ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 8

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SUV SARFINI ANIQLASHDA RADAR TEXNOLOGIYALARINING IMKONIYATLARINI BAHOLASH

Arifjonov Alisher Abdullayevich
Mustaqil izlanuvchi, "O'zbekiston Milliy Metrologiya Instituti" Davlat Muassasasi
Azizov Xurshid Abduhamidovich
Mustaqil izlanuvchi, "O'zbekiston Milliy Metrologiya Instituti" Davlat Muassasasi
To'laganov Fathullo Tohirjonovich
Mustaqil izlanuvchi, "O'zbekiston Milliy Metrologiya Instituti" Davlat Muassasasi
Otaxonov Maqsud Yusufovich
Laboratoriya mudiri "Smart Solutions System" MCHJ
Zokirov Ilhomjon Bahtiyor o'g'li
Tayanch doktorant "TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti
Email: ilhomjonzokirov1@gamil.com

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda ochiq oqimlarda suv sarfini kontaktsiz aniqlash imkoniyatlari radar texnologiyasi asosida baholandi. Tadqiqot obyekti sifatida Bo'zsuv irrigatsiya tizimi boshqarmasi tasarrufidagi Kalkauz kanali bosh inshooti tanlanib, dala o'lchovlari SonTek RS5 Doppler qurilmasi hamda radar oqim o'lchagich yordamida ikki bosqichda amalga oshirildi. Birinchi bosqichda SonTek RS5 orqali kanal kesimi bo'yicha oqimning gidravlik elementlari va kesim bo'yicha tezlik maydoni aniqlanib, "tezlik–maydon" usuli asosida suv sarfi Q_d=28.5 m^3/s hisoblandi. Ikkinchi bosqichda radar qurilmasi yordamida o'lchangan suv sathi va suv sirtidagi tezlik qiymatlari asosida, sirt tezligini o'rtacha tezlikka keltirish uchun tuzatish koeffitsientidan foydalangan holda suv sarfi Q_s=29.1 m^3/s aniqlandi. Natijalar Doppler va radar asosida hisoblangan sarflar o'rtasida 0.6 m^3/s farq mavjudligini, ya'ni Doppler natijasiga nisbatan taxminan 2.1% og'ish kuzatilganini ko'rsatdi. Olingan natijalar radar asosida sarfni uzluksiz va masofadan monitoring qilish imkoniyati mavjudligini, biroq o'rnatish geometriyasi, kesim barqarorligi hamda α koeffitsientni kalibrlash kabi omillar o'lchov aniqligida hal qiluvchi rol o'ynashini tasdiqlaydi.

Kalit sozlar: Radar oqim o'lchagich; SonTek RS5; Doppler; kontaktsiz o'lchash; sirt tezligi; suv sathi; tezlik–maydon usuli; suv sarfi; irrigatsiya kanali.

Аннотация. В данной работе оценены возможности бесконтактного определения расхода воды в открытых руслах на основе радиолокационной технологии. В качестве объекта исследования выбран головной гидроузел канала Калькауз (система орошения Бозсув). Полевые измерения выполнены

ISSN 3030-3907

в два этапа с применением доплеровского прибора SonTek RS5 и радиолокационного расходомера. На первом этапе по данным SonTek RS5 определены основные гидравлические элементы потока и рассчитан расход по методу «скорость–площадь», который составил Q_d=28.5 м^3/с. На втором этапе расход определён по измеренным радаром уровня воды и поверхностной скорости с использованием коэффициента перехода от поверхностной скорости к средней; получено значение Q_s=29.1 м^3/с при площади живого сечения ω=29.2 м^2. Сопоставление результатов показало расхождение 0.6 м^3/с, что соответствует примерно 2.1% относительно доплеровского значения. Полученные результаты подтверждают перспективность бесконтактных измерений для повышения безопасности работ, снижения влияния человеческого фактора и организации дистанционной передачи данных в системах мониторинга водоподачи.

Ключевые слова: Радиолокационный расходомер; SonTek RS5; доплеровский метод; бесконтактное измерение; поверхностная скорость; уровень воды; метод «скорость–площадь»; расход воды; оросительный канал.

Abstract. This study evaluates the feasibility of non-contact discharge measurement in open channels using radar-based technology. The headworks of the Kalkauz Canal (Bozsuv irrigation system) was selected as the study site. Field measurements were carried out in two stages using a SonTek RS5 Doppler instrument and a radar flowmeter. In the first stage, key hydraulic flow parameters were derived from SonTek RS5 measurements, and discharge was computed using the velocity–area method, yielding Q_d=28.5 m^3/s. In the second stage, discharge was estimated from radar-measured water level and surface velocity, applying a conversion coefficient from surface to mean velocity; the obtained value was Q_s=29.1 m^3/s with a wetted cross-sectional area of ω=29.2 m^2. The comparison indicates a difference of 0.6 m^3/s, corresponding to approximately 2.1% relative to the Doppler-based result. The findings demonstrate the potential of non-contact monitoring to improve operational safety, reduce human-factor influence, and enable remote data transmission for real-time flow monitoring in irrigation networks.

