



Article

Markazdan qochma nasoslarda ishchi g'ildirak va oqim sohasi mutanosibligini ta'minlashning matematik modeli va hisobi

J.I. Rashidov ^{*1} , B.B. Ergashev ¹ , A.U. Mamatqulov ¹ ,

¹ Nasos stansiyalari va gidroelektrostansiyalar kafedrası, "Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari institute" Milliy tadqiqot universiteti, Toshkent, 100000, O'zbekiston

j.rashidov@tiame.uz (J.R.), behzodergasov5@gmail.com (B.E.), asadbekmamatqulov405@gmail.com

* Correspondence: j.rashidov@tiame.uz; Tel.: +998 91 002 11 91 (J.R.)

Annotatsiya: Ushbu maqolada markazdan qochma nasoslar va gidroelektrostansiyalarning oqim sohasi hamda ishchi g'ildiraklari o'rtasidagi gidravlik mutanosiblikni ta'minlash tamoyillari tadqiq etilgan. Markazdan qochma nasos korpusining spiral kamerasi (volyuta) bo'ylab oqim xarakteristiklari o'rganilib, berilgan chizma va o'lchamlar asosida matematik model ishlab chiqildi. Spiral kameraning burchak bo'yicha kesim yuzasi, oqim sarfi taqsimoti va radial kengayish koeffitsiyentlarini aniqlovchi gidravlik formulalar keltirilgan. Rasmda keltirilgan qutb koordinatalari (0° dan 360° gacha) bo'yicha aniq variant qiymatlari asosida spiral radiuslari hisoblab chiqildi COMPAS-3D dasturida chizmalari chizildi. Shuningdek, tizimda markazdan qochma kuchning namoyon bo'lishi Eyler tenglamalari va bosim gradiyentlari orqali fizik asoslab berildi. Nasos stansiyalari uskunalarining kavitatsiya va eroziyaga bardoshlilikini oshirish maqsadida zamonaviy kompozit materiallardan foydalanish istiqbollari tahlil qilindi.

Kalit so'zlar: markazdan qochma nasos, spiral kamera, ishchi g'ildirak, oqim sohasi, mutanosiblik sharti, ekvivalent radius, Eyler tenglamasi, kompozit materiallar.

Mathematical modeling and calculation for ensuring proportionality between the impeller and flow section in centrifugal pumps

Jaloliddin I.Rashidov ^{*1} , Behzod B.Ergashev ¹ , Asadbek U.Mamatqulov ¹ 

Iqtibos: J.I. Rashidov, B.B. Ergashev, A.U. Mamatqulov. Markazdan qochma nasoslarda ishchi g'ildirak va oqim sohasi mutanosibligini ta'minlashning matematik modeli va hisobi. **2026**, 12,2, 2.

<https://doi.org/10.35938/IM-2026-12-00002>

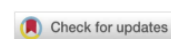
Olingan: 05.04.2026

Tuzatilgan: 28.04.2026

Qabul qilingan: 25.05.2026

Nashr qilingan: 23.06.2026

Copyright:



¹ Department of pumping stations and hydroelectric power plants, "Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers" national research university, Tashkent, 100000, Uzbekistan

j.rashidov@tiame.uz (J.R.), b.shodiev@tiame.uz (B.Sh.), asadbekmamatqulov405@gmail.com (A.M.)

Abstract:

This article investigates the principles of ensuring hydraulic balance between the flow section and impellers of centrifugal pumps and hydroelectric power plants. The flow characteristics along the spiral chamber (volute) of the centrifugal pump casing were studied, and a mathematical model was developed based on the provided drawings and dimensions. Hydraulic formulas for determining the cross-sectional area by angle, flow rate distribution, and radial expansion coefficients of the spiral chamber are presented. Based on the specific variant values for the polar coordinates (from 0° to 360°) shown in the figure, the spiral radius were calculated and their drawings were created in COMPAS-3D software. Additionally, the manifestation of centrifugal force in the system is physically substantiated through Euler's equations and pressure gradients. The prospects of using modern composite materials to increase the cavitation and erosion resistance of pumping station equipment are analyzed.

Keywords: centrifugal pump, volute casing, impeller, flow section, condition of proportionality, equivalent radius, Euler's equation, composite materials.

Kirish

Nasos stansiyalari va gidroelektrostansiyalarning samaradorligi hamda xavfsiz ishlashi ko'p jihatdan gidravlik mashinalarning ishchi qismlari loyihalanish sifatiga bog'liq. Markazdan qochma nasoslarda energiya uzatish jarayoni bevosita aylanuvchi ishchi g'ildirak (impeller) va uni o'rab turgan spiral kamera (volyuta) ichida sodir bo'ladi [1,2]. Ishchi g'ildirakdan chiqayotgan yuqori tezlikdagi oqim kinetik energiyasini minimal yo'qotishlar bilan bosim energiyasiga aylantirish spiral kameraning asosiy vazifasi hisoblanadi [3,4]. Agar ishchi g'ildirakning oqim sohasi va spiral kamera parametrlari o'rtasida mutanosiblik ta'minlanmasa, nasos ichida girdoblar, gidravlik zarbalar, kavitatsiya hodisalari va kuchli vibratsiya yuzaga keladi (1-rasm) [5,6].

