DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02

UDK 621.635:620.193

AGRESSIV GAZ MUHITIDA ISHLOVCHI MARKAZDAN QOCHMA VENTILYATOR ISH G‘ILDIRAGINING KRITIK SHIKASTLANISH ZONALARINI DIAGNOSTIK BAHOLASH METODIKASINI ISHLAB CHIQISH

Rahmonov S.Sh., *assistent,*
Muhandislik texnologiyalari kafedrasi,
E-mail: rs.rakhmonov@gmail.com,
Qo‘qon davlat universiteti
Tojiboyev B.M., *DSc, professor v.b.,*
Umumiy fizika kafedrasi,
Andijon davlat universiteti

Annotatsiya. *Maqolada agressiv gaz muhitida ishlovchi markazdan qochma ventilyator ish g‘ildiragining kritik zonalarida qoplama shikastlanishini nazariy-hisoblash asosida diagnostik baholash metodikasi ishlab chiqildi. Tadqiqot obyekti – SSP sexidagi 11K001 va 12K001 ventilyatorlari; ularning ish g‘ildiragi nominal tashqi diametri 1238 mm. Konstruktiv chizma va sex mutaxassislari bergan ma’lumotlar asosida A (disk yuzalari) hamda B (parrak yuzalari va parrak–disk birikmalari) zonalari ajratildi. Shikastlangan va metall asosi ochilgan yuza ulushlari, zonalararo maydon bo‘yicha vaznlangan koeffitsient hamda agregatlararo farq uchun diagnostik ko‘rsatkichlar tizimi shakllantirildi. Analitik tahlilda vaznlangan va oddiy o‘rtacha baholar orasidagi og‘ish, ko‘rsatkichlarning chegaraviy shartlari va maydon o‘lchash xatoligiga birinchi tartibli sezgirlik ifodalandi. Shartli parametrik misolda nazorat maydonlari nisbati 1:3 dan 3:1 gacha o‘zgarganda umumlashtirilgan koeffitsient 45% dan 55% gacha o‘zgardi. Bu sonlar sanoat o‘lchovlari emas; metodika amaliy diagnostika orqali tekshirilishi kerak.*

Аннотация. *В статье разработана теоретико-расчётная методика диагностической оценки повреждений защитного покрытия в критических зонах рабочего колеса центробежного вентилятора, эксплуатируемого в агрессивной газовой среде. Объект исследования – вентиляторы 11K001 и 12K001 цеха по производству простого суперфосфата (SSP); номинальный наружный диаметр их рабочих колёс составляет 1238 мм. На основании конструкторского чертежа и сведений специалистов цеха выделены зона A (поверхности дисков) и зона B (поверхности лопаток и соединения лопаток с дисками). Сформирована система диагностических показателей, включающая долю повреждённой поверхности, долю поверхности с обнажённой металлической основой, взвешенный по площади коэффициент повреждения и различия между двумя агрегатами. В аналитическом исследовании определены расхождение между взвешенной и простой средней оценками, предельные условия показателей и чувствительность первого порядка к погрешности измерения площади. В условном параметрическом примере при изменении соотношения площадей контрольных зон от 1:3 до 3:1 обобщённый коэффициент изменился с 45 до 55 %. Эти значения не являются результатами промышленных измерений; методика требует проверки в ходе практической диагностики.*

Abstract. *A theoretical and computational methodology is developed to assess protective-coating damage in critical zones of centrifugal fan impellers operating in aggressive gas environments. The analysis considers the 11K001 and 12K001 fans used in an SSP plant, with a nominal impeller outer diameter of 1238 mm. Based on engineering documentation and information supplied by plant specialists, zone A (disc surfaces) and zone B (blade surfaces and blade–disc joints) are distinguished. Diagnostic indicators describe the relative damaged area, exposed substrate area, area-weighted combined damage and differences between the two units. Analytical derivations establish the deviation between weighted and unweighted averages,*

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02

admissible indicator bounds and first-order sensitivity to surface-area measurement errors. In an explicitly hypothetical parametric example, changing the zone-area ratio from 1:3 to 3:1 changed the combined indicator from 45% to 55%. These values are not industrial measurements; field validation remains necessary.