Keywords: Radar flowmeter; SonTek RS5; Doppler method; non-contact measurement; surface velocity; water level; velocity–area method; discharge; irrigation canal.

KIRISH.

Ochiq oqimlarda (daryo o‘zanlari, irrigatsiya va kollektor-drenaj kanallari) suv sarfini aniq va uzluksiz o‘lchash suv resurslarini boshqarish, suv taqsimoti

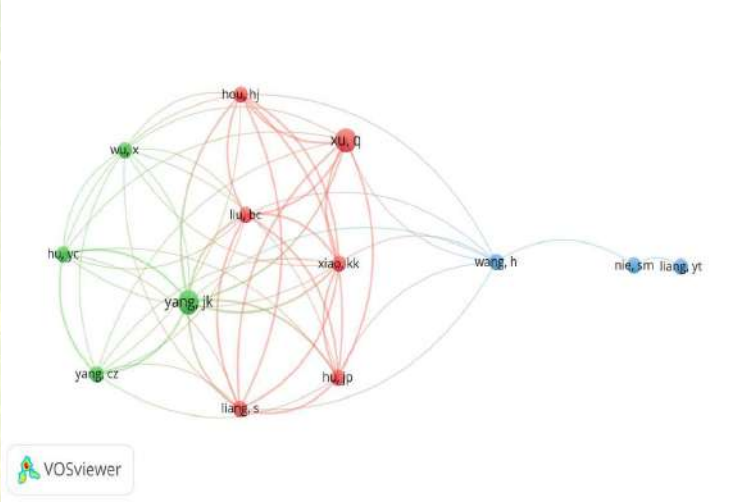
ISSN 3030-3907

hisobi, gidrotexnik inshootlar ekspluatatsiyasi hamda toshqin va kam suv davrlarida tezkor qaror qabul qilish uchun muhimdir. An'anaviy gidrometrik usullar ko'pincha sensorni suv oqimiga tushirishni talab qiladi. Amaliy sharoitda esa yuqori oqim tezligi, loyqa-sediment, muzlash, suzuvchi chiqindilar va xavfsizlik omillari o'lchash jarayonini murakkablashtiradi [1,2]. Shu sababli oxirgi yillarda suv sarfini kontaktsiz aniqlashga xizmat qiladigan texnologiyalarga ehtiyoj ortib bormoqda. Shu yo'nalishda istiqbolli yechimlardan biri-radar asosidagi non-contact gidrometriyadir. Radar sensori suv yuzasiga mikroto'lqinlarni nurlantirib, qaytgan signalning Doppler siljishi orqali sirt tezligini aniqlaydi; suv sathi esa FMCW modulyatsiyasi asosida o'lchanishi mumkin. Keyingi bosqichda sirt tezligi va suv sathi, kesim maydoni ma'lumotlari "tezlik–maydon" konsepsiyasi orqali birlashtirilib, suv sarfi hisoblanadi. Radar texnologiyasi, ayniqsa, yuqori va o'rta suv davrlarida xavfsiz, uzluksiz hamda masofadan monitoring qilish imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Radar gidrometriyasi bo'yicha yirik sharh maqolada radar ma'lumotini yig'ishdan tortib signalni qayta ishlash, Doppler spektrini baholash va sarfni hisoblashgacha bo'lgan ish jarayoni hamda kelajakdagi muammolar tizimli tahlil qilingan [4]. Radar orqali sarf aniqlashning amaliy samaradorligi USGS tajribalarida ham ko'rsatilgan: San Joaquin daryosida radar asosida kontaktsiz sarf o'lchash tizimi baholangan va radar o'lchovlarini kesim yondashuvi bilan integratsiya qilish imkoniyati yoritilgan. Shuningdek, radarlar yordamida sarfni kontaktsiz monitoring qilish bo'yicha klassik ishda bir nechta turdagi radarlar ko'rib chiqilib, non-contact usullarni qo'llashdagi afzallik va cheklovlar baholangan. Keng miqyosli amaliy tekshiruv sifatida esa USGSning 10 ta gidropostida radarlar yordamida sirt tezligi va sarfni baholash bo'yicha tadqiqot muhim natijalar bergan [3,5,6,7].

Biroq radar asosida sarf aniqlashda metrologik jihatdan muhim bo'lgan bir qator masalalar mavjud: (i) o'rnatish geometriyasi (burchak, balandlik, qamrov zonasi), (ii) sirt tezligidan kesim bo'yicha o'rtacha tezlikka o'tish (α koeffitsient), (iii) kesim barqarorligi va cho'kindi-to'planish jarayonlari, (iv) shamol va to'lqinlanishning signalga ta'siri, (v) kalibrlash/verifikatsiya tartibi. Shu sababli maqolada radar yordamida suv sarfini aniqlash metodologiyasini amaliy sharoitlarga mos holda bayon qilish, o'lchash nuqtasini tanlash qoidalarini asoslash va hisoblash bosqichlarini tizimli ko'rsatish dolzarb hisoblanadi. Bundan tashqari, mavzuning ilmiy maydondagi shakllangan yo'nalishlarini ko'rsatish uchun VOSviewer dasturida bibliometrik tahlil ham amalga oshirildi (1-rasm). Mualliflar hamkorligi (co-authorship) tarmog'i bir nechta klasterlarni aniqlab, radar gidrometriyasi bo'yicha tadqiqotlar ko'proq ayrim ilmiy "markazlar" atrofida jamlanganini va hamkorlik aloqalari kuchli ekanini ko'rsatadi. Bu esa

