

UO‘K: 621.671:532.526

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.31

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

MARKAZDAN QOCHMA NASOS ISHCHI G‘ILDIRAGI KURAKLARINING YUZA TEKSTURASINI QIYOSIY TAHLIL QILISH VA SONLI BAHOLASH METODOLOGIYASI



Qurbonov Oybek Muhammadqulovich

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktoranti, Navoiy, O‘zbekiston

E-mail: agent7001.oq@gmail.com

ORCID ID: 0009-0000-7699-0520

Science ID: FNV-0525-0033

Annotatsiya. Markazdan qochma nasoslarning gidravlik foydali ish koeffitsiyentini (FIK) oshirish energiya tejashning ustuvor vazifasi bo‘lib qolmoqda. Devor oldi oqimini boshqarishning istiqbolli passiv vositalaridan biri esa kuraklar yuzasini sun‘iy teksturalash hisoblanadi. Mazkur ishda teksturalarning ikki raqobatdosh oilasi — lokal chuqurchalar va bo‘ylama ariqchalar — modifikatsiyalangan yuzalar hamda aylanuvchi turbomashinaning oqim qismidagi oqimga doir to‘rtta mustaqil tadqiqot asosida qiyosiy tahlil qilingan. Chuqurchalar girdob hosil bo‘lishini, turbulent ko‘chishni kuchaytirishi va odatda ishqalanishni oshirishi, bo‘ylama ariqchalar esa ma‘lum bir parametrlar oraliqida oqim yadrosini qayta tuzib, urinma kuchlanishni pasaytirishi ko‘rsatilgan. Asosiy ziddiyat shundan iboratki, teksturalarning ikki oilasi bir-biriga mos kelmaydigan maqsadli funksiyalar (issiqlik uzatishga qarshi qarshilik) bo‘yicha va qo‘zg‘almas obyektlarda o‘rganilgan, holbuki ishchi g‘ildirakning vazifasi aylanuvchi egri chiziqli kanaldagi gidravlik yo‘qotishlarni minimallashtirishni talab qiladi. Kurakdagi teksturalarni qiyosiy baholashning yagona hisoblash metodologiyasi taklif etilgan bo‘lib, u o‘zida TEF-tipidagi murosali metrika, ishqalanish modifikatsiyasi koeffitsiyenti va aylanuvchi g‘ildirakni CFD-modellashtirishning ish jarayonini birlashtiradi. Ilmiy bo‘shliq, mexanizmlarni ko‘chirish gipotezalari va hisoblash tajribasi rejasi ta’riflab berilgan.

Kalit so‘zlar: markazdan qochma nasos, ishchi g‘ildirak, sirtni teksturalash, sun‘iy chuqurchalar, bo‘ylama ariqchalar, gidravlik yo‘qotishlar, ishqalanishni modifikatsiyalash koeffitsiyenti, uyurmali struktura, hisoblash gidrodinamikasi, $k-\omega$ SST turbulentlik modeli, termogidravlik samaradorlik koeffitsiyenti.

Received: 03.09.2026

Accepted: 13.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

МЕТОДОЛОГИЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА И ЧИСЛЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕКСТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТОК РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Курбонов Ойбек Мухаммадқулович

Докторант Навоийского государственного горно-технологического университета, Навои, Узбекистан

Аннотация. Повышение гидравлического коэффициента полезного действия (КПД) центробежных насосов остаётся приоритетной задачей энергосбережения. Одним из перспективных пассивных средств управления пристеночным потоком является искусственное текстурирование поверхности лопаток. В данной работе проведён сравнительный анализ двух конкурирующих семейств текстур — локальных лунок и продольных канавок — на основе четырёх независимых исследований модифицированных поверхностей и потоков в проточной части вращающейся турбомашины. Показано, что лунки способствуют образованию вихрей, усиливают турбулентный перенос и обычно повышают трение, тогда как продольные канавки в определённом диапазоне параметров перестраивают ядро потока и снижают касательное напряжение. Основное противоречие заключается в том, что оба семейства текстур исследовались применительно к несовместимым целевым функциям (сопротивлению теплопередаче) и на неподвижных объектах, тогда как функционирование рабочего колеса требует минимизации гидравлических потерь в вращающемся криволинейном канале. Предложена единая расчётная методология сравнительной оценки текстур на лопатках, объединяющая компромиссную метрику типа TEF, коэффициент модификации трения и рабочий процесс CFD-моделирования рабочего колеса. Описаны научный пробел, гипотезы переноса механизмов и план вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: центробежный насос, рабочее колесо, текстурирование поверхности, искусственные лунки, продольные канавки, гидравлические потери, коэффициент модификации трения, вихревая структура, вычислительная гидродинамика, $k-\omega$ SST модель турбулентности, коэффициент термогидравлической эффективности.