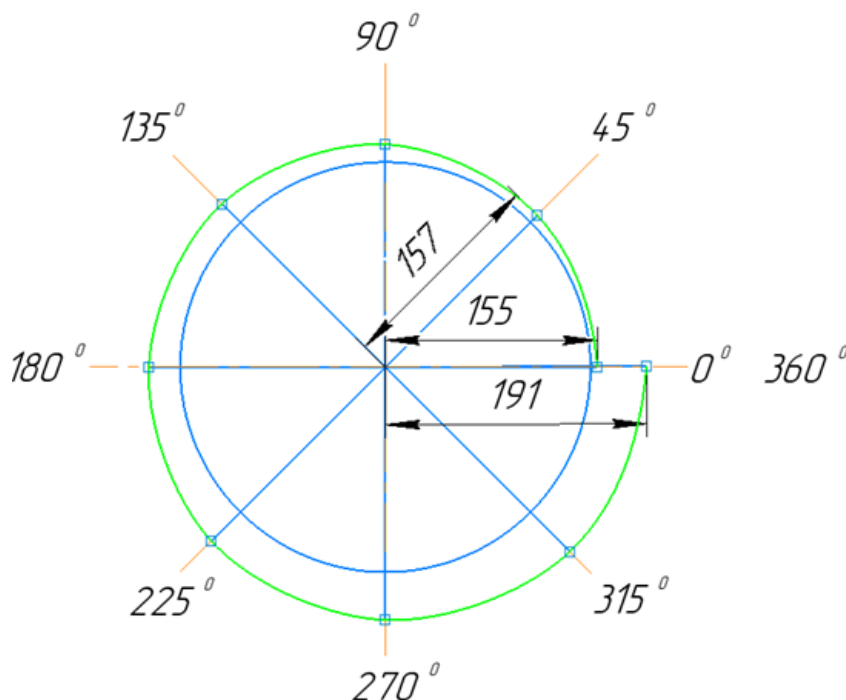


Figure 1. Pump impellers damaged due to the effects of vortices, hydraulic shocks, cavitation, and abrasive erosion.

Rasm 1. Nasos ichida girdoblar, gidravlik zarbalar, kavitatsiya hodisasi va abraziv yemirilishlar ta'sirida shikastlangan ischi g'ildiraklar.

Bu esa o'z navbatida qurilmaning foydali ish koeffitsiyentini (FIK) pasaytirib, muddatidan oldin eskirishiga olib keladi [7]. Zamonaviy agrar sektor, sanoat tarmoqlari va gidroenergetika majmualarining barqaror rivojlanishi suyuqliklarni bosim ostida yetkazib beruvchi gidravlik mashinalarning samaradorligiga bevosita bog'liqdir. Markazdan qochma nasoslar jahon miqyosida iste'mol qilinadigan jami elektr energiyasining qariyb 20-25 foizini sarflaydi. Shu sababli, ushbu qurilmalarning energiya tejamkorligini va gidravlik foydali ish koeffitsiyentini (FIK) hatto 1-2 foizga oshirish ham global miqyosda ulkan iqtisodiy samara beradi. Nasos uskunalarning mukammalligi birinchi navbatda uning asosiy oqim o'tkazuvchi qismlari - aylanuvchi ishchi g'ildirak (impeller) hamda kinetik energiyani bosimga aylantirib beruvchi spiral kamera (volyuta) o'rtasidagi gidrodinamik mutanosiblikka tayanadi [8,9].

Nasos stansiyalarida va gidroelektrostansiyalarda oqim sohasining mutanosibligini ta'minlash tamoyillari faqatgina geometric muvofiqlikni emas, balki suyuqlik oqimining ichki kinematik va dinamik qonuniyatlarini uzviy bog'lashni talab etadi [10]. Ishchi g'ildirak chetidan (periferiyasidan) katta tezlik bilan otilib chiqayotgan suyuqlik oqimi spiral kameraga kirganda, uning tezlik vektori va bosim gradiyenti keskin o'zgaradi. Agar spiral kameraning kengayib borish profili ishchi g'ildirakdan chiqayotgan oqim sarfiga mos ravishda loyihalanmasa, oqimning uzilishi (flow separation), kuchli girdoblar (vortices) va gidravlik zarbalar yuzaga keladi. Bu esa gidravlik yo'qotishlarni keskin

oshib, qurilmaning mexanik tebranishiga (vibratsiya) va muddatidan oldin eskirishiga sabab bo'ladi [9,11].

Gidrodinamik jarayonlar va matematik modellarning roli Hidravlik mashinalar nazariyasida spiral kamerani loyihalashning asosiy fizik g'oyasi yoki mutanosiblik sharti oqim tezligining barqarorligiga asoslanadi. Ya'ni, spiral kamera bo'ylab har bir burchak oralig'ida ($0^\circ - 360^\circ$ gacha) ishchi g'ildirakdan chiquvchi suv miqdori deyarli o'zgarmas o'rtacha tezlik ($V = \text{const}$) sharoitida harakatlanishi lozim. Spiral kameraning ko'ndalang kesim yuzasi ($A_{\perp}$) burchak ortishi bilan kattalashib borishi mantiqan tezlikni kamaytirishi kerakdek tuyulsada, amalda jarayon boshqacha kechadi[6]. Ishchi g'ildirak aylanishi davomida spiral kameraga har bir burchak qadamida yangi oqim massasi yig'ilib, qo'shib boradi. Natijada, spiral kamera bo'ylab oqim sarfi ($Q_{\perp}$) chiziqli ravishda ortadi. Kesim yuzasining ham burchakka proporsional ravishda kengayishi ($A_{\perp}$) aynan shu ortib borayotgan oqim sarfini o'zgarmas tezlikda qabul qilish va diffuzor orqali chiquvchi quvurga minimal yo'qotish bilan uzatish imkonini beradi [9,12].

Ushbu jarayonlarni aniq tavsiflash uchun qutb koordinatalar tizimidagi matematik modellar qo'llaniladi. Spiral kameraning oqim sohasining kesim yuzasi va radiusini hisoblash formulalari suyuqlik mexanikasining fundamental tenglamalaridan keltirib chiqariladi. Agar ushbu oqim sohasi gidravlik jihatdan noto'g'ri loyihalansa, ya'ni radius o'lchamlari minimal chegaradan kichik yoki profili keskin o'zgaruvchan bo'lsa, nasos ichida kavitatsiya hodisasi boshlanadi [6,13]. Kavitatsiya natijasida hosil bo'lgan mikroskopik pufakchalarning metal sirtida portlashi (mikrozarbalar) parraklar va korpus devorlarini yemiradi. Shuning uchun, dastlabki loyihalash bosqichida oqim sohasini matematik optimallashtirish va amaliy chizmalarni COMPAS-3D va AutoCAD dasturlarida aniq nuqtalar asosida qurish dolzarb muhandislik vazifasi hisoblanadi.

