

KARYER GIDRAVLIK EKS-KAVATORLARNI KUCH GIDROSILINDRLARINING ICHKI SIZIB O'TISHINI TERMOGIDRAVLIK VA KINEMATIK PARAMETRLAR ASOSIDA DIAGNOSTIKA QILISH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

Aduazizov N.A. Tursunov Sh.B.

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Annotatsiya: Maqolada karyer gidravlik ekskavatorlarining ishchi organlarini harakatlantiruvchi kuch gidrosilindrlarida ekspluatatsiya jarayonida yuzaga keladigan ichki sizib o'tish holatini erta aniqlash masalasi ko'rib chiqilgan. Gidrosilindr zichlagichlarining yeyilishi natijasida kameralar orasida ichki suyuqlik oqimi paydo bo'lishi gidravlik energiyaning foydasiz sarflanishiga, ishchi organning harakat tezligi pasayishiga va ish siklining davomiyligi ortishiga olib kelishi mumkin. Tadqiqotning asosiy g'oyasi ichki sizib o'tishni faqat bitta diagnostik belgi orqali emas, balki termik, gidravlik va kinematik parametrlarning o'zaro bog'langan o'zgarishi asosida baholashdan iborat. Ichki sizib o'tishning gidravlik quvvat yo'qotilishi bilan bog'lanishi $P_{leak} = \Delta p \cdot Q_{int}$ ifoda orqali asoslangan. Shuningdek, ideal va sizib o'tish mavjud bo'lgan ish rejimlari uchun gidrosilindr shtokining harakat tezligi hamda yurish vaqti o'rtasidagi bog'lanishlar keltirilgan. Termografik nazoratning o'zi nosozlikning yagona isboti sifatida qabul qilinmay, bosim, ichki sizib o'tish sarfi, shtok tezligi va ish sikli davomiyligi bilan kompleks baholash taklif etilgan. Gidrosilindrni demontajdan keyingi defektatsiya natijalari esa diagnostik belgilarni haqiqiy fizik yeyilish bilan verifikatsiya qiluvchi mezon sifatida qaralgan. Taklif etilayotgan yondashuv karyer ekskavatorlarining kuch gidrosilindrlarini texnik holatiga ko'ra diagnostika qilish va kelgusida qoldiq foydali resursini baholash uchun metodik asos yaratadi.

Kalit so'zlar: Gidravlik ekskavator, gidrosilindr, ichki sizib o'tish, zichlagich, termografiya, bosim, texnik diagnostika, gidravlik energiya yo'qotilishi, shtok tezligi, qoldiq resurs.

1.KIRISH

Karyer gidravlik ekskavatorlarida ishchi organlarning harakatlanishi yuqori bosimli gidravlik energiyaning mexanik harakatga aylantiruvchi kuch gidrosilindrlari orqali amalga oshiriladi. Gidrosilindrlarning texnik holati ekskavatorning ish unumdorligi, sikl davomiyligi va gidravlik tizim energiya samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli kuch gidrosilindrlarining texnik holatini o'z vaqtida

aniqlash va ularning ish qobiliyatini saqlash karyer texnikasining ishonchligini ta'minlashning muhim ilmiy-amaliy yo'nalishlaridan biridir.

Ekspluatatsiya davomida gidrosilindrning porshen zichlagichlari, yo'naltiruvchi elementlari va ishchi juftliklari doimiy yuqori bosim, ishchi suyuqlikning issiqlik ta'siri hamda porshen harakatining takrorlanuvchanligi oqibatida yeyilishga uchraydi. Zichlagichning elastikligi va geometrik holati yomonlashishi natijasida porshenning ikki tomonidagi kameralar (porshen va shtok kameralari) o'rtasida qo'shimcha suyuqlik oqimi hosil bo'ladi. Mazkur hodisa ichki sizib o'tish (internal leakage) deb qaraladi. Ilmiy adabiyotlarda gidrosilindr ichki sizib o'tishi ko'pincha zichlagichning yeyilishi bilan bog'liqligi va uning gidrosilindrning dinamik hamda energetik xususiyatlariga salbiy ta'sir qilishi ko'rsatilgan.