METHODOLOGY FOR COMPARATIVE ANALYSIS AND NUMERICAL EVALUATION OF THE SURFACE TEXTURE OF CENTRIFUGAL PUMP IMPELLER BLADES

Kurbonov Oybek Muhammadkulovich

Doctoral Student, Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan

Abstract. Increasing the hydraulic efficiency of centrifugal pumps remains a priority task for energy conservation. One promising passive method of controlling near-wall flow is the artificial texturing of blade surfaces. In this work, two competing families of textures—localized dimples and longitudinal grooves—are comparatively analyzed on the basis of four independent studies concerning modified surfaces and flow in the flow passage of a rotating turbomachine. It is shown that dimples promote vortex formation and turbulent transport and generally increase friction, whereas longitudinal grooves reorganize the flow core within a certain range of parameters and reduce shear stress. The main contradiction is that the two texture families have been studied according to incompatible target functions (resistance to heat transfer) and on stationary objects, whereas the function of an impeller requires minimizing hydraulic losses in a rotating curved channel. A unified computational methodology for the comparative assessment of blade textures is proposed, combining a TEF-type compromise metric, a friction modification coefficient, and a workflow for CFD modeling of an impeller. The scientific gap, hypotheses for transferring the mechanisms, and the computational experimental plan are described.

Keywords: centrifugal pump, impeller, surface texturing, artificial dimples, longitudinal grooves, hydraulic losses, friction modification coefficient, vortex structure, computational fluid dynamics, $k-\omega$ SST turbulence model, thermohydraulic efficiency coefficient.

Kirish. Nasos uskunalarining energiya iste'moli sanoat va qazib olish jarayonlarida salmoqli ulushni tashkil etadi, shu sababli ishchi g'ildirakning gidravlik foydali ish koeffitsiyentini (FIK) o'zgina oshirish ham sezilarli iqtisodiy samara beradi. G'ildirakning oqim qismidagi asosiy

yo'qotishlar devor yaqinidagi qatlamda ishqalanish, oqimning uzilishi va bosim gradienti hamda kuraklar egriligi ta'sirida shakllanadigan ikkilamchi oqimlar bilan bog'liqdir. Sirtni teksturalash vositalari yordamida devor yaqinidagi oqim strukturasini boshqarish qo'shimcha energiya talab qilmaydigan passiv usullarga kiradi, bu esa uni ishchi g'ildirak kuraklari uchun jozibador qiladi.

Hozirgacha to'plangan tajriba o'zaro kam kesishadigan ikkita yo'nalishga bo'linadi. Birinchi yo'nalish girdoblar hosil qilish va turbulentlikni oshirish hisobiga issiqlik almashinuvini jadallash-tiradigan mahalliy chuqurliklarni (o'yiqlarni) o'rganadi; bunda aksariyat konfiguratsiyalarda ishqalanish koeffitsiyenti ham ortadi va bu ikki effekt o'rtasidagi muvozanat *TEF* termogidravlik samaradorlik koeffitsiyenti bilan ifodalanadi [1, 2]. Ikkinchi yo'nalish turbulent oqimda oqim o'zagini qayta shakllantirish hisobiga qarshilikni *kamaytira* oladigan bo'ylama (oqim bo'ylab yo'nalgan) ariqchalarni ko'rib chiqadi, bu esa chuqurliklarning ta'siriga teskaridir [3]. Har ikki yo'nalish ham qo'zg'almas plastinalar va kanallar misolida rivojlantirilgan.

Aylanuvchi turbomashinalarni hisoblash usulida modellashtirishga doir ishlar alohida guruhni tashkil etadi. Ularda maqsadli funktsiya sifatida issiqlik uzatish emas, aynan gidravlik foydali ish koeffitsiyenti olinadi hamda oqim qismining geometriyasini qurishdan tortib, to'rga bog'liqlikni tekshirish va validatsiya qilishgacha bo'lgan to'liq CFD-tahlil sikli ishlab chiqilgan [4]. Biroq bunday ishlarda oqim qismining yuzasi silliq holda qoladi, sun'iy teksturalashning aylanuvchi g'ildirakdagi yo'qotishlarga ta'siri masalasi esa ko'tarilmaydi.

Mazkur yo'nalishlarning qiyoslanishi ilmiy ziddiyatni yuzaga chiqaradi: mohiyatan bir xil bo'lgan yechim — “devorni teksturalash” — teksturaning turi va yo'nalishiga qarab, bir-biriga zid gidravlik oqibatlariga olib keladi, oqibatlarining o'zi esa o'zaro nomutanosib mezonlar asosida va aylanmaydigan obyektlarda baholangan. Bu ma'lum natijalarni ishchi g'ildirak kuragiga bevosita ko'chirish imkonini bermaydi. Ushbu ishning maqsadi chuqurchalar va bo'ylama ariqchalarning ta'sir mexanizmlarini qiyosiy tahlil qilish hamda ularni markazdan qochma nasos ishchi g'ildiragi kuraklari yuzasida gidravlik

yo'qotishlarni minimallashtirish mezonini bo'yicha baholashning yagona raqamli metodologiyasini shakllantirishdan iborat.