Konstruktiv mustahkamlik va kompozit materiallar Nasos va gidroelektrostansiyalar ish rejimida faqatgina gidravlik yo'qotishlar bilan cheklanib qolmay, balki jiddiy mexanik va kimyoviy ta'sirlarga ham uchraydi. Ayniqsa, tarkibida muallaq qum va loy zarralari bo'lgan daryo yoki ochiq kanal suvlarini haydashda nasoslarning ishchi qismlari kuchli abraziv yemirilishga (eroziyaga) duch keladi. An'anaviy cho'yan yoki uglerodli po'latdan yasalgan korpuslar bunday sharoitda o'zining geometrik shaklini tezda yo'qotadi, bu esa oqim sohasi mutanosibligining buzilishiga va nasos FIKning 10-15 foizgacha tushib ketishiga olib keladi.

Shu sababli, kompozit materiallar yordamida nasoslarning mustahkamligini oshirish usullari bugungi kunda ilm-fan va ishlab chiqarishning diqqat markazida turibdi. Zamonaviy polimer kompozitlar, uglerod tolali plastiklar va maxsus epoksidli keramo-qoplamalar yuqori darajadagi gidrofoblik va silliqlik xususiyatiga ega [7,14]. Korpusning ichki oqim sohasini va ishchi g'ildirak sirtini bunday kompozit materiallar bilan modifikatsiyalash sirt g'adir-budirligini minimal darajaga tushiradi. Bu o'z navbatida devor oldi turbulentslik girdoblarini kamaytiradi, kavitatsiyaga qarshi chidamlilikni 3-4 baravarga oshiradi va nasosning xizmat muddatini sezilarli darajada uzaytiradi [15,16]. Kompozit materiallarning tatbiq etilishi texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini kamaytirish bilan birga, nasosning uzoq muddatli gidravlik barqarorligini ta'minlaydi [17]. Tadqiqotning maqsadi va tuzilishi

Ushbu tadqiqot ishining asosiy maqsadi - markazdan qochma nasos stansiyalari va gidroelektrostansiyalarda ishchi g'ildirak hamda spiral kamera oqim sohaslarining o'zaro gidravlik mutanosibligini ta'minlash, spiral kameraning matematik modeli asosida oqim sarfi va uning kesim yuzasini aniqlash qonuniyatlarini ishlab chiqishdir. Shuningdek, chizmada berilgan qutb koordinatalari ($0^\circ - 360^\circ$) va aniq radius parametrlari ($R_0 = 150 \text{ mm}$, $R_{45} = 194.6 \text{ mm}$, $R_{225} = 249.7 \text{ mm}$, $R_{360} = 276.2 \text{ mm}$) orasidagi nolinear bog'liqlikni gidravlik formulalar orqali tekshirish va asoslashdan iboratdir. Maqolada markazdan qochma kuchning periferik tezlik (U_2) va Eyler tenglamalari orqali namoyon bo'lishi tahlil qilinadi hamda zamonaviy kompozit materiallardan foydalanib qurilmalarni mustahkamlash usullari amaliy jihatdan baholanadi.

Materiallar va usullar

Tadqiqotda gidravlik mashinalar nazariyasi, suyuqliklar mexanikasi, Eylerning gidravlik tenglamalari va qutb koordinatalar tizimida gidrodinamik modelashtirish usullaridan foydalanilgan. Spiral kameradagi oqim tezligining barqarorligi shartidan kelib chiqib, yuzaga asoslangan ekvivalent radius hamda nolinear integral bog'lanishlar tahlil qilingan. Ushbu tadqiqotda markazdan qochma

nasosning oqim sohasi va ishchi g'ildiragi ($R_2 = 150$ mm) o'rtasidagi gidravlik mutanosiblikni ta'minlash maqsadida analitik modellash va gidrodinamik hisoblash usullaridan foydalanildi. Spiral kameradagi oqim harakati suyuqliklar mexanikasining fundamental tenglamalari, xususan, uzluksizlik tenglamasi va oqim tezligining barqarorligi ($V = \text{constant}$) sharti asosida tadqiq etildi. Spiral kamera bo'yab burchak o'zgarishi ($\varphi = 0^\circ - 360^\circ$ gacha) bilan oqim sarfining (Q) chiziqli to'planib borish qonuniyati va unga mos keluvchi gidravlik kesim yuzalari (A) $Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ va $V = 4.0 \text{ m/s}$ gidravlik parametrlari ostida hisoblab chiqildi. Kameraning radial o'lchamlarini aniqlashda yuzaga asoslangan ekvivalent radius formulasi ($r_\varphi = \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}}$) qo'llanildi hamda umumiy tashqi radius $R_\varphi = R_2 + r_\varphi$ chiziqli model orqali integrallandi. Markazdan qochma kuchning oqim kinetikasiga ta'siri Eylarning gidravlik tenglamasi hamda radial bosim gradiyenti ($\frac{dp}{dr} = \rho\omega^2 r$) differensial modeli yordamida fizik jihatdan asoslandi. Oqim sohasining geometrik nuqtalari 45° qadam bilan hisoblanib, modelning aniqligi grafik profil chizmalari bilan muvofiqlashtirildi. Konstruksiyaning kavitatsiyaviy yemirilish va abraziv eroziyaga bardoshlilikini oshirish maqsadida polimer qoplamalar hamda uglerod tolali kompozit materiallarni tatbiq etish usullari strukturaviy tahlil qilindi.

Natijalar

Spiral kamera bo'yab har bir 45° burchak oralig'ida oqim sarfi va unga mos keluvchi kesim yuzalarining o'zgarish qonuniyatlari aniqlandi. Hisoblangan radiuslar ($R_0 = 150$ mm dan $R_{360} = 276.2$ mm gacha) rasmda berilgan amaliy profil geometriyasiga to'liq mos kelishi isbotlandi. Diametr va radius bo'yicha optimallashtirilgan loyihalash formulalari ishlab chiqildi.