Kalit so‘zlar: *markazdan qochma ventilyator, ish g‘ildiragi, A/B kritik zona, himoya qoplamasi, shikastlanish koeffitsienti, vaznlangan baholash, o‘lchash xatoligi, nazariy-hisoblash metodikasi.*

Ключевые слова: *центробежный вентилятор, рабочее колесо, критические зоны A/B, защитное покрытие, коэффициент повреждения, взвешенная оценка, погрешность измерения, теоретико-расчётная методика.*

Keywords: *centrifugal fan, impeller, critical damage zone, protective coating, damage-area index, weighted assessment, measurement uncertainty, computational methodology.*

Kirish. Kimyo sanoati va mineral o‘g‘itlar ishlab chiqarish korxonalarida texnologik gazlarni so‘rish uchun ishlatiladigan markazdan qochma ventilyatorlarning ishonchliligi ishlab chiqarish uzluksizligi bilan bevosita bog‘liq. Ularning ish g‘ildiraklari aylanishdan hosil bo‘ladigan mexanik yuklanishlar va agressiv texnologik muhit ta’sirida ishlaydi. Gaz oqimidagi korrozion faol moddalar, namlik yoki qattiq zarrachalar metall korroziyasi, eroziyali yeyilish hamda himoya qoplamasining ko‘chishiga olib kelishi mumkin. Bu hodisalar rotorning dinamik muvozanati va ekspluatatsion ishonchliligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi ehtimoli mavjud.

Sun va hammualliflar [1] kimyo sanoati ventilyatori ish g‘ildiragining shikastlanish sabablarini fizik-kimyoviy tekshiruvlar hamda CFD modellashtirish orqali o‘rganib, korrozion shikastlanishlar ish g‘ildiragining ayrim qismlarida notekis namoyon bo‘lishini ko‘rsatganlar. Fortini va hammualliflar [2] katta o‘lchamli sanoat ventilyatorida qattiq zarrachalar eroziyasining urilish burchagi va tezligiga bog‘liqligini eksperimental hamda sonli usullarda tahlil qilganlar. Subramanian va hammualliflar [3] gaz so‘ruvchi ventilyator parragining ishdan chiqishida tebranish va takrorlanuvchi mexanik yuklanishlar bilan bog‘liq omillarni tahlil qilganlar.

Rahmonov S.Sh. [4] markazdan qochma ventilyator ish g‘ildiragi yuzasidagi himoya qoplamasining massa, inersiya va muvozanat xususiyatlariga ta’sirini tahlil qilgan. Biroq qoplamaning konstruktiv-dinamik ta’sirini baholash va haqiqiy ekspluatatsiyada shikastlanishning qaysi zonalarda rivojlanishini diagnostik o‘rganish alohida ilmiy masalalardir. Mavjud ishlarda bu hodisalarning umumiy qonuniyatlari yoritilgan bo‘lsa-da, aynan SSP sexidagi konstruktiv jihatdan o‘xshash ikki ish g‘ildiragining kritik zonalarini yagona o‘lchov mezoni asosida qiyosiy baholash uchun alohida metodika talab etiladi.

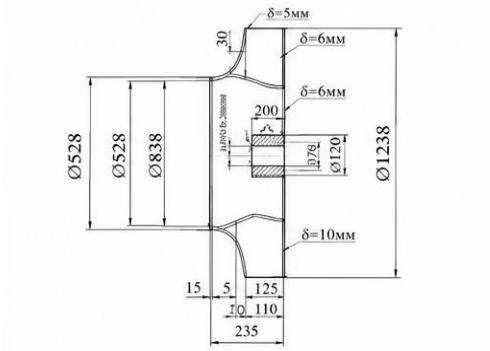
Tadqiqotning maqsadi – SSP sexidagi 11K001 va 12K001 ventilyator ish g‘ildiraklarining A/B kritik zonalari uchun shikastlanish ko‘rsatkichlarini yagona tizimga keltirish, zonalarning umumlashtirilgan bahosini nazariy tahlil qilish hamda diagnostik natijaning maydon o‘lchash xatoliklariga sezgirligini matematik asoslashdan iborat. Mazkur ishda haqiqiy shikastlanish maydonlari o‘lchanmaganligi sababli sonli natijalar faqat shartli parametrik hisoblash sifatida talqin qilinadi.