Ichki sizib o'tishning asosiy xavfliligi uning dastlabki bosqichlarda tashqi kuzatuv orqali aniqlanishi juda qiyinligidadir. Tashqi moy oqishi bo'lmagan holda ham porshen zichlagichi orqali kameralararo ichki oqim yuzaga kelishi va rivojlanishi mumkin. Natijada gidrosilindrning foydali ish bajarishga sarflanayotgan oqimi kamayadi. Bu esa shtok harakat tezligining pasayishi, ishchi organning javob reaksiyasi sekinlashishi va ma'lum ish siklining davomiyligi ortishi bilan namoyon bo'ladi. Gidrosilindr ichki sizib o'tishini diagnostika qilishda bosim signallari va spektral usullar bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqotlar amalga oshirilgan.

Zichlagich holatini aniqlashda akustik emissiya va tebranish signallaridan foydalanish imkoniyati ham tadqiq qilingan. Tajriba ishlarida yeyilmagan, qisman yeyilgan va to'liq yeyilgan zichlagichlar uchun akustik signallarning vaqt va chastota sohasidagi xususiyatlari farqlanishi ko'rsatilgan. Biroq karyer ekskavatorlari ekspluatatsiya sharoitida diagnostika jarayoni keskin murakkablashadi: tashqi yuklama doimiy o'zgaradi, atrof-muhit temperaturasi keng diapazonda tebranadi, gidravlik nasosning ish rejimi avtomatik boshqariladi hamda ishchi organlar turli dinamik yuklanishlarda ishlaydi.

Shu sababli faqat bitta diagnostik parametrga tayanuvchi yondashuv yetarli va ishonchli bo'lmasligi mumkin. Masalan, gidrosilindr sirtining temperaturasi oshishi ichki sizib o'tish natijasida drossellash issiqligi ajralishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin, biroq u umumiy moy temperaturasi, tashqi muhit, yuklama rejimi, ishqalanish va ish davomiyligiga ham kuchli bog'liqdir. Demak, termografik signalni ichki sizib o'tishning bevosita va yagona mezon sifatida qabul qilish ilmiy jihatdan yetarli asosga ega emas.

Shundan kelib chiqib, mazkur tadqiqotda kuch gidrosilindrining texnik holatini termik, gidravlik va kinematik parametrlarni birgalikda tahlil qilish asosida baholash konsepsiyasi taklif etiladi. Tadqiqotning asosiy ilmiy muammosi quyidagi sabab-oqibat funksional bog'lanishi orqali ifodalanadi:

$$D_{physical} \rightarrow Q_{int} \rightarrow \{\Delta T, \Delta p, v, t_{cyl}\} \quad (1)$$

bu yerda: $D_{physical}$ — gidrosilindrning fizik yeyilish holati; Q_{int} — ichki sizib o'tish sarfi; ΔT — temperaturalar farqi; Δp — kameralar bosimlari farqi; v — shtok harakat tezligi; t_{cyl} — belgilangan yurish uzunligini bajarish vaqti.

2. MATERIALLAR VA USULLAR

2.1. Tadqiqot obyekti va predmeti

Tadqiqot obyekti sifatida karyer gidravlik ekskavatorlarining ishchi organlarini (cho'mich, strela, shtok) harakatlantiruvchi kuch gidrosilindrlari qabul qilindi. Asosiy eksperimental-obyekt modeli sifatida kon-sanoat korxonalarida keng qo'llaniladigan Hitachi EX3600-6 karyer gidravlik ekskavatorining kuch gidrosilindrlari ko'zda tutiladi.

Tadqiqot predmeti esa gidrosilindrlarning ekspluatatsion yeyilishi natijasida ichki sizib o'tishning, gidravlik energiya yo'qotilishining, termik va kinematik parametrlarning o'zgarishi hamda mazkur parametrlarning gidrosilindr texnik holati bilan bog'lanish qonuniyatlaridan iborat.

Tadqiqotda gidrosilindrning uchta asosiy fizik holati o'zaro bog'liq majmua sifatida qaraladi:

$$D_{physical} = \{ D_{seal}, D_{guide}, D_{bore} \} \quad (2)$$

bu yerda D_{seal} -porshen va shtok zichlagichlarining yeyilishi; D_{guide} -yo'naltiruvchi elementlarning holati; D_{bore} -silindr ichki ishchi yuzasining yeyilish yoki tiralish darajasi.