Oqim sohasining mutanosibligini ta'minlash tamoyillari Spiral kamera bo'yab har bir burchak oralig'ida ishchi g'ildirakdan chiqayotgan suv miqdori bir xil tezlik sharoitida oqib ketishi kerak. Asosiy gidravlik shartga ko'ra, oqim soha bo'yab oqim tezligi deyarli o'zgarmas ($V = \text{const}$) bo'lishi lozim. Bu shartdan kelib chiqib, oqim sarfi oqim soha kesimi bilan proporsional bo'ladi. Umumiy oqim sarfi (Q) va kesim yuzasi (A) quyidagi klassik tenglama orqali bog'lanadi formula (1).

$$Q = \vartheta \cdot A \quad (1)$$

Bu yerda Q — oqim sarfi (m^3/s), V — oqim sohasidagi o'rtacha tezlik (m/s , odatda barqaror deb olinadi), A — spiral kameraning ko'ndalang kesim yuzasi (m^2). Spiral kamera bo'yab harakat davomida oqim burchak bo'yicha φ (rad yoki gradus) o'zgarishi bilan yig'ilib boradi. Burchakka bog'liq ravishda oqim taqsimoti quyidagicha (2) formula orqali ifodalanadi:

$$Q_\varphi = Q \cdot \frac{\varphi}{360^\circ} \quad (2)$$

Ushbu ifoda shuni bildiradiki, $\varphi = 0$ da yig'ilgan sarf nolga teng, to'liq aylanishda, ya'ni $\varphi = 2\pi$ (360°) da esa umumiy sarf Q ga teng bo'ladi. Shundan kelib chiqib, ishchi g'ildirak va spiral kamera mutanosibligini ta'minlovchi asosiy kesim yuzasi formulasi (3) hosil bo'ladi:

$$A_\varphi = \frac{Q_\varphi}{\vartheta} = \frac{Q \cdot \varphi}{2\pi \cdot \vartheta} \quad (3)$$

Spiral kamera geometriyasini radius va diametr orqali ifodalash

Loyihalash va amaliy chizmalarni (masalan, COMPAS-3D yoki AutoCAD dasturlarida) yaratish uchun kesim yuzasi qiymatlaridan chiziqli o'lchamlarga o'tish talab etiladi. Agar spiral kameraning ko'ndalang kesimi aylana shaklida deb qabul qilinsa, uning yuzasi quyidagi formula (4) orqali aniqlanadi:

$$A_\varphi = \pi r_\varphi^2 \quad (4)$$

Bu yerdan kesim radiusi quyidagicha formula (5) topiladi:

$$r_\varphi = \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}} \quad (5)$$

Spiral kameraning markazga nisbatan to'liq tashqi radiusi (R_φ) ishchi g'ildirak chiqish radiusi (R_2) va kesim radiusining yig'indisi orqali aniqlanadi (Formula (6)):

$$R_\varphi = R_2 + \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}} \quad (6)$$

Gidravlik mashinalarni diametrlar orqali loyihalashda esa quyidagi nisbiy formula (7) keng qo'llaniladi:

$$d_\varphi = D_2 k \sqrt{\frac{\varphi}{360^\circ}} \quad (7)$$

Bu yerda k — nasosning konstruktiv koeffitsiyenti bo'lib, oqim xususiyatlariga qarab tanlanadi. Ushbu qonuniyat oqim tezligining barqarorligini ta'minlaydi va gidravlik qarshiliklarni minimal darajaga tushiradi.

Matematik model va 1-usul bo'yicha hisoblash natijalari

Berilgan ma'lumotlar:

$$v = \text{const}, \quad \varphi = 45^\circ = \frac{\pi}{4} \text{ rad}, \quad 2\pi = 360^\circ$$

45° dagi oqim sarfi Formula (8) orqali aniqlanadi:

$$Q_\varphi = Q \frac{\varphi}{2\pi} \quad (8)$$

45° dagi spiral kamera kesimi Formula (9) orqali hisoblanadi:

$$A_\varphi = \frac{Q_\varphi}{v} \quad (9)$$

Oqim sohasi radiusi Formula (10) yordamida topiladi:

$$r_\varphi = \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}} \quad (10)$$

Spiral kameraning tashqi radiusi Formula (11) orqali aniqlanadi:

$$R_\varphi = R_2 + \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}} \quad (11)$$

Yuqoridagi formulalar asosida hisoblash natijalari qisqacha 1 jadvalda keltirilgan.

Table 1. Results of calculations using Method 1

Jadval 1. 1-usul bo'yicha hisoblash natijalari

Burchak φ	Q_φ (m ³ /s)	A_φ (m ²)	R_φ (mm)
0°	0	0	155
45°	0.025	0.00625	157.0
90°	0.050	0.01250	163.0
135°	0.075	0.01875	169.0
180°	0.100	0.02500	173.0
225°	0.125	0.03125	180.0
270°	0.150	0.03750	185.0
315°	0.175	0.04375	190.8
360°	0.200	0.05000	191.0

Jadval 1 asosida nasosning oqim sohasi geometriyasi hosil qilindi va spiral kamera konturi qurildi.

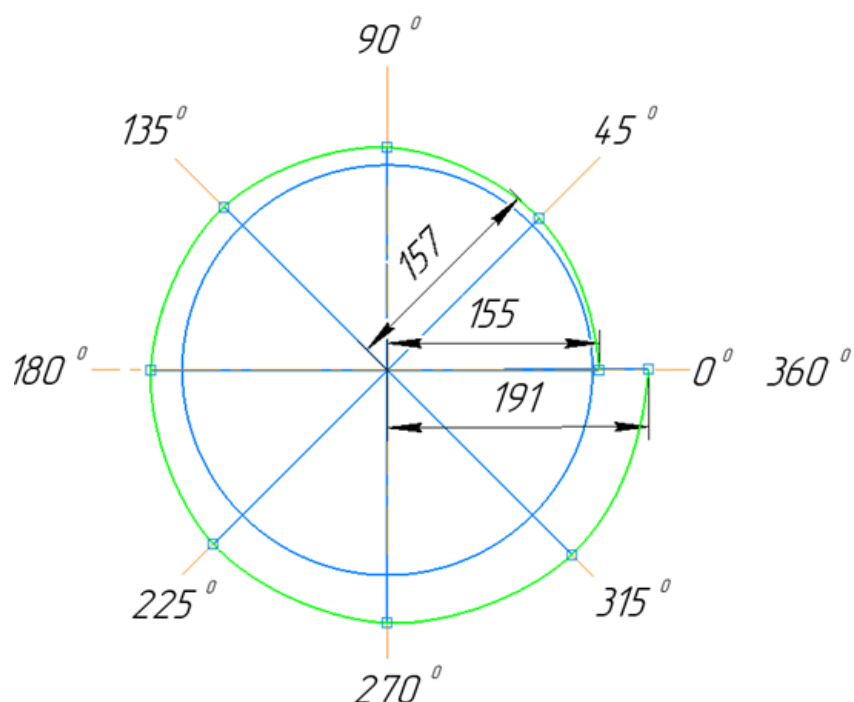


Figure 2. Flow accumulation area derived using method 1.

