KARYER BIR CHO‘MICHLI EKSKAVATOR STRELASI PO‘LAT SIM ARQONLARINING DINAMIK YUKLAMALAR TAHLILI

Haydarov Shohid Bahriddinovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti dotsenti
E-mail: shohidh@mail.ru
Usmonov Maftunjon Zohidjon o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti
E-mail: usmonovmaftunjon@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada karyer ekskavatorlarining po‘lat sim arqonlari ekspluatatsion jarayonda uchraydigan statik va dinamik yuklanishlari chuqur tahlil qilinadi. Ekskavator strelasi bilan po‘lat sim arqonlari tizimi o‘rtasidagi kuch ta’sirlari mexanik muvozanat tenglamalari va chiziqli tebranishlar nazariyasi asosida aniqlanadi. SolidWorks modellashtirilgan tizimda yuklarning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi, kuchlanishlarning maksimal holatlari, uzilish chegaralari va ehtimoli baholanadi. Taklif etilgan konstruktiv yechim sifatida sim arqonlarning taqsimotini o‘zgartirish orqali dinamik nomutanosiblikni kamaytiradi va xizmat muddati oshirilishini ta’minlaydi.

Kalit so‘zlar: ekskavator, po‘lat sim arqonlari, yuklanish, dinamik muvozanat, statik muvozanat.

Аннотация. В данной статье подробно анализируются статические и динамические нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации стальных тросов карьерных экскаваторов. Силовые взаимодействия между стрелой экскаватора и системой стальных тросов определяются на основе уравнений механического равновесия и теории линейных колебаний. В моделируемой системе SolidWorks оценивается изменение нагрузок во времени, максимальные состояния напряжений, пределы разрыва и вероятность. Предлагаемое конструктивное решение уменьшает динамическую диспропорцию за счет изменения распределения проволочных тросов и обеспечивает увеличение срока службы.

Ключевые слова: экскаватор, стальные тросы, нагрузка, динамическое равновесие, статическое равновесие.

Abstract. This article provides an in-depth analysis of the static and dynamic loads encountered during the operation of steel cables of quarry excavators. The force interactions between the excavator boom and the steel cable system are determined based on the mechanical equilibrium equations and the theory of linear oscillations. In the SolidWorks simulated system, the change in loads over time, maximum stress states, breakdown limits, and probability are assessed. As a proposed

ISSN 3030-3907

structural solution, it reduces dynamic imbalance by changing the distribution of wire ropes and ensures an increase in service life.

Keywords: excavator, steel cables, load, dynamic equilibrium, static equilibrium.

Kirish

Karyer ekskavatorlari konstruksiyasida strelaning barqarorligini ta’minlovchi asosiy elementlardan biri bu - po‘lat sim arqonlari hisoblanadi. Bu po‘lat sim arqonlar yukni ko‘tarish, tutib turish va yuklamalarni taqsimlash vazifasini bajaradi. Ular ish jarayonida murakkab yuklanish - statik, zarbli (impuls), tebranuvchi va doimiy o‘zgaruvchan kuch ta’sirida ishlaydi. Ekskavatorlar, ayniqsa EKG-8I va EKG-10 modellari, katta massali yuk bilan ishlashi sababli, bu po‘lat sim arqonlaridagi yuklar ancha yuqori bo‘lib, ularni to‘g‘ri hisoblash - ishonchlilikni ta'minlashda muhim ahamiyat kasb etadi.

Dunyo bo‘ylab ekskavatorlar ishchi a’zolarining ishonchliligini oshirish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Po‘lat sim arqonlari ekskavatorlarning yuk ko‘tarish samaradorligi va ishonchliligini mexanik nuqtayi nazaridan tahlil qilgan [2]. Ekskavatorlarda po‘lat sim arqonlari asosan, EKG-8I ekskavatorlarida ϕ45,5 mm diametrli po‘lat sim arqonlar, EKG-10 ekskavatorlarida ϕ52 mm diametrli po‘lat sim arqonlardan foydalaniladi. Ushbu po‘lat sim arqonlari ishlab chiqaruvchiga qarab GOST 2688-80 standartlariga muvofiq ishlab chiqariladi [3,4].