ISSN 3030-3907

yo‘nalish tez rivojlanayotganini, shu bilan birga metodik yondashuvlarni (o‘rnatish shartlari, α kalibrlash, noaniqlik komponentlari) yagona talablarga yaqinlashtirish zarur ekanini tasdiqlaydi [8,9,10].



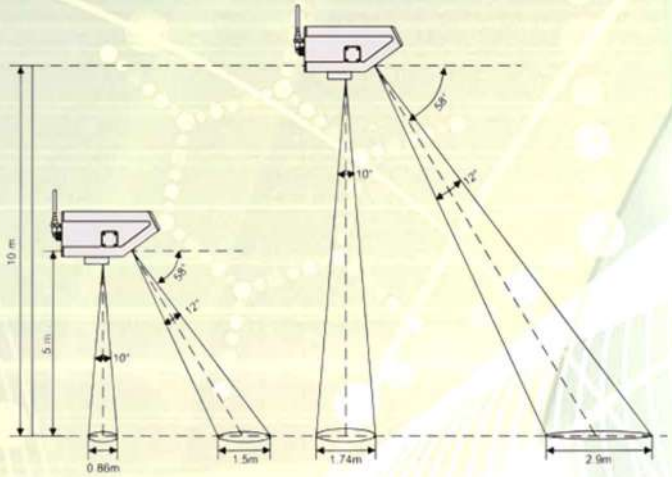
1-rasm. Radar asosida suv sarfini aniqlash mavzusidagi adabiyotlar bo‘yicha mualliflar hamkorligi (co-authorship) tarmog‘i (VOSviewer).

Yuqoridagilardan kelib chiqib, ushbu maqolaning maqsadi-radar texnologiyalariga tayangan holda ochiq oqimlarda suv sathi va sirt tezligini kontaktsiz o‘lchash, ularni kesim yondashuvi orqali birlashtirib suv sarfini hisoblash hamda amaliy o‘rnatish/kalibrlash bo‘yicha tavsiyalarni bayon qilishdan iborat.

METADOLOGIYA. Ushbu tadqiqotda ochiq oqimlarda (daryo o‘zanlari, irrigatsiya va kollektor-drenaj kanallari) suv sarfini uzluksiz kuzatish va baholash uchun kontaktsiz radar texnologiyasiga asoslangan o‘lchash yondashuvi qo‘llanildi. Metodologiyaning asosiy g‘oyasi oqimning gidravlik parametrlarini suv bilan bevosita kontaktga kirmasdan, masofadan turib aniqlashdan iborat. Bunda suv yuzasining sirt tezligi Doppler radari yordamida o‘lchanadi, suv sathi esa FMCW texnologiyasi asosida masofa o‘lchash orqali aniqlanadi. O‘lchangan suv sathi kesimning “tezlik–maydon” usuli bo‘yicha kesim maydoniga o‘tkazilib, sirt tezligi bilan birlashtiriladi va natijada suv sarfi hisoblanadi. Shuningdek, sarfning lahzaviy qiymatlari bilan bir qatorda jamlanma sarfni ham hisoblash imkoniyati mavjud. Tadqiqotda metodik asos sifatida MRCM-600 turidagi radar oqim o‘lchagich qurilmasining ish prinsiplari va funksional imkoniyatlaridan foydalanildi. Ushbu qurilma suv yuzasi tezligi, suv sathi va suv sarfini uzluksiz aniqlashga mo‘ljallangan bo‘lib, planar mikroto‘lqin texnologiyasi asosida kontaktsiz o‘lchashni amalga oshiradi. Qurilma ichki dasturiy ta’minot yordamida kesim bo‘yicha lahzaviy sarfni hisoblaydi, o‘lchash natijalarini raqamli ko‘rinishda uzatadi hamda telemetriya platformalari bilan integratsiya qilishga mos keladi.