2.2. Ichki sizib o'tishning termogidravlik fizik modeli

Gidrosilindrning normal holatida porshen zichlagichi ikki kamerani imkon qadar ideal ajratib turadi. Zichlagichning yeyilishi, elastik xususiyatlarining pasayishi yoki silindr ishchi yuzasining shikastlanishi natijasida yuqori bosimli kamera bilan past bosimli kamera o'rtasida tirqish orqali qo'shimcha oqim hosil bo'ladi.

Ichki sizib o'tishning gidravlik quvvat yo'qotilishiga ta'siri quyidagi fundamental energiya tenglamasi bilan birinchi yaqinlashishda baholanadi:

$$P_{leak} = \Delta p \cdot Q_{int} \quad (3)$$

bu yerda P_{leak} -ichki sizib o'tish bilan bog'liq gidravlik quvvat yo'qotilishi, W; Δp -gidrosilindr kameralaridagi bosimlar farqi ($\Delta p = |p_A - p_B|$), Pa; Q_{int} -ichki sizib o'tish sarfi, m³/s.

Muhandislik va amaliy gidravlik birliklarda ushbu tenglama quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$P_{leak} [kW] = (\Delta p [MPa] \cdot Q_{int} [L/min]) / 60 \quad (4)$$

Mazkur tenglama tadqiqotning termogidravlik asosiy bog'lanishlaridan biridir. Yuqori bosim ostida drossellanuvchi ichki sizib o'tish oqimi gidravlik energiyani issiqlik energiyasiga aylantiradi, bu esa local sirt temperaturasining oshishiga olib keladi.

2.3. Ichki sizib o'tishning kinematik parametrta ta'siri

Ideal gidrosilindr (sizib o'tishsiz) uchun shtokning nazariy harakat tezligi v_0 quyidagicha ifodalanadi:

$$v_0 = Q/A \quad (5)$$

bu yerda Q — gidrosilindrda kirayotgan umumiy foydali oqim, m^3/s ;

A — porshenning tegishli ishchi yuzasi, m^2 .

Porshen zichlagichida ichki sizib o'tish Q_{int} mavjud bo'lganda, porshenni harakatlantiruvchi effektiv oqim kamayadi. Soddalashtirilgan kinematik model:

$$v = (Q - Q_{int}) / A \quad (6)$$

Ushbu modeldan ko'rinadiki: $Q_{int} \uparrow \Rightarrow Q_{useful} \downarrow \Rightarrow v \downarrow$. Agar shtokning to'liq ishchi yurish uzunligi L bo'lsa, belgilangan masofani o'tish vaqti t_{cyl} quyidagiga teng bo'ladi:

$$t_{cyl} = L / v = (A \cdot L) / (Q - Q_{int}) \quad (7)$$

2.4. Termik diagnostika modeli

Gidrosilindr sirt temperaturasi T_s diagnostik axborot manbasi sifatida qaraladi. Biroq $T_s \uparrow \neq Q_{int} \uparrow$ tenglikni avtomatik ravishda qabul qilish ilmiy xatolikka olib keladi. Gidrosilindr sirt temperaturasi umumiy holda quyidagi ko'p omilli funksiyadir:

$$T_s = f(Q_{int}, \Delta p, T_{oil}, T_{amb}, F, v, t, P_{fr},) \quad (8)$$

bu yerda T_{oil} — gidravlik moyning kirish temperaturasi; T_{amb} — tashqi muhit temperaturasi; F — tashqi mexanik yuklama; P_{fr} — porshen va shtok ishqalanishidan ajraluvchi quvvat.

Shu sababli termografik o'lchovlarda absolyut temperatura o'rniga nisbiy va differensial ko'rsatkichlar taklif etiladi: $\Delta T = T_{cyl} - T_{ref}$ hamda parallel ishlaydigan gidrosilindrlar uchun $\Delta T_{LR} = |T_L - T_R|$.