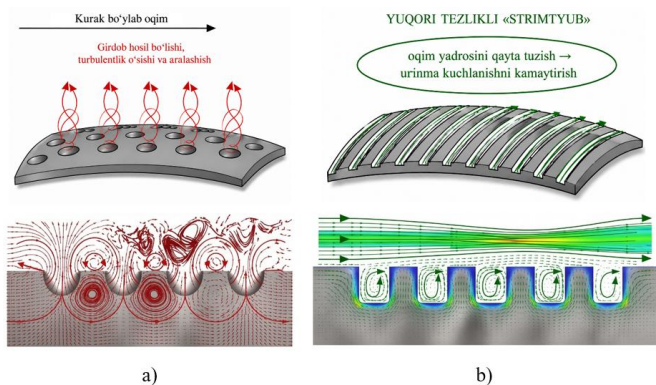
Materiallar va metodlar. Ko'rib chiqila-yotgan tadqiqotlarning taqqoslanishi shuni ko'rsatadiki, masala qo'yilishining tashqi o'xshash-ligiga (devoroldi geometriyasining modifikatsiyasi) qaramay, ular maqsad funksiyasi, ta'sir mexanizmi va ishqalanishga ta'sirining ishorasi bilan farqlanadi. Umumlashtirilgan qiyosiy matritsa 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

To'rtta tadqiqotning qiyosiy matritsasi (1-4)
manbalari ma'lumotlariga ko'ra)

Belgisi	Chuqurchalar + oqim [1]	Kanaldagi chuqurchalar [2]	Bo'ylama ariqchalar [3]	Turbina g'ildiragi [4]
Tekstura geometriyasi	Silindrsimon chuqurcha	Sferik chuqurcha	Bo'ylama ariqcha	Silliq oqim qismi
Ishchi muhit	Havo	Havo	Suyuqlik	Suv
Maqsad funksiyasi	Issiqlik uzatish (TEF)	Uyurmalar fizikasi	Qarshilik (F)	FIK, quvvat
Model / metod	Eksperiment + k-ε RNG	Eksperiment	RANS k-ω SST + DNS	RANS k-ω SST
Asosiy boshqaruvchi parametr	d, qadam, B masofa	δ/D chuqurlik	α, amplituda S, faza	geometriya, aylanish tezligi
Re diapazoni	1500–14 600	2100–20 000	2648–30 000	20–45 ayl/daqqa rejimlari
Ishqalanishga ta'siri	qoida tariqasida, ortishi	chuqurroq → yo'qotishlar ortadi	parametrlar oralig'ida — kamayishi	—
Mexanizm	chetki uyurma, turbulentlik	uyurma juftliklarining ajralib chiqishi	oqim yadrosining qayta shakllanishi	—
Aylanish / egrilik	yo'q	yo'q	yo'q	ha

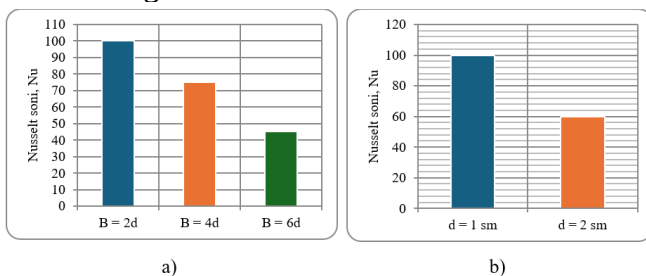
1-jadvaldan ko'rinib turibdiki, [1] va [2] tadqiqotlar **uyurmaviy (aralashtiruvchi) mexanizmi** ta'rifi ta'riflaydi: chuqurcha o'zining markaziy qismidan davriy ravishda birlamchi uyurma juftini chiqarib turadi, unga esa qirralar bo'ylab chetki uyurma juftliklari qo'shiladi; chuqurcha ta'siri devordan uning izi diametrining taxminan yarmigacha bo'lgan masofa bilan chegaralanadi [2]. [3] tadqiqotda esa tubdan farqli, **strimtyub (oqimli naycha) mexanizmi** tasvirlangan: bo'ylama ariqchalar oqim yadrosini kesimning keng qismida yuqori tezlikdagi oqimli naychalarga aylantirib, tor qismidagi urinma kuchlanishni keng qismda ortganiga nisbatan kuchliroq kamaytiradi, bu esa qarshilikning sof pasayishini ta'minlaydi [3]. Har ikki mexanizm 1-rasmda sxematik tarzda qiyoslangan.



1-rasm. Kurak yuzasini teksturalashning ikki raqobatdosh mexanizmi:

a – chuqurchalar; b – bo‘ylama ariqchalar.

