Tajribalar davomida qurilmaning o'rtacha sezuvchanlik chegarasi 0,45 cm/s ekani aniqlandi va aynan shu tezlik oralig'ida suv sarfi barqaror qayd etilgani sababli ushbu qiymat qurilmaning amaliy sezuvchanlik chegarasi sifatida qaralishi mumkin. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qurilmaning minimal qayd etilgan suv sarfi 0,269 l/s, bir soatlik ekvivalent sarf esa 0,969 m³/soat ni tashkil etdi. Demak, 60x60 sm o'lchamdagi namuna uchun minimal suv sarfi eksperimental tarzda asoslandi va u qurilmaning muhim metrologik tavsiflaridan biri sifatida qabul qilinishi mumkin. Shuningdek, sezuvchanlik bilan suv chuqurligi o'rtasida chiziqli bog'lanish mavjudligi aniqlanib, maxsus empirik formula ishlab chiqildi. Ushbu formula qurilmaning sezuvchanlik sarfini oldindan baholash va qiyoslash nuqtalarini tanlashda muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

Qurilmaning o'lchash aniqligi namunaviy elektromagnit sarf o'lchagich hamda hajmiy usul bilan taqqoslash orqali baholandi. Natijalarga ko'ra, "Smart Channel" qurilmasining xatoligi elektromagnit sarf o'lchagichga nisbatan +2,47% dan -2,48% gacha, hajmiy usulga nisbatan esa +2,43% dan -2,47% gacha oralikda qayd etildi. Bu esa qurilmaning turli chuqurlik va sarf rejimlarida qoniqarli aniqlik bilan ishlashini hamda natijalarning ikki mustaqil usul bilan tasdiqlanganini ko'rsatadi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, "Smart Channel" qurilmasining minimal suv sarfini asoslashda faqat nazariy sezuvchanlik chegarasi emas,

balki etalon vositalar bilan taqqoslash orqali aniqlangan metrologik minimal sarf ham inobatga olinishi zarur. Mazkur tadqiqotda aynan shu yondashuv eksperimental ravishda tasdiqlandi. Qurilmaning ilmiy-amaliy afzalligi shundaki, u klassik napor-asosli qurilmalardan farqli ravishda suv sarfini tezlik va tirik kesim yuzi asosida aniqlaydi. Shu sababli uning sezuvchanligi minimal o'lchanadigan tezlik, minimal ishchi sath va oqim geometriyasiga bog'liq bo'ladi, bu esa uni kichik sarfli va murakkab gidravlik sharoitlarda qo'llash imkoniyatini kengaytiradi.

Shu bilan birga, 60×60 sm o'lchamdagi namunada olingan natijalar qurilmaning laboratoriya sharoitida kichik suv sarflarini aniqlash va

ularni qoniqarli aniqlik bilan qayd etish imkoniyatiga ega ekanini ko'rsatdi. Biroq qurilmaning minimal suv sarfi va sezuvchanlik ko'rsatkichlari konstruktsiya o'lchamlari hamda oqim sharoitiga bog'liq bo'lganligi sababli, boshqa o'lchamdagi modellar uchun alohida eksperimental tadqiqotlar o'tkazish zarur. Umuman olganda, mazkur tadqiqot "Smart Channel" qurilmasining sezuvchanligi va minimal suv sarfi bo'yicha eksperimental asoslangan natijalarni shakllantirib, kelgusida qurilmaning qiyoslash metodikasini ishlab chiqish, texnik hujjatlarni takomillashtirish hamda suv xo'jaligi amaliyotiga joriy etish uchun muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Water and food security. FAO.
- [2] High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. (2015). Water for food security and nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [3] Karimov, S., Akbarov, A., & Jonqobilov, U. (2004). Gidrologiya, gidrometriya va oqim hajmini rostdash (pp. 80–87). Toshkent.
- [4] Otakhonov, M., Atakulov, D., Zokirov, I., & Xudoyshukurov, Q. (2024). Parameter of a parabola-shaped canal method of determination. E3S Web of Conferences, 587, 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458701005>
- [5] United Nations. (2024). The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. UNESCO World Water Assessment Programme.
- [6] Universal Current Meter. (2017). User manual. Turkey.
- [7] Xikmatov, F., Yunusov, G. X., Sagdeyev, N. Z., Turgunov, D. M., & Ziyayev, R. R. (2014). Gidrometriya (pp. 90–93). Toshkent.
- [8] International Organization for Standardization. (1992). ISO 9826: Measurement of liquid flow in open channels — Parshall and SANIIRI flumes.
- [9] Muste, M., Yu, K., Gonzalez, J., & Ansar, M. (2004). Methodology for estimating ADCP measurement uncertainty in open-channel flows. In World Water and Environmental Resources Congress 2004. [https://doi.org/10.1061/40737\(2004\)268](https://doi.org/10.1061/40737(2004)268)
- [10] Chow, V. T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill.
- [11] American Society of Mechanical Engineers. (2009). Standard for verification and validation in computational fluid dynamics and heat transfer (ASME V&V 20-2009).
- [12] Otakhonov, M., Abduraimova, D., Allayorov, D., & Zokirov, I. (2026). Evaluation of velocity distribution in earthen irrigation canals. AIP Conference Proceedings, 3390, 030027. <https://doi.org/10.1063/5.0322728>
- [13] Ali, G., & Maghrebi, M. F. (2023). Modifications to the single-point velocity measurement method for estimating river discharge in low-resource environments. HydroShare. <https://doi.org/10.4211/hs.d8df4d9fdd874cb6a66fa2495e61ab09>
- [14] Petrov, A. A., Kabilov, K. I., Sabirov, M. R., & Jurayev, B. B. (2023). Supplying long-term workability of the old elements of hydraulic facilities by using cold compositions. E3S Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339201038>