ISSN 3030-3907

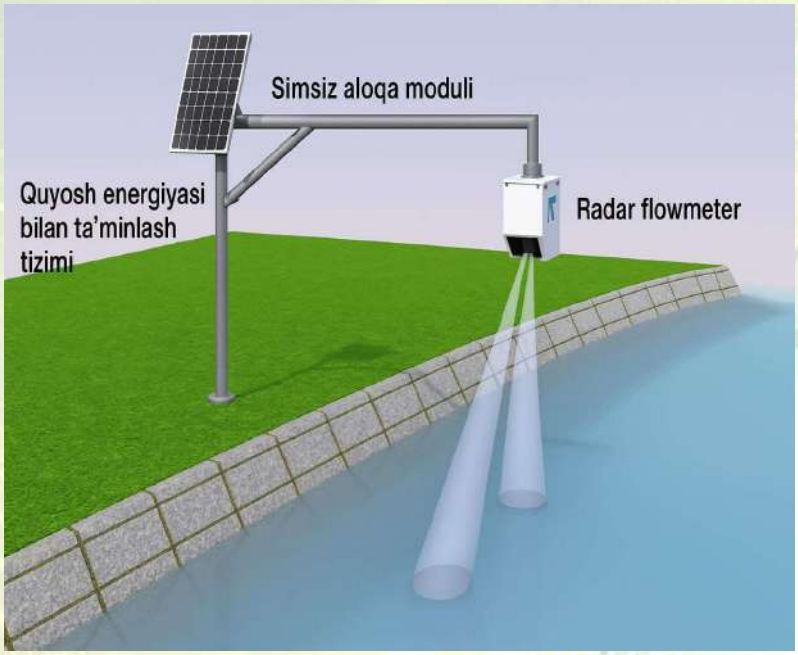
Ma’lumotlar RS485 (Modbus RTU), RS232 yoki 4–20 mA analog chiqishlari orqali uzatilishi mumkin; shuningdek, ixtiyoriy holda 4G, NB-IoT va LoRa texnologiyalari orqali simsiz uzatish ham qo‘llab-quvvatlanadi. Bu yechim o‘lchash natijalarini masofadan nazorat qilish, bulutli platformalarda saqlash va real vaqt rejimida tahlil qilish uchun qulaylik yaratadi (2-rasm).



2-rasm. Radar oqim o‘lchagichni o‘rnatish geometriyasi va qamrov zonasi (o‘rnatish balandligi va nurlanish burchagi bo‘yicha).

Suv sirt tezligini o‘lchash Doppler radari prinsipiga asoslanadi. O‘lchash jarayonida radar datchigi mikroto‘lqinlarni suv yuzasiga yo‘naltiradi; suv sirtidagi mayda to‘lqinlar, notekisliklar hamda harakatlanuvchi sirt elementlaridan qaytgan signal qabul qilinadi va elektr signalga aylantiriladi. Qaytgan signal chastotasidagi siljish Doppler effekti natijasida yuzaga keladi va oqim tezligi bilan bevosita bog‘liq bo‘ladi. Qaytgan signal o‘lchash zanjiri orqali qayta ishlanib, Doppler chastota siljishi ajratib olinadi hamda tezlikni hisoblash uchun spektral tahlil usullaridan foydalaniladi (3-rasm).

ISSN 3030-3907



3-rasm. Kontaktsiz o‘lchash konsepsiyasi: radar flowmeter yordamida suv sathi va sirt tezligini o‘lchash hamda telemetriya orqali ma’lumot uzatish.

Doppler velocimetriyasining mohiyati quyidagicha ifodalanadi: agar radar to‘lqinini uzatuvchi manba va maqsad o‘zaro nisbatan harakatsiz bo‘lsa, qabul qilinadigan chastota uzatilgan chastotaga teng bo‘ladi:

$$f_R = f_0 = \frac{c_0}{\lambda} \quad (1)$$

Bu yerda f_0 — uzatilgan chastota (Hz), f_R — qabul qilinadigan chastota (Hz), c_0— yorug‘lik tezligi (m/s), λ — radar to‘lqin uzunligi (m). Agar nishon radar nuri yo‘nalishi bo‘ylab harakatlansa, qabul signalining chastotasida siljish yuzaga keladi va Doppler siljishi quyidagicha aniqlanadi:

$$f_D = f_R - f_0 \quad (2)$$

Ko‘p amaliy qurilmalarda sirt tezligi Doppler chastota siljishi orqali quyidagi ko‘rinishda ham beriladi:

$$\vartheta_s = \frac{\Delta f\ \lambda}{2\cos\theta} \quad (3)$$

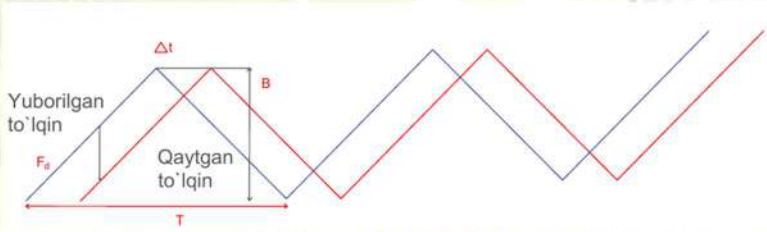
Amaliy o‘lchovlarda radar nuri oqim yo‘nalishiga doim ham to‘liq mos kelmasligi mumkinligi sababli, natijani aniqlashtirish uchun o‘rnatish geometriyasi va burchak omili hisobga olinadi. Agar θ-radar nuri yo‘nalishi bilan oqim yo‘nalishi orasidagi burchak bo‘lsa, oqim yo‘nalishidagi sirt tezligi proyeksiya orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\vartheta_s = \vartheta \cos\theta \quad (4)$$