Uyurmaviy mexanizmning miqdoriy jihati [1]-ma’lumotlar bilan tasdiqlanadi: silindrsimon chuqurchalarda Nusselt soni barcha rejimlar diapazonida silliq plastina uchun xos qiymatlardan oshadi, uning kattaligi esa oqim–devor masofasi va chuqurcha diametriga keskin bog‘liq bo‘ladi (2-rasm). Bunda issiqlik uzatishning ortishi ishqalanishning ortishi bilan birga kechadi — maksimal $TEF = 5,5$ ga eng yuqori issiqlik uzatishda emas, balki chuqurchaning kichik diametrda va o‘rtacha ishqalanish nisbati $f/f_0 = 4$ bo‘lganda erishiladi [1]. Bu shuni ko‘rsatadiki, issiqlik almashinuvi emas, balki yo‘qotishlar muhim bo‘lgan tatbiqlar uchun uyurmaviy mexanizm umuman olganda samarasizdir.

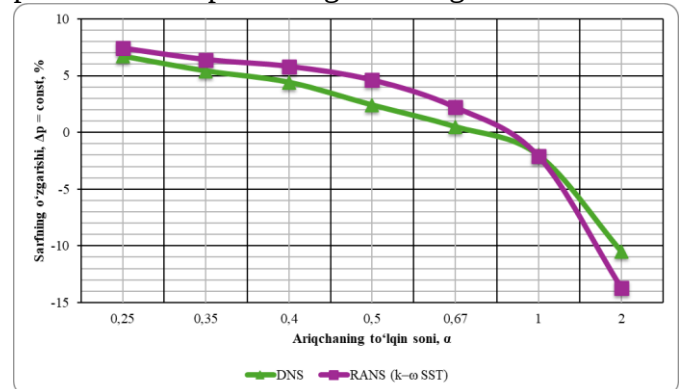


2-rasm. $Re = 14\,600$ bo‘lganda silindrsimon chuqurchalarda issiqlik uzatishning jadallashuvi:

a – oqim–devor B masofasining ta’siri; b – chuqurcha d diametrining ta’siri.

Oqim naychalari mexanizmi [3] esa, aksincha, tekstura qarshilikni pasaytiradigan tor parametrlar “oynasi” mavjudligini namoyon etadi. DNS va RANS taqqoslash ma’lumotlariga ko‘ra, qat’iy belgilangan bosimlar farqida sarfning o‘zgarishi faqat ariqchaning kichik to‘lqin sonlaridagina ijobiy (qarshilikning pasayishi) bo‘lib, ularning ortishi

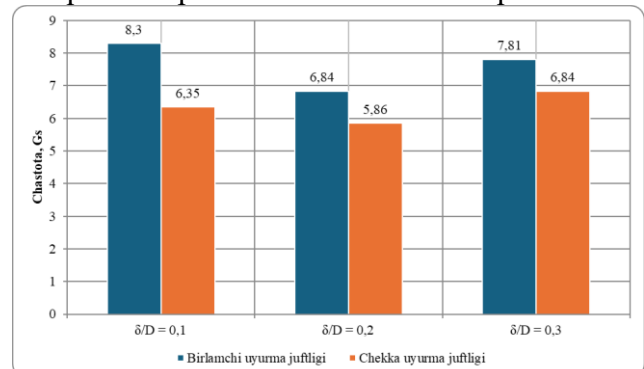
bilan o‘z ishorasini o‘zgartiradi (3-rasm). Turbulent oqimdagi qarshilikning pasayishi sinusoidal ariqchalar uchun taxminan 25 % ga, to‘g‘ri burchakli ariqchalar uchun esa ~40 % gacha yetadi [3]. Demak, g‘ildirak uchun qulay samara yuzaga kelishi mumkin, biroq bu faqat to‘g‘ri yo‘naltirilganda va cheklangan geometrik parametrlar diapazonidagina amalga oshadi.



3-rasm. Bo‘ylama ariqchalar yordamida qarshilikni pasaytirish oynasi:

$S = 0,5$; qarama-qarshi fazali joylashuv, $\beta = \pi$.

[2]-ishda uyurma mexanizmi kuchi chuqurlashish darajasi bilan bog‘lanadi: u ortgani sari uyurmalilik, sirkulyatsiya va Reynoldsning normal kuchlanishlari, shuningdek, to‘liq bosim va bo‘ylama tezlik tanqisliklari, ya’ni yo‘qotishlar ham ortadi. Uyurmalarining otilish chastotalari (4-rasm) birlamchi juftlik uchun 7–9 Gs, chetki juftlik uchun esa 5–7 Gs oralig‘ida bo‘lib, chuqurlikka unchalik bog‘liq emas, biroq uyurmalar intensivligi chuqurlikka sezilarli darajada bog‘liqdir [2]. Demak, chuqurlik uyurma mexanizmining asosiy boshqaruvchi parametri bo‘lib xizmat qiladi.