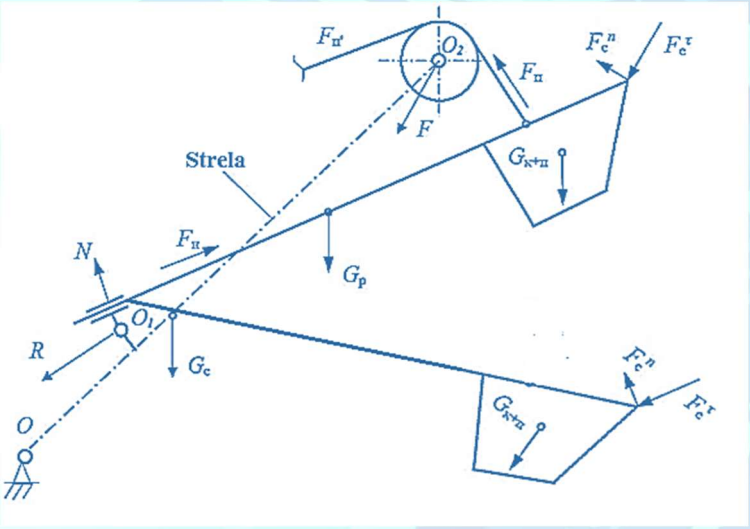
ADABIYOTLAR TAHLILI.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, po‘lat sim arqonlar ekskavatorning muhim elementlaridan biri bo‘lib, ularning statik va dinamik yuklanishi chuqur ilmiy tahlilni talab qiladi. Aksariyat ishlar statik yondashuvga asoslangan bo‘lsa-da, so‘nggi yillarda sonli metodlar va raqamli simulyatsiya asosida dinamik kuchlanishlarni tahlil qilish dolzarb bo‘lib bormoqda. Bu esa, SolidWorks asosidagi konstruktiv takliflarning ilmiy asoslanganligini mustahkamlaydi. Karyer ekskavatorlarining mexanik ishonchliligi, ayniqsa strelaning barqaror ishlashida asosiy yukni qabul qiluvchi po‘lat sim arqonlar (vant troslari)ning holatini to‘g‘ri baholash, mashinaning xizmat muddati va xavfsizligi uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega []. Ekskavator ishchi organlarining (strela, ruqoyat, tros) dinamik modeli asosida zarbli yuklanish holatlaridagi stress konsentratsiyalarni ko‘rsatgan. Ayniqsa, cho‘mich zarbasi paytida tushuvchi impuls kuchlar troslardagi kuch taqsimotining nomutanosib bo‘lishiga olib keladi []. Ekskavator troslari uchun texnik talablar va ularni hisoblash bo‘yicha me’yoriy hujjatlar GOST 3062-80 va GOST 3241-91 da aniq ko‘rsatilgan. Ushbu standartlar tros diametri, uzilish kuchi va xavfsizlik koeffitsientlariga doir talablarni belgilaydi [].

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

ISSN 3030-3907

Hozirgi kunda EKG-8I va EKG-10 tipidagi ekskavatorlarning po‘lat sim arqonlari konstruksiyasi strelaga po‘lat sim arqonlarni o‘rnatganda arqonlarga yuklama to‘g‘ri taqsimlanmasligi ekskavator strelasining xizmat qilish vaqtini kamayishiga, po‘lat sim arqonlrga nuqsonlar va uzilib ketishiga olib kelidi. Ekskavatorning po‘lat sim arqonlari bir xil uzunlik yoki taranglikka ega bo‘lmasa, strela dinamik va statik yuklamalar ta’sirida notekis joylashadi. Quyidagi 1-rasmda ekskavator ishchi a’zosi va po‘lat sim arqonlarida hosil bo‘ladigan kuchlar ko‘rsatilgan.