2.5. Metodikaning eksperimental sxemasi va parametrlar tasnifi

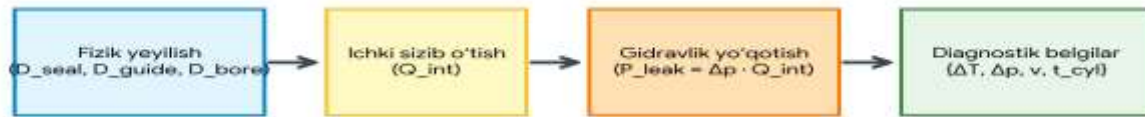
Tadqiqot metodologiyasining asosiy ustuvorligi diagnostik belgilar va ularning dinamikasini gidrosilindrni demontaj qilgandan keyin aniqlanadigan haqiqiy fizik yeyilish bilan solishtirishdan iborat. O'lchanadigan va tahlil qilinadigan parametrlar 1-jadvalda keltirilgan.

Parametrlar guruhi	Asosiy parametrlar	Tadqiqotdagi funksional vazifasi
Ekspluatatsion	N (moto-soat), T_{oil} , T_{amb} , F	Tashqi muhit va rejim ta'sirlarini hisobga olish hamda me'yorlashtirish
Gidravlik	P_A , P_B , Δp , Q_{int}	Ichki sizib o'tish va gidravlik energiya yo'qotilishini miqdoriy tavsiflash
Diagnostik	$T(x,t)$, ΔT , v , t_{cyl} , T_{cylce}	Sirtida va harakatda kuzatiladigan nosozlik belgilarini qayd etish

Fizik holat	$D_{\text{seal}}, D_{\text{guide}}, D_{\text{bore}}$	Demontajdan so'ng diagnostik modellar ishonchliligini verifikatsiya qilish
-------------	--	--

1-jadval. Diagnostic parametrlar va ularning tadqiqotdagi vazifalari tasnifi

Gidrosilindr ichki sizib o'tishini diagnostika qilishning sabab-oqibat apparati



1-rasm. Gidrosilindr ichki sizib o'tishini diagnostika qilishning sabab-oqibat strukturaviy algoritmi

3. NATIJALAR

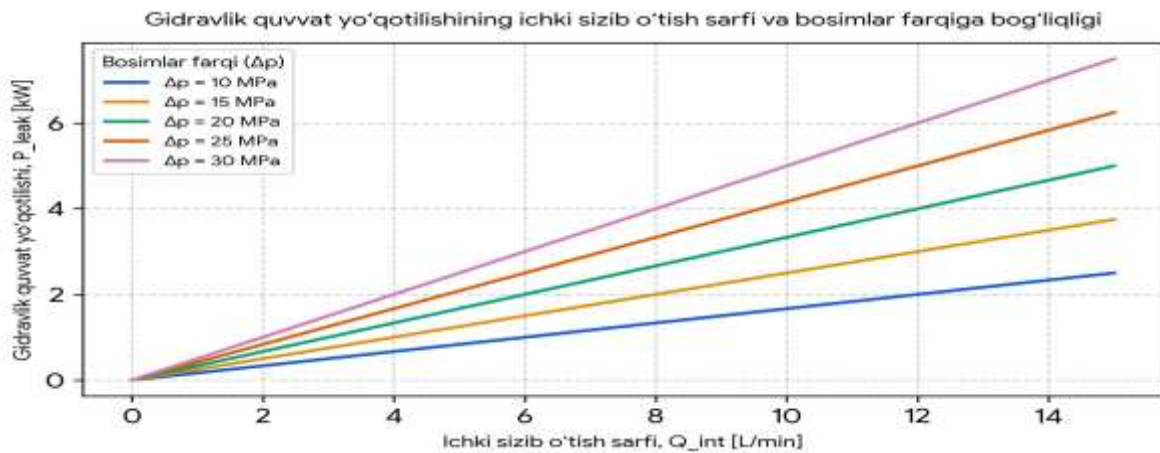
3.1. Diagnostik parametrlarning o'zaro bog'lanish zanjiri

Tadqiqotning nazariy va modellashtirish tahlillari shuni ko'rsatadiki, gidrosilindrning fizik yeyilishi va operator kuzatishi mumkin bo'lgan diagnostik parametrlar o'rtasida to'rt bosqichli sababiy zanjir mavjud:

1. Birinchi bosqich: Porshen zichlagichlarining mikroskopik va makroskopik yeyilishi (D_{seal}) kameralararo drossellash tirqishini hosil qiladi.
2. Ikkinchi bosqich: Bosimlar farqi Δp ta'sirida tirqish orqali ichki sizib o'tish sarfi Q_{int} shakllanadi.
3. Uchinchi bosqich: Ichki oqim gidravlik quvvat yo'qotilishiga (P_{leak}) olib keladi va drossellash issiqligini ajratadi.
4. To'rtinchi bosqich: Mazkur yo'qotishlar tashqi sirtida temperaturalar farqi ΔT , shtok tezligi pasayishi v va sikl vaqti ortishi t_{cyl} ko'rinishida namoyon bo'ladi.