Tadqiqot materiallari va metodlari. Tadqiqot obyekti – Indorama Kokand Fertilizers and Chemicals korxonasi oddiy superfosfat (SSP) sexining gaz-tozalash tizimida ishlovchi 11K001 hamda 12K001 markazdan qochma ventilyatorlari. Ikkala agregatga tegishli ish g‘ildiragi 2248/354 raqamli «DEDUST EXHAUST FAN» konstruktiv chizmasi bo‘yicha ko‘rib chiqildi. Ish g‘ildiragining nominal tashqi diametri D = 1238 mm. Umumiy ko‘rinish va chizma 1-rasmda keltirilgan.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02



a) Markazdan qochma ventilyator ishchi g‘ildiragi (Fe listlardan payvandlangan, qoplamasiz holat)



b) Ishchi g‘ildirakning ishchi chizmasi

1-rasm. SSP sexi ventilyatori ish g‘ildiragining umumiy ko‘rinishi va konstruktiv chizmasi

Amaldagi korroziyaga qarshi himoyada ES-1020 vinilester smolasi va JUSHI CSM shisha tolali materialidan foydalanilishi avvalgi loyiha materiallari va mutaxassislar ma’lumotlarida qayd etilgan. Ish g‘ildiraklarining ekspluatatsion shikastlanishini baholash uchun SSP sexi bosh muhandisi taqdim etgan ma’lumotlar asosidagi zonalashtirish sxemasi tanlandi: A zona – disk yuzasida qoplama ko‘chishi va metall asosi ochilishi; B zona – parrak yuzalari hamda parrak–disk birikmalarida qoplama yemirilishi va korrozion nuqsonlar. Zona chegaralari sanoat ko‘rigi davomida chizmaga bog‘lab aniqlashtiriladi.

Metodikada nazorat yuzasining umumiy maydoni S_i, qoplamasi shikastlangan maydon $S_{sh,i}$ hamda metall asosi ochilgan maydon $S_{m,i}$ farqlanadi. Qoplama yorig‘i yoki qatlamlararo ajralishning mavjudligi metall asosi albatta ochilganligini anglatmaydi. $S_{m,i} \le S_{sh,i} \le S_i$ sharti qabul qilinadi. Maydonlar kelgusida bir xil masshtablangan ko‘rik tasvirlari yoki geometrik o‘lchovlar yordamida aniqlanishi mumkin; mavjud sxema o‘lchov ma’lumotining o‘rnini bosa olmaydi.

Nazariy tahlilda o‘zaro qoplanmaydigan nazorat zonalari va $S_i > 0$ sharti qabul qilindi. Fotografik diagnostika amalga oshirilganda tasvir masshtabi, rakurs va yoritish hamda shikastlanish konturini ajratish qoidalari oldindan belgilanishi kerak. Liu va hammualliflar [5] qoplamali po‘latda tasvir asosida korroziya maydonini aniqlashda yoritish ta’sirining ahamiyatini ko‘rsatganlar; ushbu ishda tasvir segmentatsiyasi amalda bajarilgani da’vo qilinmaydi. Maydoniy ko‘rsatkichlar quyidagi ifodalar bilan belgilanadi:

$$K_{\mathrm{i}} = \frac{S_{\mathrm{sh,i}}}{S_{\mathrm{i}}} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

$$K_{\mathrm{m,i}} = \frac{S_{\mathrm{m,i}}}{S_{\mathrm{i}}} \cdot 100\ \%, \qquad (2)$$

bu yerda K_i – zona yuzasining shikastlangan ulushi, %; $K_{m,i}$ – himoya qoplamasi yo‘qolib, metall asosi ochilgan yuza ulushi, %. Ikkala ko‘rsatkichning o‘lchov birligi va nazorat yuzasining chegaralari barcha taqqoslanadigan holatlarda bir xil qabul qilinadi.

1-jadval

Zonalar bo‘yicha diagnostik baholash uchun zarur parametrlar

Ko‘rsatkich	Belgisi	Birligi
Nazorat zonasi yuzasi	S_i	mm²
Shikastlangan yuza	$S_{sh,i}$	mm²
Metall asosi ochilgan yuza	$S_{m,i}$	mm²
Shikastlangan yuza ulushi	K_i	%
Metall asosi ochilgan ulush	$K_{m,i}$	%

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02

Tadqiqot natijalari. *Kritik zonalar va umumlashtirilgan shikastlanishning matematik asoslari.* 11K001 hamda 12K001 ventilyatorlarining konstruktiv chizmasi va ishlab chiqarish mutaxassislari ma'lumotlari asosida ish g'ildiragining A (disk yuzalari) va B (parrak yuzalari hamda parrak–disk birikmalari) kritik nazorat zonalari qabul qilindi. 2-rasmdagi hududlar muhandislik vizualizatsiyasi bo'lib, o'lchangan nuqson maydonlari yoki korroziya chuqurligining tajribaviy xaritasi hisoblanmaydi.