Bu yerda Δf — Doppler siljish (Hz), λ — radar to‘lqin uzunligi (m). Ushbu formulalarda asosiy jihat shundan iboratki, sirt tezligi Doppler siljishga

ISSN 3030-3907

proporsional, natija esa o‘rnatish burchagi bilan tuzatiladi. Suv sathini o‘lchash FMCW modulyatsiya asosida amalga oshiriladi. Bunda modulyatsiya signali sifatida uchburchak to‘lqin qo‘llanadi: kuchlanish modulyatsiyasi zanjiri uchburchak shaklli kuchlanish hosil qilib, uni VCOga uzatadi; natijada chastotasi vaqt bo‘yicha o‘zgarib boradigan elektromagnit to‘lqin uzatiladi. Antennadan chiqqan elektromagnit to‘lqin suv yuzasidan qaytib kelgach, uzatilayotgan signal bilan aralashtiriladi va farq chastotasi signali hosil bo‘ladi. Ushbu farq chastotasida nishongacha bo‘lgan masofa mujassam bo‘ladi (4-rasm). Farq chastotasi signali odatda kuchsiz bo‘lgani sababli u oldindan kuchaytirish va filtrlash zanjiri orqali qayta ishlanadi hamda MCUning ADC qurilmasiga uzatiladi. Mikrokontroller ADC orqali olingan signalni FFT algoritmi bilan tahlil qiladi va farq chastotasi qiymatini aniqlaydi; so‘ngra hosil bo‘lgan formula orqali sensordan suv yuzasigacha bo‘lgan masofa hisoblanadi.



4-rasm. Suv sathini radar orqali aniqlashda FMCW signalining vaqt–chastota diagrammasi

Radar to‘lqinini uzatuvchi manba va nishon nisbatan tinch holatda bo‘lsa, radar to‘lqinining borib-qaytish vaqti Δt, radar platadan nishongacha masofa S va yorug‘lik tezligi c_0 o‘rtasida quyidagi bog‘lanish mavjud:

$$\Delta t = \frac{2S}{c_0} \quad (5)$$

Uchburchak modulyatsiya chastotasi f bo‘lsa, uning periodi:

$$T = \frac{1}{2f} \quad (6)$$

Farq chastotasi f_d orqali masofa quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \frac{f_d\, c_0}{4fB} \quad (7)$$

Bu yerda B — radar uzatish chastotasining sweep polosasi, f_d— MCU tahlili natijasida olingan farq chastotasi, c_0— yorug‘lik tezligi. Demak, aynan f_d ni aniqlash orqali radar platasi (sensor) bilan suv yuzasi orasidagi masofani hisoblash mumkin bo‘ladi. Suv sathi qiymatini olish uchun o‘rnatish geometriyasiga ko‘ra sensorning nol belgisiga nisbatan o‘rnatilgan balandligi H_0 qabul qilinadi va suv sathi quyidagicha topiladi:

$$h = H_0 - S \quad (8)$$

ISSN 3030-3907

Suv sarfini hisoblash “tezlik–maydon” usuliga asoslanadi. Umumiy holda kesim bo‘yicha sarf o‘rtacha tezlik va kesim maydon ko‘paytmasiga teng:

$$Q = \omega \cdot \vartheta_{o\,rt} \qquad (9)$$

Radar qurilma bevosita sirt tezligini o‘lchaganligi sababli, kesim bo‘yicha o‘rtacha tezlikni sirt tezligi bilan bog‘lash uchun tuzatish koeffitsienti (beton qoplamali kanallarda α=0.8-0.95) dan foydalaniladi. Natijada sarf:

$$Q = \omega \cdot \vartheta_s \cdot \alpha \qquad (10)$$

O‘lchash natijalarining aniqligi va ishonchliligini ta’minlash uchun o‘rnatish joyini tanlash bo‘yicha talablar qat’iy bajariladi. Radar nurlari suv yuzasini to‘liq qamrab olishi, oqim yo‘nalishi sensor yo‘nalishiga maksimal darajada mos bo‘lishi hamda o‘lchash kesimi barqaror (to‘g‘ri uchastka, tubi mustahkam, kesimi o‘zgarmaydigan) bo‘lishi lozim. Suzuvchi obyektlar, girdoblar (vortexlar) va suv o‘simliklari ko‘p bo‘lgan joylarda radar signali buzilishi mumkinligi sababli bunday nuqtalardan qochish tavsiya etiladi. Past suv davrida tubda cho‘kindi to‘planishi, asosiy o‘zan yo‘nalishining siljishi kabi omillar ham o‘lchash xatoliklarini oshirishi mumkin. Shuningdek, o‘lchash kesimi suv oqimi yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lishi, yaqin atrofda oqimga ta’sir qiluvchi bino-inshootlar, daraxtlar yoki begona o‘tlar bo‘lmasligi hamda cho‘kindi yig‘ilishi kuchli uchastkalarda qurilmani o‘rnatmaslik tavsiya etiladi. Qurilma braket orqali quvur/crossbar konstruksiyaga mahkamlanadi; o‘rnatishda sensorning yuqori tekisligi gorizontalga parallel holatda saqlanishi va yo‘nalish oqim tezligi vektoriga mos keltirilishi talab qilinadi. Qurilma texnik hujjatlariga ko‘ra radar tezlik sensori va radar sath sensori uchun nurlanish burchagi 12° bo‘lib, qamrov zonasi mos ravishda ellips/aylana ko‘rinishida shakllanadi; shu sababli o‘rnatish balandligi va geometriyasi radar qamrovining suv yuzasini yetarlicha qamrab olishini ta’minlaydigan qilib tanlanadi.