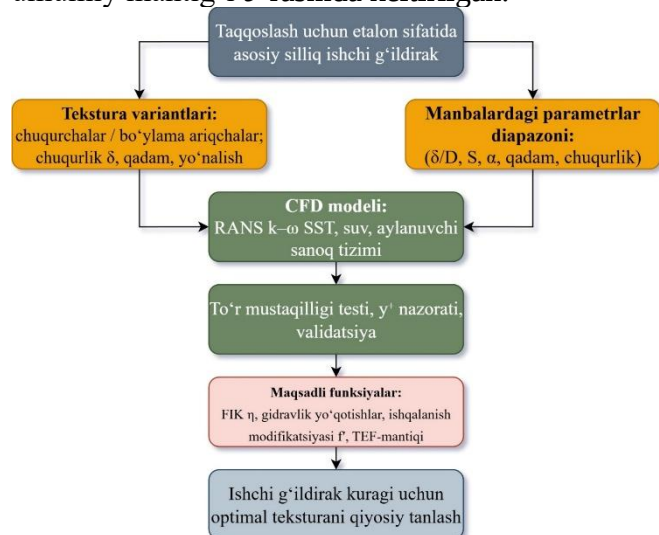
4-rasm. Botiqlikning nisbiy chuqurligiga bog‘liq holda uyurmalarining otilish chastotalari.

Nihoyat, [4]-ishda aylanuvchi g‘ildirakni

ishonchli sonli baholashga to'g'ri mustaqilligi va validatsiyani majburiy sinovdan o'tkazish sharti bilan RANS $k-\omega$ SST modelida erishish mumkinligi, maqsad funksiyasi sifatida esa gidravlik FIK olinishi ko'rsatilgan. Teksturalangan nasos g'ildiragi masalasiga tatbiq etish uchun to'liqlik turbinasi bo'yicha natijalarning o'zi emas, aynan shu ish jarayoni qimmatlidir.

Xulosa qilib aytganda, taqqoslash shuni ko'rsatadiki, to'plangan natijalarni mexanik tarzda birlashtirib bo'lmaydi: botiqlar va ariqchalar yo'qotishlarga ta'sirining ishorasi bo'yicha bir-biriga zid keladi, ular turli mezonlar asosida va aylanmaydigan obyektlarda baholangan, aylana-digan yagona holatda esa tekstura mavjud emas. Bu ushbu ishning tadqiqot obyekti belgilab beruvchi ilmiy bo'shliqni yuzaga keltiradi.

Tahlil uchun material sifatida [1-4] manbalardagi to'rtta mustaqil tadqiqot xizmat qildi. Ular chuqurcha va ariqchali yuzalar ustidan oqim, shuningdek, aylanuvchi ishchi g'ildirakni CFD-modellashtirish bo'yicha eksperimental va sonli ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Ishning uslubiy asosi — ushbu ma'lumotlarning qiyosiy sintezini amalga oshirish va shu asosda kuraklardagi teksturalarni baholashning yagona sonli metodologiyasini yaratishdir. Metodologiyaning umumiy mantiqi 5-rasmda keltirilgan.



5-rasm. Kurak teksturasini qiyosiy tadqiq etish uchun taklif etilayotgan metodologiya.

Etalon sifatida asosiy silliq ishchi g'ildirak qabul qilinadi va teksturalangan variantlar unga nisbatan baholanadi. Sonli model [4]-ishda ishlab

chiqilgan ish jarayoni bo'yicha tuziladi: Reynolds bo'yicha o'rtachalashtirilgan uzluksizlik va impuls tenglamalari $k-\omega$ SST turbulentlik modeli bilan yopiladi, muhit — suv, g'ildirakning aylanishi aylanuvchi sanoq tizimida hisobga olinadi; to'g'ri bog'liqlikdan holi bo'lish testi va devor oldi y^+ o'lchamini nazorat qilish hamda keyingi validatsiya [4] majburiy hisoblanadi. $k-\omega$ SST modelining tanlanishi [3]-ishga mos keladi, unda bu model tekstura ustidan oqim uchun DNSga nisbatan validatsiya qilingan.

Teksturalar samaradorligini baholash uchta kelishilgan metrikaga asoslanadi. [3]-ishga ko'ra ishqalanishni modifikatsiyalash koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$f' = (f_1 - f_0) / f_0 \quad (1)$$

bunda f_1 va f_0 — Reynolds sonining bir xil qiymatida teksturalangan va silliq sirtlarning ishqalanish koeffitsiyentlari; f' ning manfiy qiymati yo'qotishlar kamayishini bildiradi [3]. [1] ga muvofiq, intensivikasiya va ishqalanish o'rtasidagi murosali yechim termogidravlik samaradorlik koeffitsiyenti

$$TEF = (Nu_b / Nu_0) / (f_b / f_0)^{1/3} \quad (2)$$

bu g'ildirak masalasida issiqlik uzatish ko'rsatkichi sifatida emas, balki foydali samara va ishqalanish "jarimasi" nisbatining rasmiy o'lchovi sifatida ishlatiladi. Uchinchi, ya'ni integral metrika sifatida g'ildirakning [4] metodikasi bo'yicha hisoblanadigan gidravlik foydali ish koeffitsiyenti (η) xizmat qiladi. (1), (2) va η ni birgalikda qo'llash tekstura variantlarini yagona yo'qotishlar shkalasi bo'yicha taqqoslash imkonini beradi.