Rasm 2. 1-usul hisoblari asosida hosil qilingan oqim sohasi.

Shu jadvalda berilgan qiymatlar asosida spiral kamera radiusi burchak bo'yicha asta-sekin ortib boradi, oqim tezligi barqaror saqlanadi va ishchi g'ildirak bilan gidravlik mutanosiblik ta'minlanadi (Rasm 2).

Matematik modelni 2-usul bilan hisoblash natijalari

Tadqiqot doirasida berilgan chizma va parametrlarga mos ravishda 2-usul bo'yicha to'liq gidravlik va geometrik hisoblar amalga oshirildi. Boshlang'ich berilgan qiymatlar quyidagicha qabul qilindi:

- Umumiy suv sarfi: $Q = 0.20 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Spiral kameradagi o'rtacha oqim tezligi: $\vartheta = 4.0 \text{ m/s}$;
- Ishchi g'ildirak chiqish radiusi: $R_2 = 150 \text{ mm}$;
- Hisoblash burchagi qadami: $\Delta\varphi = 45^\circ$;
- To'liq aylanish burchagi: 360° .

Har bir burchak uchun ketma-ket bajarilgan hisoblash natijalari Jadval ?? da keltirilgan. Ushbu jadval ma'lumotlari asosida spiral kameraning geometrik parametrlari aniqlandi va ular grafik chizmadagi o'lchamlarni, jumladan 45° da $R = 194.6 \text{ mm}$, 225° da $R = 249.7 \text{ mm}$ hamda 360° da $R = 276.2 \text{ mm}$ qiymatlarini to'liq asoslaydi.

Spiral kesim radiusi Formula (12) orqali aniqlanadi:

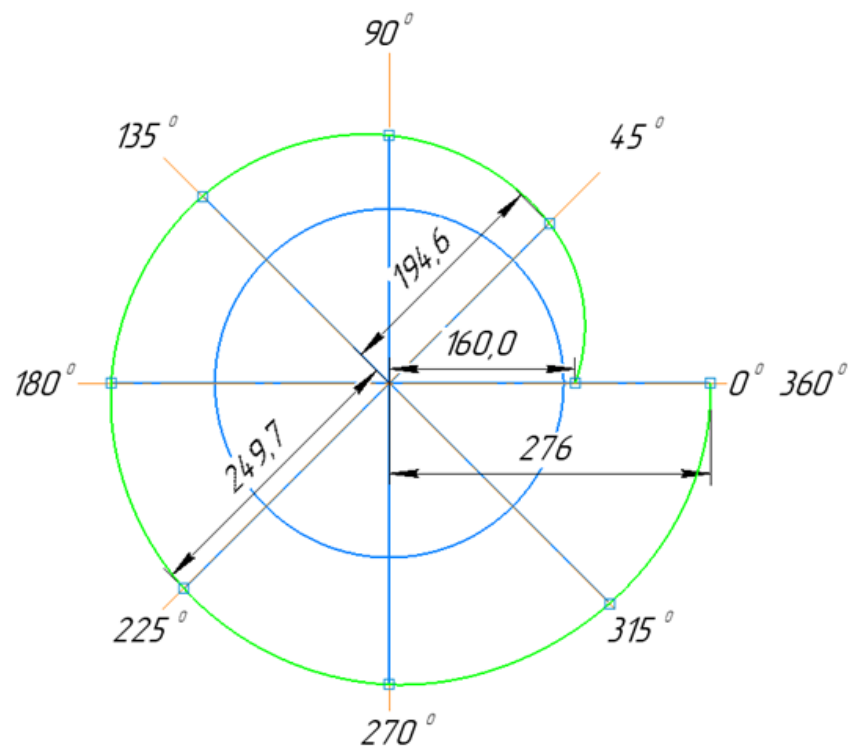
$$r_\varphi = \sqrt{\frac{A_\varphi}{\pi}} \quad (12)$$

Spiral kameraning to'liq radiusi esa Formula (13) yordamida hisoblanadi:

$$R_\varphi = R_2 + r_\varphi \quad (13)$$

Table 2. Results of calculations using Method 2**Jadval 2.2-usul hisob natijalari**

Burchak, φ (°)	Sarf, Q_φ (m ³ /s)	Kesim yuzasi, A_φ (m ²)	Kesim radiusi, r_φ (mm)	To'liq radius, R_φ (mm)
0°	0,000	0,00000	0,0	150,0
45°	0,025	0,00625	44,6	194,6
90°	0,050	0,01250	63,1	213,1
135°	0,075	0,01875	77,3	227,3
180°	0,100	0,02500	89,2	239,2
225°	0,125	0,03125	99,7	249,7
270°	0,150	0,03750	109,3	259,3
315°	0,175	0,04375	118,0	268,0
360°	0,200	0,05000	126,2	276,2

**Figure 3.** Overall external geometric dimensions of the spiral chamber.**Rasm 3.** Spiral kameraning umumiy tashqi geometrik o'lchamlari.

Yuqoridagi chizmada keltirilgan nasosning oqim sohasi oqimning aylana bo'ylab bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi, oqimdagi girdoblar hosil bo'lishini kamaytiradi hamda gidravlik yo'qotishlarni minimallashtiradi. Natijada nasos yuqori samaradorlik bilan ishlaydi va uning foydali ish koeffitsiyenti (FIK) taxminan $\eta \approx 0.88 - 0.92$ oralig'ida bo'ladi (Rasm 3).