Shunday qilib, ishlab chiqilgan metodologiya radar asosida sirt tezligi va suv sathini uzluksiz o‘lchab, kesim parametrlarini hisoblash orqali suv sarfini masofadan, kontaktsiz va avtomatlashtirilgan tarzda aniqlashga imkon beradi. Ushbu yondashuv gidrometrik postlar, irrigatsiya tarmoqlari hamda suv hisobini raqamlashtirish tizimlarida sarfni operativ monitoring qilish, telemetriya orqali ma’lumot uzatish va metrologik nazoratni yo‘lga qo‘yish uchun amaliy ahamiyatga ega.

NATIJA VA MUHOKAMALAR. Tadqiqot obyekti sifatida Kalkauz kanali bosh inshooti tanlandi. Mazkur inshoot “Bo‘z suv irrigatsiya tizimi boshqarmasi” tasarrufida bo‘lib, 1953-yilda ishga tushirilgan. Inshoot bilan bog‘liq kanal uchastkasining umumiy uzunligi 1.48 km ni tashkil etadi, shundan 0.68 km qismi beton qoplamali hisoblanadi. Kanal inshootning suv o‘tkazish qobiliyati

ISSN 3030-3907

loyiha ko‘rsatkichlariga ko‘ra maksimal 40.0 m³/s, ishchi (normal) rejimda esa 30.0 m³/s ga teng. Inshoot orqali sug‘oriladigan biriktirilgan maydon 14.982 ga ni tashkil qiladi. Konstruktiv jihatdan inshoot uch ko‘zli yopiq suv chiqarish turiga mansub. Suv olish manbai Bo‘zsuv kanali bo‘lib, suv olish nuqtasi Pk 346+24 da joylashgan (5-ram).