Shikastlanish ulushlari (1)–(2) formulalar bilan ifodalanadi. A va B nazorat zonalarining yuzalari bir xil bo'lishi shart emas. Shuning uchun ish g'ildiragi bo'yicha umumlashtirilgan ko'rsatkich maydonlar bilan vaznlangan holda olinadi:

$$K_{\mathrm{AB}} = \frac{S_{\mathrm{A}} \cdot K_{\mathrm{A}} + S_{\mathrm{B}} \cdot K_{\mathrm{B}}}{S_{\mathrm{A}} + S_{\mathrm{B}}}, \tag{3}$$

bu yerda S_A va S_B – nazorat zonalarining maydonlari, K_A va K_B – shikastlanish koeffitsientlari. Metall asosi ochilgan yuza ulushini shikastlangan qismdan farqlash uchun quyidagi ko'rsatkich qo'llaniladi:

$$E_{\mathrm{i}} = \frac{K_{\mathrm{m,i}}}{K_{\mathrm{i}}} = \frac{S_{\mathrm{m,i}}}{S_{\mathrm{sh,i}}}, \tag{4}$$

Ikki ventilyatorning o'xshash konstruktiv zonalari bo'yicha qiyosiy farqi quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta K_{\mathrm{i}} = K_{\mathrm{i,11K001}} - K_{\mathrm{i,12K001}}, \tag{5}$$

Oddiy arifmetik o'rtacha K_o = (K_A + K_B)/2 bilan (3) bo'yicha maydon bilan vaznlangan baho orasidagi algebraik farq quyidagiga teng:

$$\delta K = K_{\mathrm{AB}} - K_{\mathrm{o}} = \frac{(S_{\mathrm{A}} - S_{\mathrm{B}})(K_{\mathrm{A}} - K_{\mathrm{B}})}{2(S_{\mathrm{A}} + S_{\mathrm{B}})}, \tag{6}$$

(6) tenglikdan S_A = S_B yoki K_A = K_B bo'lganda δK = 0 ekani kelib chiqadi. Boshqa holatlarda farqning kattaligi va ishorasi zonalar maydoni hamda shikastlanish koeffitsientlari o'zaro nisbatiga bog'liq; ikkala maydon musbat bo'lsa, |δK| < |K_A − K_B|/2 bo'ladi. Masalan, faqat hisoblash usulini namoyish qilish uchun K_A = 60% va K_B = 40% deb shartli olsak, nazorat maydonlari nisbatining 1:3, 1:1 va 3:1 qiymatlarida quyidagi natijalar hisoblanadi:

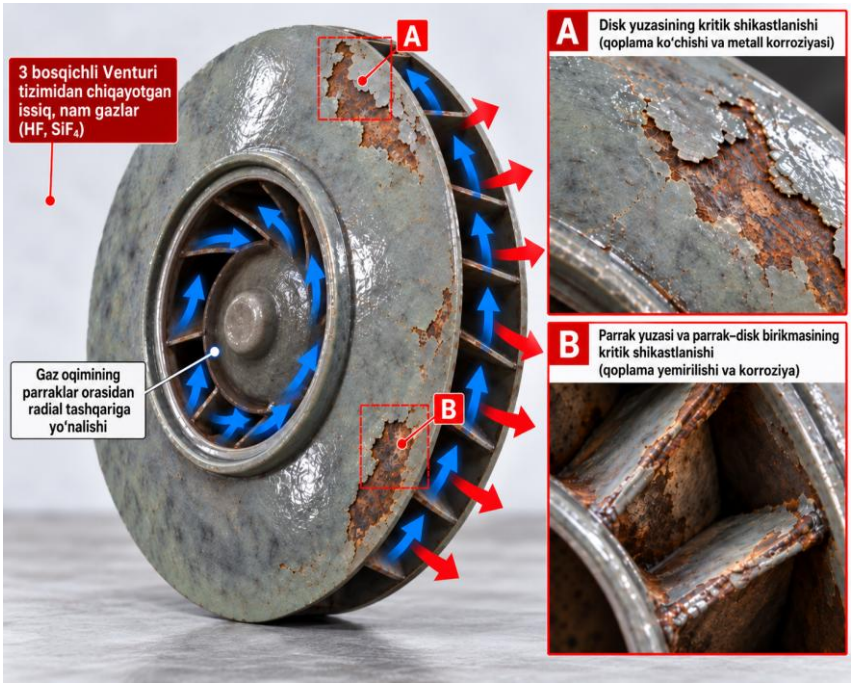
2-jadval

Nazorat zonalari maydonlari nisbatining umumlashtirilgan shikastlanishga nazariy ta'siri

S_A : S_B	K_AB, %	δK, foiz punkt
1 : 3	45,0	−5,0
1 : 1	50,0	0
3 : 1	55,0	+5,0

Izoh. 2-jadvaldagi barcha sonlar faqat shartli parametrik misol natijalaridir; ular 11K001 yoki 12K001 agregatida o'lchangan shikastlanishni bildirmaydi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02



2-rasm. A/B kritik shikastlanish zonalarining sxematik muhandislik vizualizatsiyasi

Shartli misolda zonalarning shikastlanish koeffitsientlari o‘zgarmagan bo‘lsa-da, maydonlar nisbatining o‘zgarishi K_AB qiymatini 45% dan 55% gacha o‘zgartirdi. Demak, umumlashtirilgan bahoda nazorat zonalari yuzalarini hisobga olish matematik zaruriyatdir; bu natija yangi fizik qonuniyat sifatida talqin qilinmaydi.

Metall asosi ochilishi va diagnostik chegaraviy shartlar. Qoplama shikastlangan maydonning qanday ulushida metall asosi ochilganligini aniqlash uchun yuqoridagi (4) diagnostik ko‘rsatkich qo‘llaniladi.

Metall asosi ochilgan yuza shikastlangan yuza tarkibiga kirishi sharti bo‘yicha quyidagi chegaraviy munosabat hosil bo‘ladi:

$$0 \le K_{m,i} \le K_i \le 100\ \%, \tag{7}$$

Shuningdek, $K_i > 0$ bo‘lganda $0 \le E_i \le 1$ va $K_{m,i} = E_i K_i$ bo‘ladi. $E_i = 0$ shikastlangan maydonda metall asosi ochilmaganligini, $E_i = 1$ esa uning barchasi ochiq metallga to‘g‘ri kelishini bildiradi. $K_i = 0$ da E_i aniqlanmagan bo‘ladi. $K_{m,i} > K_i$ kabi qiymat chiqishi maydonlarni belgilash, ajratish yoki hisoblashdagi nomuvofiqlikni ko‘rsatadi. Mazkur ko‘rsatkichlar metallning korroziya chuqurligini yoki massa yo‘qotishini bevosita baholamaydi.

Maydoniy diagnostikaning o‘lchash xatoligiga sezgirligi. $K_i = 100S_{sh,i}/S_i$ ifodaning shikastlangan va nazorat maydonlari bo‘yicha xususiy hosilalari yordamida, $S_i > 0$ va kichik xatoliklar uchun birinchi tartibli yuqori absolyut baho olinadi:

$$|\delta K_i| \lesssim \frac{100}{S_i}\left|\delta S_{sh,i}\right| + \frac{100 S_{sh,i}}{{S_i}^2}|\delta S_i|. \tag{8}$$

bu yerda $\delta S_{sh,i}$ va δS_i – tegishli maydonlarni aniqlashdagi absolyut xatoliklar, δK_i – koeffitsientning foiz punktdagi og‘ishi. (8) ifoda xatoliklar kichik deb qabul qilingandagi sezgirlikni ifodalaydi; o‘lchashlarning statistik taqsimotini yoki tizimli tasvir xatolarini tavsiflamaydi. Bir xil absolyut maydon xatoligi kichikroq nazorat zonasida K_i ga kattaroq ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Shuning uchun murakkab egri yuzalarda masshtablash, kontur ajratish va geometrik o‘lchovlar muvofiqligi muhim.