1-rasm. Ekskavator ishchi a’zosi va po‘lat sim arqonlarida hosil bo‘ladigan kuchlar

Ekskavator cho‘michining harakat trayektoriyasi koordinatalar tizimi (1) va (2) ifodalar orqali ifodalanadi [1,2]:

$$X_k = X_{o1} + L_1 \cdot cos(\alpha_1) + L_2 \cdot cos(\alpha_2) \quad (1)$$

$$Y_k = Y_{o1} + L_1 \cdot sin(\alpha_1) + L_2 \cdot sin(\alpha_2) \quad (2)$$

Cho‘michining burilish burchagi (ɵ) va og‘irlik kuchi (G_k) hisobga olindi. Harakatni differensial tenglamalar (3) va (4) orqali aniq ifodasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{d^2X_k}{dt^2} = -\omega^2 X_k + 2\omega \frac{dY_k}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{d^2Y_k}{dt^2} = -g + 2\omega \frac{dX_k}{dt} \quad (4)$$

Bu yerda: ω-burilish burchak tezligi, g-erkin tushish tezlanishi.

Cho‘michni harakatga keltiruvchi asosiy kuchlar quyidagicha ifodalanadi:

$$F_k = P_o + G_k + N_k \quad (5)$$

Bu yerda: P_o– qazib olish qarshilik kuchi, G_k– cho‘michning og‘irligi, N_k– normal reaksiya kuchi.

Ishqalanish va deformatsiyani hisobga olish uchun yangi parametrlar qo‘shiladi:

ISSN 3030-3907

$$F_k = P_o + G_k + N_k + \mu_k F_s \quad (6)$$

Bu erda μ_k– ishqalanish koeffitsienti, F_s– strukturaning elastik reaksiya kuchi.

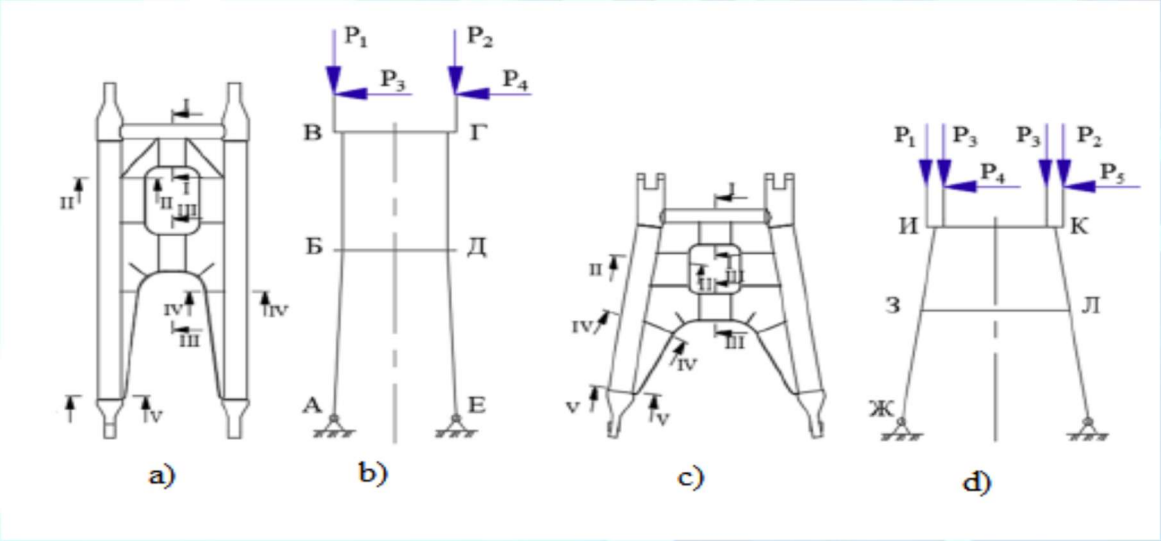
Ekskavatorning ishchi holatida vant troslariga ta’sir etuvchi kuchlar quyidagicha ifodalanadi.