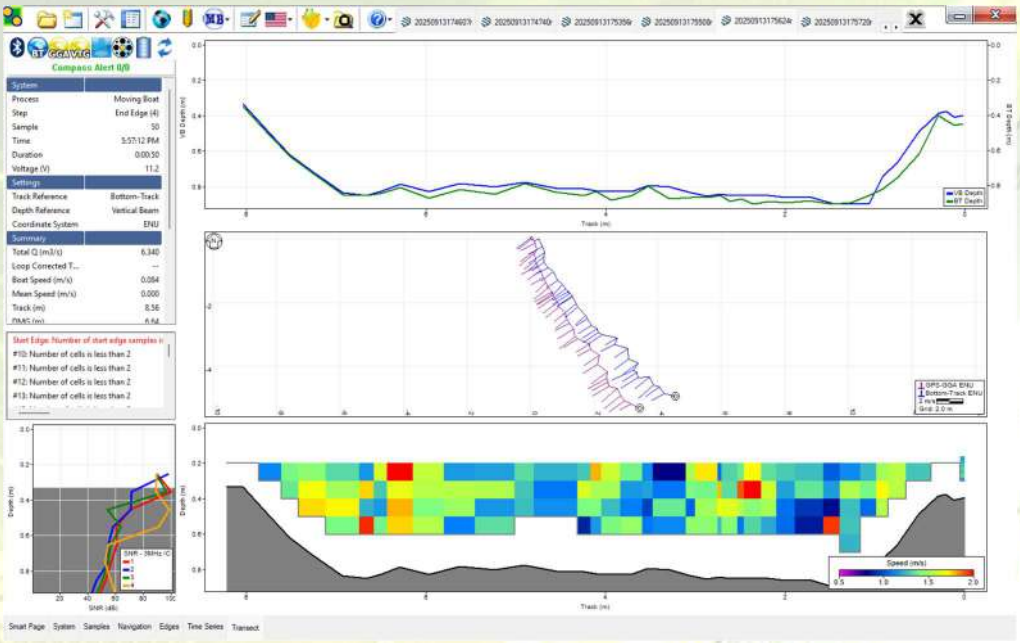


a) Kanal uchastkasi b) geografik joylashuv

5-rasm. Tadqiqot obyektining joylashish sxemasi

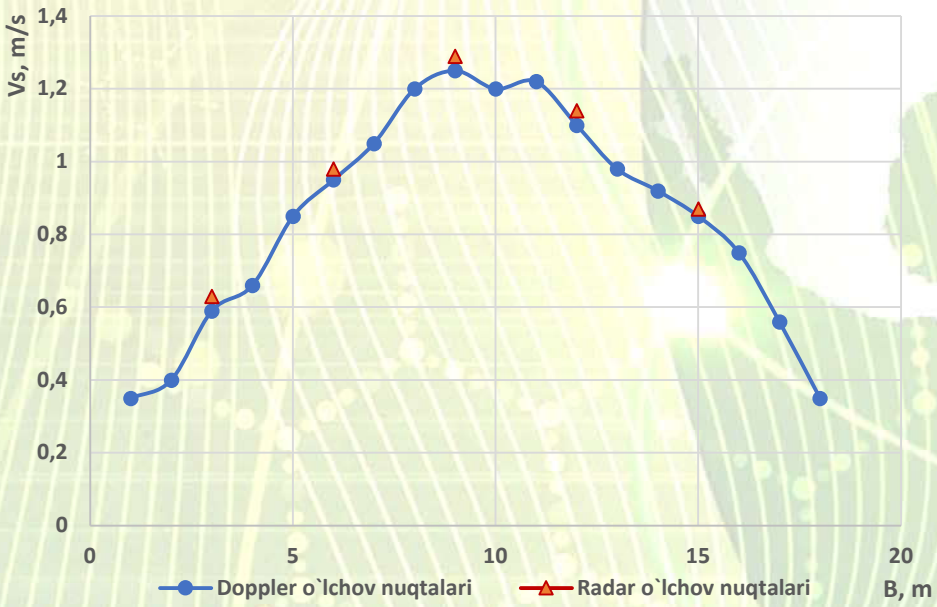
Tanlab olingan kanal uchastkasida SonTek RS5 Doppler hamda radar oqim o‘lchagich qurilmalari yordamida dala o‘lchov ishlari amalga oshirildi. O‘lchovlar ikki bosqichda tashkil etildi. Birinchi bosqichda SonTek RS5 Doppler qurilmasi yordamida kanalning tanlangan ko‘ndalang kesimida oqimning asosiy gidravlik elementlari aniqlanib, keyingi tahlil va solishtirishlar uchun boshlang‘ich ma’lumotlar bazasi shakllantirildi. Xususan, suv sathi (chuqurlik) hhh, kesim geometriyasi, kesim maydoni $\omega = 30\ \text{m}^2$, kesim bo‘yicha tezlik maydoni va o‘rtacha tezlik $\vartheta_{o\,rr} = 0.95$ m/s kabi ko‘rsatkichlar baholandi (6-rasm). Shuningdek, oqimning suv sirtidagi tezlik taqsimoti ham aniqlanib, sirt tezligi ϑ_s ning kesim bo‘yicha o‘zgarishi va uning oqimning umumiy gidravlik holati bilan bog‘liqligi tahlil qilindi.

ISSN 3030-3907



6-rasm. Tanlangan ko‘ndalang kesim bo‘yicha SonTek RS5 Doppler o‘lchov natijalari

Ikkinchi bosqichda radar oqim o‘lchagich qurilmasi tanlangan kesim bo‘yicha 5 ta vertikalda o‘rnatilib, kontaktsiz rejimda suv sirt tezligi hamda suv sathi qayd etildi va “tezlik–maydon” usuli asosida suv sarfi hisoblandi(7-rasm).



7-rasm. Kanal kengligi bo‘ylab sirt tezligining o‘zgarishi: Doppler o‘lchov nuqtalari va radar o‘lchov nuqtalarining solishtirma tahlili.

Birinchi bosqichda SonTek RS5 Doppler qurilmasi yordamida kanal kesimi bo‘yicha o‘lchangan gidravlik ko‘rsatkichlar asosida suv sarfi hisoblab chiqildi. Xususan, Doppler orqali aniqlangan qiymatlar (9)-formula bo‘yicha qayta ishlanib, suv sarfi Q_d=28.5 m^3/s ning qiymati aniqlandi.

ISSN 3030-3907

Ikkinchi bosqichda radar qurilmasi yordamida o‘lchangan suv sathi va suv sirtidagi tezlik qiymatlari asosida suv sarfi hisoblab chiqildi. Bunda harakat kesim yuzasi $\omega = 29{,}2$ m^2, sirt tezligini kesim bo‘yicha o‘rtacha tezlikka keltirish uchun tuzatish koeffitsienti qo‘llanildi va (10)-formula asosida suv sarfi aniqlanib, Q_s=29.1 m^3/s ga teng bo‘ldi.