O‘xshash konstruksiyali ventilyatorlarni taqqoslash mezoni. Bir xil konstruktiv zonalarda ikkita agregatning shikastlanish koeffitsientlari farqi (5) ko‘rsatkich orqali aniqlanadi.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02

Agar ikki o‘lchov xatoligi chegaralari ε_1 va ε_2 bilan kafolatlangan bo‘lsa, $|\Delta K_i| > \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ sharti kuzatilgan farq ishorasi faqat mazkur xatoliklar hisobiga almashmasligi uchun yetarli mezon bo‘ladi. Biroq o‘lchovlar amalda olinmagani sababli bu shartning bajarilishi baholanmagan. Ekspluatatsiya vaqti, qoplama holati hamda ta’mirlash tarixidagi tafovutlar nazorat qilinmasa, ΔK_i ni konstruktiv farqning sababi sifatida talqin qilib bo‘lmaydi.

Natijalar muhokamasi. A/B zonalarga ajratish sxemasi konstruktiv hududlar va himoya qoplamasidagi nuqsonlarni yagona tartibda qayd etishga xizmat qiladi. SSP sexi mutaxassislari ma’lumotlariga ko‘ra A zona disk yuzalarini, B zona parraklar va ularning disk bilan birikmalarini qamraydi. Tasvir real nuqsonlar xaritasi emas; o‘lchovlar yo‘qligi sababli qaysi zonada shikastlanish kuchliroq ekani aniqlanmagan.

Vaznlangan K_AB ni oddiy arifmetik o‘rtacha bilan almashtirish natijani o‘zgartirishi (6) tenglik bilan asoslandi. Shartli hisoblashda zonalar maydonlari nisbati 1:3 dan 3:1 gacha o‘zgarganda K_AB qiymati 45% dan 55% gacha o‘zgardi. Ushbu natija haqiqiy yeyilish jadalligini emas, diagnostik mezonning nazorat maydoni tanloviga sezgirligini ifodalaydi. Shuning uchun zonalar chegaralari o‘zaro qoplanmasligi kerak.

$K_{m,i}$ va E_i ochiq metall maydonini qoplama shikastlangan jami maydondan farqlash imkonini beradi. (7) shart ko‘rsatkichlarning ichki matematik muvofiqligini tekshiradi. Biroq yuzaviy nisbatlardan korroziya chuqurligi, yemirilish tezligi yoki qolgan xizmat muddatini hisoblab bo‘lmaydi: buning uchun mustaqil geometrik va ekspluatatsion o‘lchovlar zarur.

(8) yaqinlashish kichik nazorat yuzasida absolyut maydon xatoligining koeffitsientga ta’siri kattaroq bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Shuning uchun haqiqiy diagnostikada rakurs, yoritish, masshtab va kontur ajratish mezonlari birxillashtiriladi. Liu va hammualliflar [5] korroziya maydonlarini tasvir orqali baholashda yoritish ta’sirini o‘rgangan; mazkur ishda tasvir segmentatsiyasi bajarilmagan.

A zonada qoplama–metall adgeziyasining zaiflashuvi yoki kondensat, B zonada esa zarrachalar urilishi hamda mahalliy oqim ta’siri ehtimoliy mexanizmlardir. Sun va hammualliflar [1] korrozion shikastlanishni, Fortini va hammualliflar [2], Ghenaiet [6] hamda Cui va hammualliflar [7] eroziyali yeyilishni o‘rganganlar. Subramanian va hammualliflar [3] parrak buzilishida dinamik yuklanishlar rolini ko‘rsatganlar. Biroq boshqa qurilmalarning natijalari SSP ventilyatorlariga bevosita ko‘chirilmaydi.

Rahmonov [4] qoplamaning konstruktiv-dinamik ta’sirini, Oxunjonov va Rahmonov [8] yeyilishga chidamli qoplamalarni, Oxunjonov, Raxmonov va Umarov [9] esa tribologik modellashtirishni o‘rganganlar. Hozirgi ish ulardan kritik konstruktiv zonalardagi maydoniy diagnostikaning matematik shartlariga yo‘naltirilgani bilan farqlanadi. Standart algebraik va differensial munosabatlarga asoslangan metodika sanoat o‘lchovlari bilan validatsiya qilinmagan; yangi fizik qonuniyat da’vo qilinmaydi.