Rasm 4 spiral kameraning radiuslari ikki xil usulda aniqlangan natijalari taqqoslangan. Natijalarga ko'ra, har ikkala usulda ham burchak bo'linmalari ortishi bilan radius qiymatlari muntazam ravishda oshib borgan. Biroq spiral kameraning umumiy tashqi radiusi qiymatlari oqim sohasi radiusiga nisbatan sezilarli darajada katta ekanligi kuzatiladi. Oqim sohasi radiusi bo'yicha hisoblangan qiymatlar 155 mm dan 191 mm gacha o'zgargan bo'lsa, spiral kameraning umumiy tashqi radiusi 150 mm dan 276,2 mm gacha yetgan. Bu esa spiral kameraning tashqi geometrik o'lchamlari oqim kesim yuzasiga nisbatan tezroq kattalashishini ko'rsatadi. Hisob natijalari shuni ko'rsatadiki, oqim sohasi radiusi formulasi gidravlik parametrlarni aniqroq ifodalab, oqimning haqiqiy tarqalishini hisobga oladi. Spiral kameraning umumiy tashqi radiusi formulasi esa konstruktiv va geometrik loyihalash uchun qulay bo'lib, spiral kameraning tashqi konturini aniqlashda samarali hisoblanadi. Umuman olganda, dastlabki geometrik loyihalashda spiral kameraning umumiy tashqi

radiusi formulasidan foydalanish qulayroq bo'lsa, yakuniy gidravlik hisoblarda oqim sohasi radiusini aniqlash formulasi yuqori aniqlik beradi.

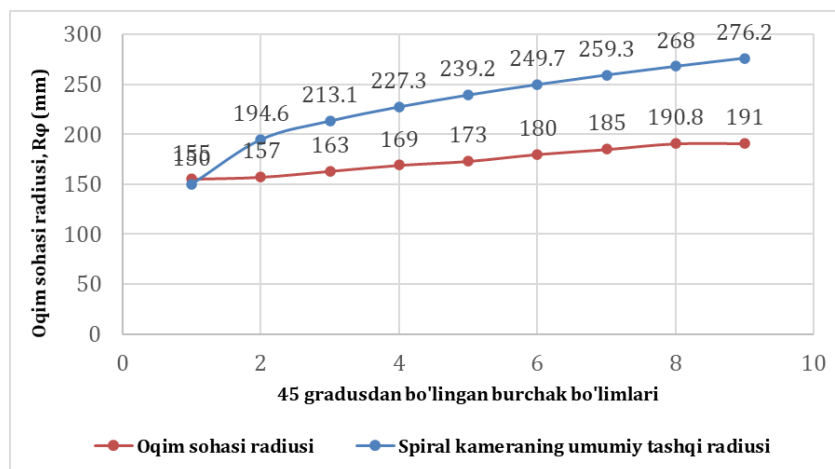


Figure 4. Angular variation of the flow area radius and overall outer radius in the spiral chamber of a centrifugal pump.

Rasm 4. Markazdan qochma nasos spiral kamerasida oqim sohasi radiusi va umumiy tashqi radiusning burchak bo'yicha o'zgarish grafigi

Markazdan qochma kuchning fizik-matematik asoslanishi. Markazdan qochma nasosning ishlash prinsipi suyuqlik zarrachalariga aylanma harakat davomida ta'sir etuvchi markazdan qochma kuchga asoslanadi. Mexanika qonunlariga ko'ra, ushbu kuch quyidagi (14) formula orqali aniqlanadi:

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r \quad (14)$$

Gidrodinamik nuqtai nazardan energiya uzatilishi Eyler tenglamasi yordamida ifodalanadi. Bosimning radius bo'yicha ortishi esa quyidagi differensial tenglama orqali xarakterlanadi. Aylanayotgan suyuqlik qatlamidagi bosim gradiyenti differensial ko'rinishda quyidagicha yoziladi (15):

$$\frac{dp}{dr} = \rho\omega^2 r \quad (15)$$

Ushbu tenglamani integrallash natijasida bosimning radius kvadratiga proporsional ravishda oshishi aniqlanadi. Ya'ni, suyuqlik ishchi g'ildirak markazidan periferiyaga qarab harakatlanganda bosim keskin ortadi. Spiral kamera esa ushbu ortgan periferik tezlikni samarali ravishda statik bosimga aylantirib beradi. Radius (r) bo'yicha integrallash natijasida hosil bo'ladigan yakuniy bosim formulasi (16) quyidagicha ifodalanadi:

$$p(r) = \frac{1}{2}\rho\omega^2 r^2 + C \quad (16)$$

Yoki nasos parraklari chiqishidagi periferik tezlik ($U = \omega r$) orqali ifodalansa (17):

$$p = \frac{1}{2}\rho U^2 + C \quad (17)$$

Bu yerda:

- p — bosim, suyuqlik oqimining ma'lum bir radiusdagi statik bosimi;
- $\frac{dp}{dr}$ — bosim gradiyenti, radius o'zgarishi bilan bosimning o'zgarish tezligi;
- ω — burchak tezligi (rad/s), ishchi g'ildirakning aylanish tezligi;
- r — radius, suyuqlik zarrachasining aylanish markazidan bo'lgan masofasi;
- U — periferik tezlik (m/s), ishchi g'ildirakning tashqi nuqtasidagi chiziqli tezlik;
- C — integrallash doimiysi, boshlang'ich bosim qiymati.

Burchak tezligi aylanishlar soni bilan quyidagi bog'lanish orqali aniqlanadi:

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \quad (18)$$

Bosim burchak tezligining kvadratiga proporsional bo'lgani sababli aylanishlar sonining ikki marta ortishi nazariy jihatdan bosimning to'rt marta ortishiga olib keladi.

Kompozit materiallar yordamida mustahkamlikni oshirish. Zamonaviy gidrotexnik loyihalashda nasos korpusi va ishchi g'ildiraklarining ishonchligini oshirish maqsadida kompozit materiallardan (uglerod tolali plastiklar va polimer qoplamalar) keng foydalanilmoqda. An'anaviy cho'yan va po'lat korpuslar agressiv muhit hamda yuqori tezlikdagi oqim ta'sirida kavitatsion eroziya va korroziyaga uchraydi. Kompozit materiallardan foydalanish quyidagi afzalliklarni ta'minlaydi:

1. Sirt silligligining yuqoriligi tufayli gidravlik ishqalanish yo'qotishlari kamayadi va nasosning foydali ish koeffitsiyenti 2–3% ga ortadi;
2. Kavitatsiya hamda abraziv zarrachalar ta'siriga chidamlilik muddati 3–4 baravarga uzayadi;
3. Qurilmaning umumiy massasi kamayadi, bu esa montaj va ta'mirlash ishlarini soddalashtiradi.