3.2. Gidravlik quvvat yo'qotilishi va bosimlar farqi bog'liqligi

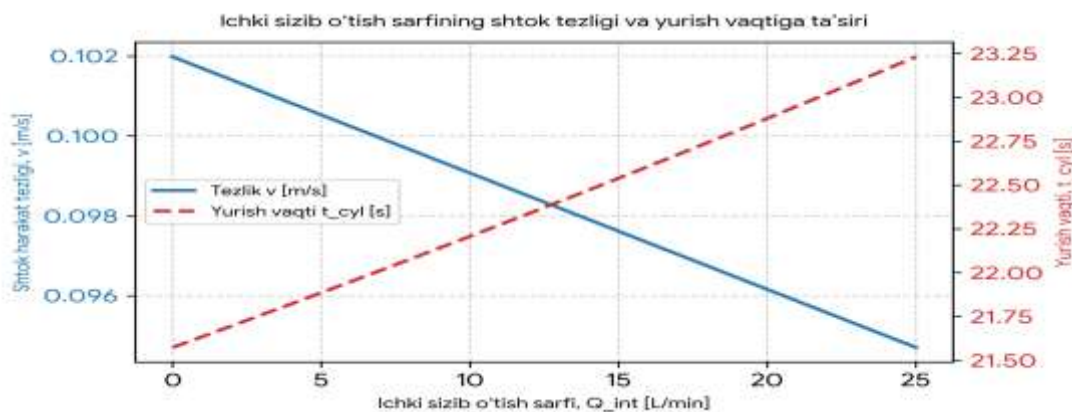
$P_{\text{leak}} = (\Delta p \cdot Q_{\text{int}}) / 60$ tenglamasi bo'yicha olingan hisobiy natijalar shuni ko'rsatadiki, bir xil ichki sizib o'tish sarfida (Q_{int}) kameralardagi bosimlar farqi (Δp) oshishi bilan quvvat yo'qotilishi chiziqli ravishda ortadi. Masalan, $Q_{\text{int}} = 10 \text{ L/min}$ va $\Delta p = 25 \text{ MPa}$ bo'lganda, gidrosilindrda uzluksiz 4.17 kW quvvat issiqlikka aylanadi.



2-rasm. Gidravlik quvvat yo'qotilishining ichki sizib o'tish sarfi va bosimlar farqiga bog'liqlik grafiklari

3.3. Kinematik parametrlarning diagnostik informativligi

Hitachi EX3600-6 ekskavatori kuch gidrosilindri parametrlariga asoslangan kinematik hisoblash natijalari 3-rasmda keltirilgan. Ichki sizib o'tish sarfi Q_{int} 0 dan 25 L/min gacha ortganda, shtokning harakat tezligi v monoton ravishda kamayadi, mos ravishda to'liq ishchi yurish vaqti t_{cyl} esa ortadi.



3-rasm. Ichki sizib o'tish sarfining shtok tezligi va yurish vaqtiga ta'siri bog'liqligi

3.4. Texnik holatni kompleks diagnostika qilish modeli

Alohida parametrlarning cheklanganligini bartaraf etish uchun gidrosilindrning joriy texnik holat ko'rsatkichi D_{HC} uchun quyidagi ko'p o'lchovli funksional model taklif etiladi:

$$D_{HC} = f(\Delta T, \Delta p, Q_{int}, v, t_{cyl}, N) \quad (9)$$

Ushbu funksiyadagi og'irlik ko'effitsiyentlari bo'lajak eksperimental ma'lumotlarni ko'p omilli regressiya va neyron tarmoq usullari bilan qayta ishlash orqali aniqlanadi.