Xulosa. 11K001 va 12K001 markazdan qochma ventilyatorlari ish g‘ildiraklarining konstruktiv chizmasi hamda SSP sexi mutaxassislari ma’lumotlari asosida A (disk yuzalari) va B (parrak yuzalari hamda parrak–disk birikmalari) kritik nazorat zonalariga ajratilgan sxema qo‘llanildi. Uning asosida shikastlangan yuza, metall asosi ochilgan maydon, maydonlar bo‘yicha umumlashtirilgan baho va agregatlararo farqni ifodalovchi diagnostik ko‘rsatkichlar bir tizimga keltirildi.

Analitik tahlilda oddiy va maydon bilan vaznlangan o‘rtacha ko‘rsatkichlarning og‘ishi (6), maydoniy ko‘rsatkichlarning chegaraviy shartlari (7) hamda kichik o‘lchash xatoliklari uchun birinchi tartibli sezgirlik bahosi (8) chiqarildi. Shartli hisoblashda K_A = 60%, K_B = 40% bo‘lganda nazorat zonalari yuzalarining 1:3 dan 3:1 gacha o‘zgarishi K_AB qiymatini 45% dan 55% gacha o‘zgartirdi. Bu hisoblashlar amaliy shikastlanish statistikasi emas, metodikaning matematik xususiyatlarini ko‘rsatuvchi parametrik misoldir.

DOI: 10.65322/j.srd.06202026.02

Nazariy natijalar diagnostik protokol uchun asos bo‘lsa-da, A/B zonalardagi haqiqiy maydonlar, metall yo‘qotilishi va ishlash davomiyligi bo‘yicha o‘lchovlar yo‘qligi sababli amaliy aniqlik va xizmat muddatiga ta’sir hali tasdiqlanmagan. Kelgusida metodika sanoat ko‘rigi va takroriy o‘lchovlar asosida tekshirilishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sun J., Chen Y., Li J., Yang P., Zhou S., Cai J., Su F. Failure Analysis of Chemical Industry Blower Impeller Based on Experiment and CFD Simulation. Surface Technology. 2025;54(12):114–123. DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2025.12.010.

2. Fortini A., Suman A., Zanini N. An Experimental and Numerical Study of the Solid Particle Erosion Damage in an Industrial Cement Large-Sized Fan. Engineering Failure Analysis. 2023;146:107058. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107058.

3. Subramanian C., Roy H., Mondal A., Ghosh D., Laha S. K., Uke K. J. Failure of Induced Draft-ID Fan Blade in Coal Fired Boiler. Engineering Failure Analysis. 2021;122:105282. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2021.105282.

4. Rakhmonov S. Assessment of the Effect of a Protective Coating on the Structural and Operating Characteristics of a Centrifugal Fan Impeller. Yosh olimlar. 2026;4(77):28–31. https://www.in-academy.uz/index.php/YO/article/view/60351.

5. Liu C., Tian L., Wang P., Yu Q.-Q., Song L., Miao J. Non-destructive Detection and Quantification of Corrosion Damage in Coated Steel Components with Different Illumination Conditions. Expert Systems with Applications. 2025;282:127854. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.127854.

6. Ghenaiet A. Predicting Erosion Damage in a Centrifugal Fan. International Journal of Turbomachinery, Propulsion and Power. 2024;9(2):23. DOI: 10.3390/ijtpp9020023.

7. Cui Y., Wang J., Ren Z., Liu W., Wang K., Qiu W., Hu Y. CFD–DEM Investigation of Erosion Wear Characteristics in a Dust-Extraction Fan Impeller. Journal of Engineering Research. 2026 (online first). DOI: 10.1016/j.jer.2026.08.001.

8. Oxunjonov F. F., Rahmonov S. Sh. Tuproqqa ishlov beruvchi mashinalarning ishchi qismlariga karbid-volfram qotishmalaridan qayta ishlab olingan kukun asosida yeyilishga chidamli qoplamalar qoplash texnologiyasini ishlab chiqish. Qurilish va ta’lim (Строительство и образование). 2025;4(3):128–134.

9. Oxunjonov F. F., Raxmonov S. Sh., Umarov S. A. Metall kesish jarayonida tribologik juftlikning ishqalanish koeffitsientini modellashtirish va eksperimental natijalar bilan solishtirish. Qurilish va ta’lim (Строительство и образование). 2025;4(5):285–294.