2-jadval

Taklif etilayotgan sonli tajriba rejasi: omillar va darajalar

Omil	Belgilanishi	Darajalar ([1-3] diapazonlari bo'yicha)
Tekstura turi	—	chuqurchalar / bo'ylama ariqchalar
Nisbiy chuqurlik / amplituda	$\delta/D, S$	0,1; 0,2; 0,3 (chuqurchalar); 0,25–1,5 (ariqchalar)
Qadam / to'liqlik soni	E_r, E_0, α	qadam $2d-3d$; $\alpha <$ chegaraviy qiymatdan
Yo'nalishi / faza	—	oqimga ko'ndalang / oqim bo'ylab; $\beta = \pi$
Reynolds soni	Re	oqim qismining rejim qiymatlari
Maqsadli funksiyalar	η, f', TEF	minimal yo'qotishlar / maksimal η

O'zgaruvchi omillar fazosi manbalarda belgilangan diapazonlardan shakllantirilgan va 2-jadvalda keltirilgan. Ta'kidlash joizki, jadval

olingan natijalarni emas, balki bo'lajak sonli tajribaning rejasini ifodalaydi.

Tadqiqot algoritmi quyidagilarni o'z ichiga oladi: parrakning bazaviy va teksturalangan geometriyalarini qurish; devor yaqinida zichlashtirilgan geksadral to'rni generatsiyalash; to'r mustaqilligi testini o'tkazish va y^+ ni nazorat qilish; statsionar va zarur bo'lganda, nostatsionar hisob-kitoblarni bajarish; har bir variant uchun (1), (2) va η metrikalarini hisoblash; gidravlik yo'qotishlarni minimallashtiradigan konfiguratsiyani qiyosiy tanlab olish.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. [1-3] manbalardagi ma'lumotlarni sintez qilish g'ildirak parragidagi har bir teksturaning mexanizmlari, metrikalari va kutilayotgan rolini qiyoslash imkonini beradi (3-jadval). "chuqurchalar" va "bo'ylama ariqchalar" ustunlaridagi belgilar va tendensiyalar qiymatlari [1-3] manbalardagi real ma'lumotlarga asoslanadi; g'ildirakka o'tkazish ustuni esa 3-bo'lim metodikasi bo'yicha sonli eksperiment orqali tekshirishni talab etuvchi asoslangan gipoteza sifatida shakllantirilgan.

3-jadval

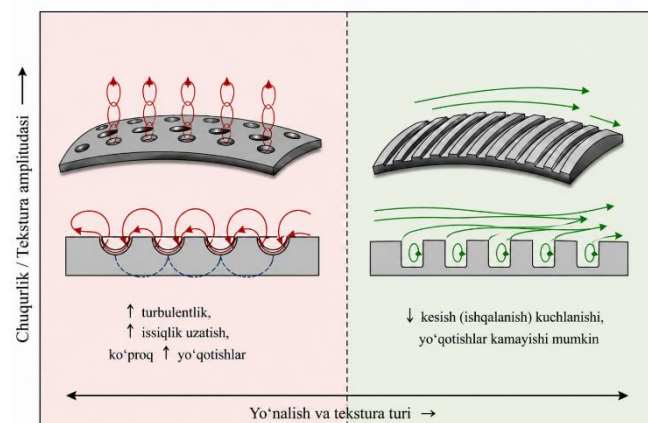
Mexanizmlar, metrikalar va nasos g'ildiragiga o'tkazishni qiyoslash

Jihat	Chuqurchalar [1], [2]	Bo'ylama ariqchalar [3]	G'ildirakka o'tkazish (gipoteza)
Birlamchi samara	uyurmalar chiqishi, turbulentlashuv	yadroning oqim naychalariga qayta tuzilishi	parrakning devor oldi qatlamini boshqarish
Metrika	TEF, Nu	f'	η, f'
Yo'qotishlarga ta'sir belgisi	ko'pincha ortish	parametrlar oralig'ida — kamayish	maqsadli — kamayish
Boshqaruvchi parametr	chuqurlik, diametr, qadam	to'lqin soni, amplituda	chuqurlik/amplituda, yo'nalish
Manbaning cheklovi	havo, aylanmasiz	ideal kanal, aylanmasiz	aylanuvchi g'ildirak uchun CFD talab qilinadi

Sintezning birinchi natijasi — yo'qotishlarga ta'sir belgisining qarama-qarshi ekani aniqlanganidir. [1] va [2] manbalaridagi ma'lumotlarga ko'ra, aksariyat konfiguratsiyalarda chuqurchalarning uyurma mexanizmi ishqalanishning ortishi bilan birga kechadi, bu esa g'ildirak uchun yo'qotishlarning ko'payishini anglatadi; aksincha, [3] manbasiga ko'ra, to'lqin sonlarining cheklangan diapazonidagi bo'ylama ariqchalar qarshilikning

kamayishini ta'minlaydi. Bundan kelib chiqadiki, g'ildirakning maqsadli funksiyasi (yo'qotishlarni minimallashtirish) uchun teksturaning bo'ylama yo'nalishi — parametrik oyna (3-rasm) shartlariga rioya qilingan taqdirda — mahalliy chuqurchalarga nisbatan potentsial afzalroqdir.