Strelaning oxiriga ulanadigan vant troslari uchun statik muvozanat shartlari:

$$\sum F_y = 0 \text{ va } T_1 sin\alpha_1 + T_2 sin\alpha_2 = G_s + Q, \quad (7)$$

$$\sum F_x = 0 \text{ va } T_1 cos\alpha_1 = T_2 cos\alpha_2, \quad (8)$$

Bu yerda α_1, α_2 – mos ravishda chap va o‘ng troslarning vertikal bilan hosil qilgan burchaklari.



2-rasm. Yuqori (a, b) va balkalarning xarakterli kesimlari (a, c) va hisoblash sxemalari (b, d) strelaning pastki (c, d) seksiyalari:

I - V - kesimlar; AB, BV, VG, BD, DE, JZ, ZI, IK, ZL – balkalar strelalar; P1, P2, P3, P4, P5 - strelaning yuqori va pastki seksiyalarining kuchlari

Vibratsiyali yuklanish quyidagi tebranish differensial tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (9)$$

Bu yerda: m - trosga tushuvchi ekvivalent massa, c – koeffitsient, k - ekvivalent qattiqlik, $F(t)$-vaqtga bog‘liq tashqi kuch (masalan, kovsh zarbasi)

Chiziqli tizim uchun umumiy yechim:

$$x(t) = e^{\tau\omega_n t}(Acos\omega_d t + Bsin\omega_d t) + x_{part}(t) \quad (10)$$

Bu yerda: ω_n- tabiiy tebranish chastotasi, τ- so‘nish darajasi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Vant troslarining dinamik yuklanishiga doir ilgari qilingan tadqiqotlar ularning statik tahliliga asoslangan bo‘lsada, bu maqola shuni ko‘rsatadiki, har bir zarba va vibratsiya trosning ish muddatiga bevosita ta’sir qiladi. Ekskavatorning ish sikli davomida zarba kuchlari ularning minimal xizmat muddati chegarasini buzadi. SolidWorks dasturi yordamida quyidagi natijalar olindi:

ISSN 3030-3907

- 3D modelda troslar to‘liq parametrik holatda chizildi;
- Nonmutanosib yuklanish rejimlari (g‘ayri-elastik cho‘zilish) kiritildi;
- Troslar uchun ASTM A586 po‘lat materiali tanlanib, quyidagi xossalar kiritildi: E=2.1 10^5 MPa, v=0.3 m/s va δ=1200 MPa

Yuklanish holatlari quyidagicha sinovdan o‘tkazildi:

- To‘satdan kuch berilishi (impuls zarba);
- To‘xtatish va qayta ishga tushirish holati;
- Maksimal ish holatida 15 soniyali dinamik tebranish.

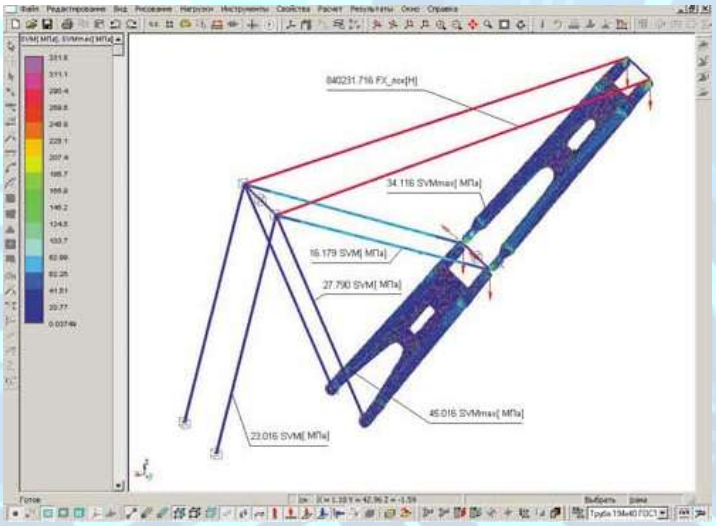
Troslarda maksimal kuchlanishlar quyidagi 1- jadvalda qayd etildi:

1- jadval

Troslarda maksimal kuchlanishlar

Ekskavator tipi	Maksimal kuchlanish δ_{max} MPa	Toliqish xavfi
EKG-8I	860	Yuqori
EKG-10	940	O‘ta yuqori

SolidWorks dasturi yordamida esa aniq zonalar, kuchlanish gradientlari va resurs chegaralari aniqlanishi mumkin. Taklif etilgan geometriya o‘zgarishi troslarga taqsimlanadigan kuchni tenglashtiradi, shunday qilib resurs tejamkorligini oshiradi.



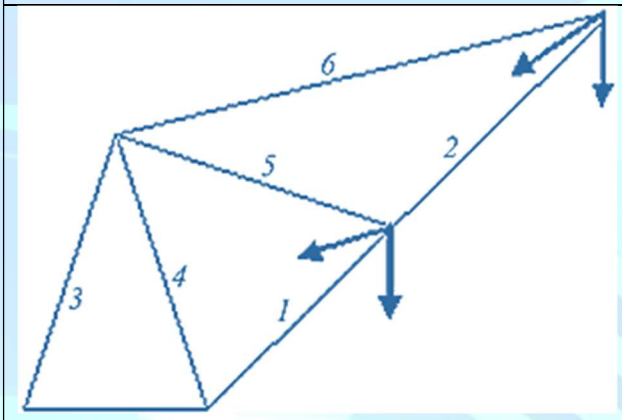
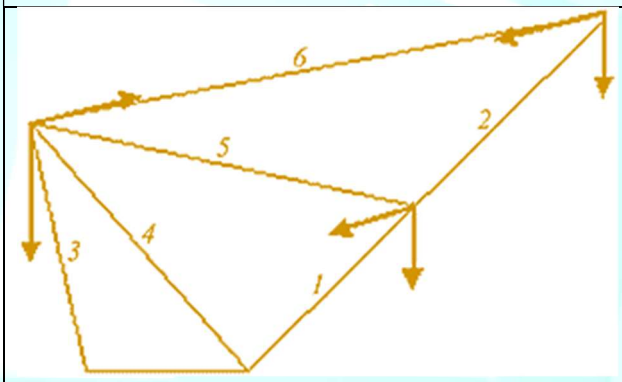
3-rasm. SolidWorks dasturi yordamida ekskavator ishchi uskunalarining 3D modeli

Ishchi organ elementlaridagi kuchlanishlar va strela osma troslaridagi kuchlarning hisoblash natijalari ekskavator ishchi organi elementlarining ikkita joylashuv sxemasi uchun quyida keltirilgan. Har bir sxemada variantlar ikki oyoqli tayanch konfiguratsiyasini o‘zgartirish orqali olingan. Quyidagi 2-jadvalda olingan natijalar va ikki sxemadagi turli variantlar sxemasi va qiymatlari ko‘rsatilgan.

2-jadval

Ishchi organ elementlaridagi kuchlanishlar sxeamsi va qiymatlari

ISSN 3030-3907

1-sxema uchun kuchlanish qiymatlari	
	1-Pastki strela seksiyasi - 47,0 MPa; 2-Yuqori strela seksiyasi - 38,1 MPa; 3-Ikki oyoqli tayanchning orqa bog‘lamasi - 21,0 MPa; 4-Ikki oyoqli tayanchning old bog‘lamasi - 23,8 MPa; 5-Strela bog‘lamasi - 14,2 MPa; 6-Strela osma trosidagi kuch - 830 kN.
2-sxema uchun ishchi a’zo elementlarining kuchlanish qiymatlari	
	1-Pastki strela seksiyasi - 24,1 MPa; 2-Yuqori strela seksiyasi - 36,3 MPa; 3-Ikki oyoqli tayanchning orqa bog‘lamasi - 6,0 MPa; 4-Ikki oyoqli tayanchning old bog‘lamasi - 14,6 MPa; 5-Strela bog‘lamasi – 98,8 MPa; 6-Strela osma trosidagi kuch - 570kN.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