Munozara

Tadqiqot natijalari markazdan qochma nasoslarda ishchi g'ildirak va spiral kamera o'rtasidagi gidravlik mutanosiblikni ta'minlash qurilmaning samarali ishlashida muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. O'tkazilgan hisoblashlar natijasida spiral kamera bo'ylab oqim sarfi burchak ortishi bilan chiziqli ravishda oshib borishi, unga mos ravishda kesim yuzasi va radius qiymatlarining ham muntazam ravishda kengayib borishi aniqlandi. Hisoblangan geometrik parametrlarning amaliy chizmada berilgan radius qiymatlari bilan mos kelishi ishlab chiqilgan matematik modelning ishonchligini tasdiqlaydi. Ayniqsa, spiral kameraning tashqi radiusi 150 mm dan 276,2 mm gacha ortishi oqimning bir tekis taqsimlanishini ta'minlash uchun zarur bo'lgan geometrik qonuniyatlarni aks ettiradi.

Hisoblashlarning birinchi va ikkinchi usullari o'zaro taqqoslanganda, ikkinchi usul spiral kamera geometriyasini aniqroq ifodalashi va real konstruktiv o'lchamlarga yaqin natijalar berishi kuzatildi. Oqim sohasi radiusi va umumiy tashqi radiusning burchak bo'yicha o'zgarish grafigi spiral kameraning kengayib boruvchi profili oqim tezligini deyarli o'zgarmas saqlashga xizmat qilishini ko'rsatdi. Bu esa oqimdagi girdoblar, mahalliy qarshiliklar va gidravlik yo'qotishlarning kamayishiga olib keladi. Natijada nasosning foydali ish koeffitsiyenti yuqori qiymatlarda saqlanib, energiya uzatish jarayoni samaradorligi ortadi.

Shuningdek, markazdan qochma kuch va bosimning radius bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi fizik-matematik tenglamalar olingan natijalarning nazariy asoslarini tasdiqladi. Spiral kamera geometriyasini optimallashtirish bilan bir qatorda, kompozit materiallardan foydalanish nasos qismlarining kavitatsiya va abraziv yemirilishga chidamliligini oshirishi mumkin. Shu sababli, ishlab chiqilgan matematik model va geometrik yechimlar nasos stansiyalari hamda gidroelektrostansiyalarda qo'llaniladigan markazdan qochma nasoslarni loyihalash va modernizatsiya qilishda amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Xulosa

O'tkazilgan tadqiqot va matematik hisob-kitoblarni markazdan qochma nasos ishchi g'ildiragi hamda spiral kamerasi oqim sohaslarining gidravlik mutanosibligini ta'minlash qurilmaning samarali ishlashida muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Taklif etilgan matematik model asosida spiral kamera geometriyasining asosiy parametrlari aniqlanib, hisoblangan radius qiymatlarining amaliy chizmalarda keltirilgan o'lchamlar bilan mosligi tasdiqlandi. Olingan natijalar COMPAS-3D va boshqa SAPR dasturlarida yuqori aniqlikdagi uch o'lchamli modellarni yaratish uchun ishonchli asos bo'lib xizmat qiladi.

Hisoblash natijalari bo'yicha spiral kamera radiuslarining burchak bo'yicha o'zgarish qonuniyati tahlil qilindi. Grafik natijalariga ko'ra, oqim sohasi radiusi 155 mm dan 191 mm gacha, spiral kameraning umumiy tashqi radiusi esa 150 mm dan 276,2 mm gacha ortishi aniqlandi. Bu spiral kameraning kengayib boruvchi profili oqim sarfining ortishiga mos ravishda shakllanishini hamda

oqim tezligining barqaror saqlanishini ta'minlashini ko'rsatadi. Natijada oqimdagi girdoblar va gidravlik yo'qotishlar kamayib, energiya uzatish samaradorligi oshadi.

Tadqiqot natijalari ishchi g'ildirak va spiral kamera o'rtasidagi optimal mutanosiblik nasosning foydali ish koeffitsiyentini 0,88–0,92 oralig'ida saqlash imkonini berishini ko'rsatdi. Shuningdek, kompozit materiallardan foydalanish kavitatsiya va abraziv yemirilishga chidamlilikni oshirib, qurilmaning xizmat muddatini uzaytiradi. Taklif etilgan yondashuv nasos stansiyalari va gidroelektrostansiyalarda qo'llaniladigan markazdan qochma nasoslarni loyihalash hamda modernizatsiya qilishda amaliy ahamiyatga ega.

Authors' contribution

J.R.; metodologiya, J.R.; dasturiy ta'minot, J.R.; tasdiqlash, J.R.; rasmiy tahlil, J.R.; tadqiqot, J.R.; resurslar, J.R.; ma'lumotlarni kuratorlik qilish, J.R., original matnni yozish, J.R.; yozish va tahrirlash, J.R., B.E.; vizualizatsiya, J.R.; rahbarlik, J.R.; loyiha boshqaruvi, J.R., moliya jalb qilish, J.R., M.A., Barcha mualliflar qolyozmaning nashr etilgan nusxasi bilan tanishib chiqqan va unga rozilik bildiradi.

Authors' contribution

Conceptualization, J.R.; methodology, J.R.; software, J.R.; validation, J.R.; formal analysis, J.R.; investigation, J.R.; resources, J.R.; data curation, J.R.; writing—original draft preparation, J.R.; writing—review and editing, J.R., B.E.; visualization, J.R.; supervision, J.R.; project administration, J.R.; funding acquisition, J.R., M.A. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Moliyalashtirish

Ishga tashqi moliya ajratilmagan

Funding source

This research received no external funding

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Qo'llanilmaydi. Ushbu tadqiqot ishi muhandislik-texnik xarakterga ega bo'lib, unda insonlar yoki hayvonlar ishtirok etmagan va ularga tegishli shaxsiy ma'lumotlardan foydalanilmagan.