Ikkinchi natija — chuqurlik/amplitudaning umumiy boshqaruvchi parametr sifatida identifikatsiya qilinishidir. [2] manbadagi ma'lumotlar chuqurchalar chuqurligi ortishi bilan uyurmalar intensivligi va unga hamroh bosim tanqisliklarining monoton o'sishini, [3] manbadagi ma'lumotlar esa qulay oyna doirasida amplituda ortishi bilan ariqchalar samarasining kuchayishini ko'rsatadi. Bu ikkala mexanizmni boshqarishni yagona geometrik parametrga keltirish va rejimlarning sifat xaritasini (6-rasm) tuzish imkonini beradi.



6-rasm. Kurakni teksturalash rejimlari xaritasi: mexanizmlarning sifat sintezi.

Uchinchi natija — metrikalarning uslubiy jihatdan mos kelishidir. Ishqalanishni modifikatsiyalash koeffitsiyenti (1) va koeffitsiyent mantiqi (2) g'ildirakning integral foydali ish koeffitsiyenti η bilan birgalikda qo'llanib, yagona baholash shkalasini hosil qilishi mumkinligi ko'rsatilgan. Bu "issiqlik almashinuvi" va "qarshilik" an'analari o'rtasidagi tafovutni bartaraf etadi hamda har ikki yo'nalish natijalarini nasos masalasi kontekstida solishtirma qilish imkonini beradi.

Shu bilan birga, ishonchlilik chegarasini aniq ko'rsatib o'tish zarur. [1]–[4] manbalarda markazdan qochma nasosning teksturalangan ishchi g'ildiragi uchun foydali ish koeffitsiyenti (FIK), bosim maydonlari va ishqalanish koeffitsiyentining miqdoriy qiymatlari keltirilmagan, qo'zg'almas

plastinalar va kanallardagi ma'lumotlarni aylanuvchi egri chiziqli kanalga o'tkazish esa markazdan qochma va Koriolis kuchlari hamda kuchli bo'ylama bosim gradienti ta'siri tufayli avtomatik tarzda amalga oshmaydi. Shu sababli, bu kattaliklar bo'yicha ishonchli miqdoriy xulosa chiqarish uchun dastlabki ma'lumotlar yetarli emas, degan xulosaga kelish to'g'ri bo'ladi. 2-bo'lim metodikasi bo'yicha teksturali aylanuvchi g'ildirakning CFD-hisob-kitoblari natijalari va ularning model nasosda o'tkaziladigan eksperimental validatsiyasi zarur qo'shimcha ma'lumotlar hisoblanadi.

Yuzaga kelgan holat fizik mexanizmlardagi farqlar bilan izohlanadi. Lokal chuqurcha siljish qatlamining o'yi ustida davriy uzilishiga va uyurmalar juftining ajralib chiqishiga sabab bo'ladi [2]; bu uyurmalar aralashish va issiqlik uzatishni kuchaytiradi [1], biroq ayni vaqtda turbulent energiya hosil bo'lishini va natijada yo'qotishlarni oshiradi. Bo'ylama ariqcha esa bunday turdagi ko'ndalang uyurmalarini hosil qilmaydi, aksincha, bo'ylama impulsni qayta taqsimlab, ho'llangan perimetr bo'yicha o'rtacha urinma kuchlanishni kamaytiradi [3]. Aynan shuning uchun teksturalarning ikki turkumida yo'qotishlarga ta'sir belgilari qarama-qarshidir, bu esa ham [1], [2] ma'lumotlariga (f/f_0 ning ortishi), ham [3] ma'lumotlariga (parametrlar oralig'idagi manfiy f' qiymatlari) mos keladi.

Mazkur yondashuvning avvalgi ishlardan farqi maqsadli funksiyaning o'zgartirilganidadir. [1] va [2]-manbalarda tekstura issiqlik uzatish bo'yicha optimallashtiriladi, bunda ishqalanishning ortishi ehtimoliy holat sifatida TEF orqali hisobga olinadi; [3]-manbada esa qarshilik bo'yicha optimallashtiriladi, biroq bu qo'zg'almas ideal kanalda amalga oshiriladi. Ushbu ikki an'anani g'ildirakka tatbiq etish boshqa bir maqsadni — aylanish vaqtidagi gidravlik yo'qotishlarni minimallashtirishni, shuningdek, [4]-manbada ishonchli raqamli jarayoni ishlab chiqilgan yangi obyektga talab qiladi. Taklif etilayotgan rivojlanish aynan [4]-manbadagi maqsadli funksiyani [1] va [3]-manbalardagi metrikalar bilan birlashtirishdan iborat.