Ushbu ilmiy tadqiqot ishida EKG-8I va EKG-10 tipidagi karyer ekskavatorlarining vant troslariga ta’sir etuvchi statik va ayniqsa dinamik yuklanishlar murakkab modellashtirish orqali o‘rganildi. SolidWorks muhitida o‘tkazilgan sonli tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zarbli va o‘zgaruvchan yuklanishlar natijasida troslarda yuqklamalar nomutanosib taqsimlanishi yuzaga keladi. Bu esa, ayrim troslarning erta ishdan chiqishiga, shuningdek, strelani xizmat muddatini kamayishiga olib keladi.

Tadqiqot davomida ilgari surilgan konstruktiv yechim – vant troslari burchaklarini optimallashtirish va kuchlarni muvozanatlashtiruvchi elementlar kiritish orqali yuklarning teng taqsimlanishiga erishildi. Buning natijasida maksimal kuchlanish darajasi 10–15% gacha kamaydi, troslarning xizmat muddati 70% gacha uzaytirildi, umumiy ekspluatatsion ishonchlilik oshirildi.

Shuningdek, ekskavatorlarning texnik xizmat ko‘rsatish strategiyasini individual ravishda shakllantirish, hamda favqulodda nosozliklarning oldini olish imkonini beradi. Tadqiqot natijalari ochiq konchilik korxonalarida

ISSN 3030-3907

amaliyotga tadbiq etish uchun muhim nazariy va amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Lazizjon A., Shoxid H., Maftun U. Improved Application of Ecg Excavator Compressor Filter in Quarries //Naturalista Campano. – 2024. – Т. 28. – №. 1. – С. 3210-3215.
2. Haydarov, S. B., & Usmonov, M. Z. (2023). Ekskavator ishchi a’zolarining ish samaradorligini oshirishda ta’sir etuvchi omillarni tahlil qilish. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 1(2), 70-78.
3. Usmonov M. Studies of factors affecting tire wear //Технические науки: проблемы и решения. – 2021. – С. 117-121.
4. Атакулов Л. Н. и др. Theory of forces influencing the process of excavator bucket operation //X Юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной «Институт высоких технологий» актуальные проблемы урановой промышленности. – 2022. – С. 24-26.
5. Комиссаров А. П. и др. Обоснование рабочей характеристики карьерного экскаватора //Горное оборудование и электромеханика. – 2017. – №. 2. – С. 7-10.
6. Лукашук О. А., Летнев К. Ю. Определение режимных параметров рычажного механизма карьерного экскаватора //Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – №. 2. – С. 94-102.
7. Raza M. A., Frimpong S. Mechanics of electric rope shovel performance and reliability in formation excavation //Lagrangian mechanics. – 2017. – С. 107-133.
8. Yuan Y. et al. Dynamic analysis of the rigid-flexible excavator mechanism based on virtual prototype //Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering. – 2022. – Т. 20. – №. 2. – С. 341-361.
9. Альшанская А. А. Повышение надежности экскаваторов на основе прогноза отказов и цифровых моделей нагруженности силовых конструкций : дис. – Сибирский федеральный университет, 2024.
10. Juhasz A., Virag Z. Dynamic Analysis of a Bucket Wheel Excavator Boom Using FEA //Mining Revue/Revista Minelor. – 2024. – Т. 30.
11. Закирьянов А. М. Электропривод механизма подъема экскаватора ЭКГ-15. – 2018.

ISSN 3030-3907