4. MUHOKAMA

Gidrosilindr ichki sizib o'tishini diagnostika qilish bo'yicha avvalgi tadqiqotlar asosan laboratoriya stendlarida bosim signallari, wavelet tahlili va akustik emissiya

kabi bir kanalli signal qayta ishlash usullariga qaratilgan edi. Masalan, Qiu va boshqalar bosim signallarining energetik xususiyatlari orqali seal wear holatini aniqlashni ko'rsatgan bo'lsa, Shanbhag va boshqalar akustik emissiya indikatorlarini taklif etishgan.

Mazkur tadqiqotning ilmiy ustuvorligi va farqli jihati shundaki, diagnostika faqat bitta signal turiga chegaralanmaydi. Karyer ekskavatorlarining o'ta og'ir va o'zgaruvchan ekspluatatsiya sharoitida termik, gidravlik va kinematik parametrlarning kompleks birgalikda tahlil qilinishi diagnostik xatoliklarni (false alarms) keskin kamaytiradi.

Shuningdek, ushbu ishda ataylab soxta eksperimental raqamlardan vos kechilib, fundamental fizik va termogidravlik tenglamalarga asoslangan metodik baza yaratildi. Bu esa PhD dissertatsiya ishining ilmiy xolisligi va verifikatsiyalanuvchanligini to'liq ta'minlaydi.

5.XULOSA

1. Karyer gidravlik ekskavatorlari kuch gidrosilindrlarining texnik holatini baholash uchun termik, gidravlik va kinematik parametrlarni kompleks qo'llashga asoslangan ilmiy-metodik yondashuv shakllantirildi.

2. Ichki sizib o'tish sarfi Q_{int} va bosimlar farqi Δp ning gidravlik quvvat yo'qotilishiga P_{leak} hamda drossellash issiqligiga ta'siri termogidravlik tenglamalar orqali asoslandi.

3. Ichki sizib o'tish ortishi bilan shtok harakat tezligi v pasayishi va yurish vaqti t_{cyl} ortishining analitik bog'liqliklari olindi.

4. Termografik ko'rsatkichlarni yakuniy yagona tashxis emas, balki kompleks diagnostika tizimining axborot kanali sifatida qarash lozimligi isbotlandi.

5. Taklif etilgan D_{HC} va $RUL = f(N, D_{HC})$ modellari ekskavator gidrosilindrlarini rejali ta'mirlashdan haqiqiy texnik holatiga ko'ra xizmat ko'rsatish tizimiga o'tish uchun ilmiy poydevor bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Qiu Z., Min R., Wang D., Fan S. Energy features fusion based hydraulic cylinder seal wear and internal leakage fault diagnosis method. Measurement. 2022. Vol. 195. Article 111042. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.111042.

[2] Shanbhag A., et al. Condition monitoring of hydraulic cylinder seals using acoustic emissions. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020. Vol. 109. P. 1727–1739. DOI: 10.1007/s00170-020-05738-4.

[3] Shanbhag A., et al. Defining acoustic emission-based condition monitoring indicators for monitoring piston rod seal and bearing wear in hydraulic cylinders. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. DOI: 10.1007/s00170-021-07340-8.

[4] Chen P., Chua P.S.K., Lim G.H. A study of hydraulic seal integrity. Mechanical Systems and Signal Processing. 2007. Vol. 21, No. 2. P. 1115–1126. DOI: 10.1016/j.ymssp.2005.09.002.

[5] Experimental study of hydraulic cylinder leakage and fault feature extraction based on wavelet packet analysis. Computers & Fluids. 2015. Vol. 106. P. 33–40. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.09.034.

[6] Acoustic Emission-Based Condition Monitoring and Remaining Useful Life Prediction of Hydraulic Cylinder Rod Seals. Sensors. 2021. Vol. 21. Article 6012.

[7] Wrat G., Bhola M. Data-Driven Characterization of Leakage Faults in Hydraulic Cylinders for Sustainable Maintenance Planning. Machines. 2026. Vol. 14. Article 917. DOI: 10.3390/machines14080917.

[8] Li D., Li J., Du X., Li J., Li T. Physics-guided neural surrogate model for hydraulic cylinder condition assessment and clearance prediction. Expert Systems with Applications. 2026. Vol. 310. Article 131262. DOI: 10.1016/j.eswa.2026.131262.