G'ildirak uchun "ariqchali" rejimning afzal ko'rilishining eng ehtimoliy sababi ariqchalar orientatsiyasining kuraklararo kanaldagi nisbiy

oqimning ustun yo'nalishiga mos kelishidadir. Bo'ylama tekstura asosiy oqimga minimal darajada ta'sir ko'rsatib, oqim yadrosini qayta shakllantirishga xizmat qiladi. Chuqurliklar esa ko'ndalang girdoblarni hosil qilib, qo'shimcha yo'qotishlarga olib keladi va bu faqat intensiv issiqlik va massa almashinuvi zarur bo'lgan joylardagina o'zini oqlashi mumkin. Shu bilan birga, kurakning oqim uzilishiga moyil bo'lgan qismlarida mahalliy girdob generatorlari vazifasini o'tovchi chuqurchalar uzilishning oldini olish uchun foydali bo'lishi mumkin — bu masala hozircha ochiq qolib, tekshirishni talab etadi.

Olingan natijalarning amaliy ahamiyati shundaki, ular tadqiqot uchun asosli yo'nalishni belgilab beradi: chuqurlik/amplitudani asosiy boshqaruvchi parametr sifatida hamda (1), (2), η metrikalarining yagona shkalasidan foydalangan holda, birinchi navbatda, to'liq soni kichik bo'lgan bo'ylama yo'naltirilgan teksturalarni etalon silliq g'ildirak bilan taqqoslash lozim.

Xulosa. To'rtta mustaqil tadqiqotning qiyosiy tahlili shuni ko'rsatdiki, sun'iy chuqurchalar va bo'ylama ariqchalar yo'qotishlarga ta'siri bo'yicha fizik jihatdan turlicha va qarama-qarshi mexanizmlarni ishga soladi: chuqurchalar uyurma hosil bo'lishini kuchaytirib, odatda ishqalanishni oshirsa, bo'ylama ariqchalar cheklangan parametrlar oralig'ida oqim yadrosini qayta tuzish hisobiga qarshilikni kamaytiradi. Tekstura chuqurligi (amplitudasi) har ikki mexanizmning umumiy boshqaruvchi parametri sifatida ajratib ko'rsatilgan.

Ilmiy bo'shliq aniqlandi: ikki tekstura oilasi yagona maqsadli funksiya ostida va aylanuvchi obyektga o'zaro taqqoslanmagan, mavjud yagona aylanuvchi obyektga doir tadqiqotda esa teksturalar qo'llanilmagan. Ushbu bo'shliqni to'ldirish maqsadida ishchi g'ildirak parragidagi teksturalarni baholashning yagona raqamli metodologiyasi taklif etildi. U ishqalanish modifikatsiyasi va termogidravlik samaradorlik metrikalarini aylanuvchi turbomashinani CFD-modellashtirishning ish jarayoni bilan birlashtiradi. Shuningdek, ko'chish gipotezalari, rejimlar xaritasi va raqamli tajriba rejasi shakllantirildi.

Teksturalangan g'ildirakning miqdoriy xarakteristikalari (FIK, bosim maydonlari, ishqalanish koeffitsiyenti) dastlabki materiallarda

mavjud emas, shu sababli tegishli qiymatlar keltirilmaydi. Ularni olish taklif etilgan metodika bo'yicha raqamli tajriba o'tkazishni va keyinchalik model nasosida eksperimental validatsiyani talab etadi, bu esa kelgusi ishlarning yo'nalishini belgilab beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] Sriromreun, P., & Sriromreun, P. (2019). A numerical and experimental investigation of dimple effects on heat transfer enhancement with impinging jets. *Energies*, 12(5), Article 813. <https://doi.org/10.3390/en12050813>
- [2] Won, S. Y., & Ligrani, P. M. (2007). Flow characteristics along and above dimpled surfaces with three different dimple depths within a channel. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 21(11), 1901–1909.
- [3] DeGroot, C. T., Wang, C., & Floryan, J. M. (2016). Drag reduction due to streamwise grooves in turbulent channel flow. *Journal of Fluids Engineering (ASME)*, 138(12), 121201. <https://doi.org/10.1115/1.4034098>
- [4] Weerakoon, A. H. S., Lee, Y.-H., & Assadi, M. (2023). Wave energy convertor for bilateral offshore wave flows: A computational fluid dynamics (CFD) study. *Sustainability*, 15(9), 7152. <https://doi.org/10.3390/su15097152>

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Qurbonov, O. M. (2026). Markazdan qochma nasos ishchi g'ildiragi kuraklarining yuza teksturasini qiyosiy tahlil qilish va sonli baholash metodologiyasi. *Sanoatda raqamli texnologiyalar*, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.31>