Ethics approval

Not applicable. This research is of an engineering and technical nature and did not involve human participants or animals, nor did it use any personal data related to them.

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot natijalari to'liq maqola ichidagi tahlillar va grafik chizmalarga asoslangan bo'lib, uchinchi shaxslarga tegishli maxfiy yoki qo'shimcha ommaviy arxivlangan ma'lumotlar to'plamidan foydalanilmagan.

Data Availability Statement

The results presented in this study are fully based on the analyses, calculations, and graphical models included in the article. No confidential data belonging to third parties or additional publicly archived datasets were used in conducting this research.

Rahmatnomalar

Mualliflar ushbu tadqiqot ishini amalga oshirishda, laboratoriya tajribalarini o'tkazishda va spiral kameraning profil chizmalarini COMPAS-3D dasturlarida modellashtirishda amaliy hamda texnik yordam ko'rsatgan "Nasos stansiyalari va gidroelektrostansiyalar" kafedrası hamda "SUVMAH" AJ muhandis-texnik xodimlariga va laboratoriya jamoasiga o'z minnatdorchiligini bildiradi.

Acknowledgments

The authors would like to express their sincere gratitude to the Department of Pumping Stations and Hydropower Plants, as well as to the engineers, technical staff, and laboratory team of JSC "SUVMAH" for their practical and technical assistance in conducting this research, performing laboratory experiments, and modeling the spiral casing profile using COMPAS-3D software.

Manfaatlar to'qnashuvi

Mualliflar o'zlarining manfaatlar to'qnashuvi yo'qligini e'lon qiladilar. Tadqiqotni loyihalashda, ma'lumotlarni yig'ishda, tahlil qilishda, qo'lyozmani yozishda yoki natijalarni nashr etish to'g'risida qaror qabul qilishda homiylarning yoki uchinchi shaxslarning hech qanday roli va aralashuvi bo'lmagan.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. The sponsors or any third parties had no role in the design of the study, the collection, analysis, or interpretation of data, the writing of the manuscript, or the decision to publish the results.

Adabiyot

- [1] Li X, Chen B, Luo X and Zhu Z 2020 Effects of flow pattern on hydraulic performance and energy conversion characterisation in a centrifugal pump *Renew. Energy* 151 475–87
- [2] Dehghan A A and Shojaeefard M H 2022 Experimental and numerical optimization of a centrifugal pump volute and its effect on head and hydraulic efficiency at the best efficiency point *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 236 4577–98
- [3] Miao S, Zhang H, Shi F, Wang X and Ma X 2021 Study on Energy Conversion Characteristics in Volute of Pump as Turbine *Fluid Dyn. Mater. Process.* 17 201–14
- [4] Dzhurabekov A, Rashidov J, Gazaryan A, Kholbutaev B, Mansurova S and Tashmatov N 2023 Improving impeller and water flow section of vane pumps ed D Bazarov *E3S Web Conf.* 365 03002
- [5] Nasyrova N, Glovatsky O, Ergashev R, Rashidov J and Kholbutaev B 2021 Design aspects of operation of water supply facilities of pumping stations ed E Vdovin *E3S Web Conf.* 274 03008
- [6] Glovatsky O, Saparov B, Artikbekova F, Rashidov J, Karimov E and Hamitov F 2025 Improving pump flow section for technical and economic efficiency *THE 3RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIVIL, ENVIRONMENTAL, AND INFRASTRUCTURE ENGINEERING (ISCEIE) 2024 (AR Fakhruddin B Building)* p 020051
- [7] Rashidov J, Azimov A, Kholbutaev B, Shodiev B, Ishanov J and Khajimatova M 2024 Factors Influencing Cavitation and Abrasive Erosion in Energy-Efficient Pumping System Operation and Performance: Proceedings of the 6th International Conference on Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering Autumn Season *Construction Mechanics, Hydraulics Water Resources Engineering Autumn season (Tashkent, Uzbekistan: SCITEPRESS - Science and Technology Publications)* pp 299–305
- [8] Arun Shankar V K, Umashankar S, Paramasivam S and Hanigovszki N 2016 A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system *Appl. Energy* 181 495–513
- [9] Zhao J, Pei J, Yuan J and Wang W 2022 Energy-saving oriented optimization design of the impeller and volute of a multi-stage double-suction centrifugal pump using artificial neural network *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.* 16 1974–2001
- [10] Zhang B, Cheng L, Xu C and Wang M 2021 The Influence of Geometric Parameters of Pump Installation on the Hydraulic Performance of a Prefabricated Pumping Station *Energies* 14 1039
- [11] Ergashev R, Rashidov J, Musaev S, Usarov J, Kholbutaev B and Ergasheva G 2023 Elements of technical water supply system of pumping units ed D Bazarov *E3S Web Conf.* 401 01015
- [12] Dehghan A A and Shojaeefard M H 2022 Experimental and numerical optimization of a centrifugal pump volute and its effect on head and hydraulic efficiency at the best efficiency point *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 236 4577–98
- [13] Glovatskiy O, Ergashev R, Sadiev U, Rashidov J, Musaev S and Boboeva G 2023 Establishment of resource-saving modes of irrigation pumps ed A Ter-Martirosyan and D Bazarov *E3S Web Conf.* 410 05017
- [14] Glovatskii O, Ergashev R, Rashidov J, Mirzaev M, Sultonov A and Nasyrova N 2023 Experience in using methods for monitoring the energy efficiency of hydraulic systems *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1142 012004
- [15] Glovatskiy O, Ergashev R, Rashidov J, Nasyrova N and Kholbutaev B 2021 Experimental and theoretical studies of pumps of irrigation pumping stations ed P Akimov, N Vatin, A Tusnin and A Doroshenko *E3S Web Conf.* 263 02030
- [16] Glovatskii O, Ergashev R, Nasirova N, Rashidov J and Kholbutaev B 2023 Experimental tests of submersible vane pumps ed D Bazarov *E3S Web Conf.* 401 05065
- [17] Dzhurabekov A, Rustamov S, Nasyrova N and Rashidov J 2021 Erosion processes during non-stationary cavitation of irrigation pumps ed D Bazarov *E3S Web Conf.* 264 03016

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.