Radar va Doppler qurilmalari orqali aniqlangan suv sarfi qiymatlari o‘zaro taqqoslanganda, radar usuli bo‘yicha olingan sarf qiymatdan 0.6 m³/s ga yuqori bo‘ldi. Bu farq Doppler natijasiga nisbatan taxminan 2.1% ni tashkil etdi.

$$\Delta Q\% = \frac{|29.1 - 28.5|}{28.5} \times 100 = \frac{0.6}{28.5} \times 100 \approx 2.1\% \qquad (11)$$

XULOSA. Ushbu tadqiqotda Kalkauz kanali bosh inshootida suv sarfini aniqlash uchun SonTek RS5 Doppler va radar oqim o‘lchagich qurilmalari yordamida dala o‘lchovlari amalga oshirildi. Natijalarga ko‘ra, radar asosida hisoblangan sarf Q_s=29.1 m3/s bo‘lib, Doppler usuli bilan olingan Q_d=28.5 m^3/s qiymatdan 0.6 m^3/s (taxminan 2.1%) farq qildi. Mazkur og‘ish amaliy sharoit uchun qoniqarli bo‘lib, radar texnologiyasining irrigatsiya kanallarida suv sarfini baholashda qo‘llash mumkinligini ko‘rsatadi. Kontaktsiz o‘lchov asboblarining asosiy afzalligi shundaki, ular sensorni suv oqimiga tushirmasdan ishlaydi, natijada o‘lchash jarayonida inson omili kamayadi, o‘lchovlar barqarorroq va takrorlanuvchan bo‘ladi hamda xavfli sharoitlarda (yuqori oqim, loyqa, suzuvchi chiqindilar) xodimlar uchun xavfsizlik oshadi. Shuningdek, radar qurilmalarini telemetriya orqali masofadan ma’lumot uzatish tizimlariga ulash imkoniyati suv sarfini real vaqt rejimida monitoring qilish, ma’lumotlarni arxivlash va boshqaruv qarorlarini tezlashtirish uchun muhimdir. Shu bois, irrigatsiya tarmoqlarida suv hisobini raqamlashtirish va operativ nazoratni kuchaytirishda kontaktsiz radar o‘lchov texnologiyalarini joriy etish maqsadga muvofiq deb hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Huang, Y., Chen, H., Liu, B., Huang, K., Wu, Z., & Yan, K. (2023). Radar technology for river flow monitoring: Assessment of the current status and future challenges. Water, 15(10), 1904. https://doi.org/10.3390/w15101904

2. Cheng, R. T., Gartner, J. W., Mason, R. R., Jr., Costa, J. E., Plant, W. J., Spicer, K. R., Haeni, F. P., Melcher, N. B., Keller, W. C., & Hayes, K. (2004). Evaluating a radar-based, non-contact streamflow measurement system in the San Joaquin River at Vernalis, California (Open-File Report 2004–1015). U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/ofr20041015

3. Khan, M. R., Gourley, J. J., Duarte, J. A., Vergara, H., Wasielewski, D., Ayral, P.-A., & Fulton, J. W. (2021). Uncertainty in remote sensing of streams using

ISSN 3030-3907

noncontact radars. Journal of Hydrology, 603, 126809. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126809

4. Chen, Z., Wang, T., Zhao, C., & He, Z. (2023). River discharge inversion algorithm based on the surface velocity of microwave Doppler radar. Remote Sensing, 15(19), 4727. https://doi.org/10.3390/rs15194727

5. Fulton, J. W., Mason, C. A., Eggleston, J. R., Nicotra, M. J., Chiu, C.-L., Henneberg, M. F., Best, H. R., Cederberg, J. R., Holnbeck, S. R., Lotspeich, R. R., Laveau, C. D., Moramarco, T., Jones, M. E., Gourley, J. J., & Wasielewski, D. (2020). Near-field remote sensing of surface velocity and river discharge using radars and the probability concept at 10 U.S. Geological Survey streamgages. Remote Sensing, 12(8), 1296. https://doi.org/10.3390/rs12081296

6. Costa, J. E., Cheng, R. T., Haeni, F. P., Melcher, N., Spicer, K. R., Hayes, E., Plant, W., Hayes, K., Teague, C., & Barrick, D. (2006). Use of radars to monitor stream discharge by noncontact methods. Water Resources Research, 42, W07422. https://doi.org/10.1029/2005WR004430

7. Welber, M., Le Coz, J., Laronne, J. B., Zolezzi, G., Zamler, D., Dramais, G., Hauet, A., & Salvaro, M. (2016). Field assessment of noncontact stream gauging using portable surface velocity radars (SVR). Water Resources Research, 52(2), 1108–1126. https://doi.org/10.1002/2015WR017906

8. Lin, J.-W., Huang, C.-W., & Hsu, Y.-S. (2016). Micro radar surface velocimetry for hydrologic signal processing using a bandpass filtering approach. Water, 8(6), 262. https://doi.org/10.3390/w8060262

9. Son, G., Kim, D., Kim, K., & Roh, Y. (2023). Performance of a rectangular-shaped surface velocity radar for river velocity measurements. KSCE Journal of Civil Engineering, 27, 1077–1092. https://doi.org/10.1007/s12205-023-0272-0

10. Plant, W. J., Keller, W. C., & Hayes, K. (2005). Measurement of river surface currents with coherent microwave systems. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43(6), 1242–1257. https://doi.org/10.1109/TGRS.2005.845641

ISSN 3030-3907