

KARYER EKSKAATORLARINING ISH REJIMLARINI OPTIMALLASHTIRISHNI ASOSLASH

Usmonov Maftunjon Zohidjon o'g'li

*Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti,
usmonovmaftunjon@gmail.com*

Karomatova Zilola Xasan qizi

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti assistenti,

Elbekov Jasurbek Ulug'bek o'g'li

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti,

Annotatsiya: Ushbu maqolada ochiq konlarda keng qo'llaniladigan bir cho'michli ekskavatorlarning asosiy ishchi mexanizmlarining (bosim va ko'tarish) o'zaro muvofiqlashtirilgan ishlashini ta'minlash orqali ekskavatsiya jarayonining energosamaradorligini oshirish masalalari ko'rib chiqilgan. Amaliy kuzatuvlar ekskavatsiya jarayonida mexanizmlar o'rtasidagi muvofiqlikning yetishmasligi natijasida ish siklining cho'zilishi va energiya sarfini ortishini ko'rsatmoqda. Tadqiqotda ekskavator cho'michining harakati uchun umumiy uzatish mexanizmining matematik modeli ishlab chiqilgan, ekskavatsiya jarayoni imitatsion model orqali simulyatsiya qilingan va optimal rejim parametrlari aniqlangan. Taklif etilgan yechimlar ekskavatsiya jarayonida energiya sarfini kamaytirish va mashina samaradorligini oshirish imkonini beradi.

Tayanch so'zlar: ekskavatsiya, energosamaradorlik, imitatsion modellashtirish, cho'mich harakati, uzatish mexanizmi.

Аннотация: В данной статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности процесса экскавации за счет обеспечения скоординированной работы основных рабочих механизмов (давления и подъема) одноковшовых экскаваторов, широко применяемых в карьерах. Практические наблюдения показывают, что отсутствие согласованности между механизмами в процессе экскавации приводит к увеличению рабочего цикла и энергозатрат. В исследовании разработана математическая модель общего передаточного механизма для движения ковша экскаватора, смоделирован процесс экскавации с помощью имитационной модели и определены оптимальные параметры режима. Предложенные решения позволяют снизить энергозатраты в процессе экскавации и повысить эффективность машины.

Ключевые слова: экскавация, энергоэффективность, имитационное моделирование, движение ковша, механизм передачи.

Abstract: This article examines the issues of increasing the energy efficiency of the excavation process by ensuring the coordinated operation of the main working

mechanisms (pressure and lifting) of single-bucket excavators widely used in open-pit mining. Practical observations show that due to the lack of consistency between the mechanisms during the excavation process, the working cycle lengthens and energy consumption increases. In the study, a mathematical model of the general drive mechanism for the movement of the excavator bucket was developed, the excavation process was simulated using a simulation model, and the optimal operating parameters were determined. The proposed solutions allow reducing energy consumption during the excavation process and increasing the efficiency of the machine.

Keywords: excavation, energy efficiency, simulation modeling, bucket movement, transmission mechanism.

KIRISH.

Bugungi kunda ochiq usulda foydali qazilmalarni qazib olish hajmining ortishi kon uskunalarining, xususan, ekskavatorlarning ish samaradorligiga bevosita bog'liq. Ushbu ekskavatorlarning asosiy ishchi mexanizmlari — bosim berish va ko'tarish mexanizmlari — ekskavatsiya jarayonida muhim rol o'ynaydi. Ularning harakatlari muvofiqlashtirilmagan holda amalga oshirilganda, cho'mich harakati sekinlashadi, boshqaruv tizimi ortiqcha yuklanadi va natijada energiya sarfi ortadi [4,9].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, hozirda mavjud bo'lgan boshqaruv tizimlari ushbu mexanizmlar o'rtasidagi dinamik muvofiqlikni ta'minlay olmaydi. Cho'michning harakat trayektoriyasi va unga tushuvchi yuklamalar doimiy o'zgarib turadi, bu esa an'anaviy modellar va algoritmlar yordamida boshqarishni murakkablashtiradi [6]. Shuning uchun, zamonaviy ekskavatorlar uchun avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish, ekskavatsiya jarayonining matematik modellashtirilishi va optimal boshqaruv algoritmlarini ishlab chiqish dolzarb masalalardan biridir.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

Adabiyotlar tahlili ekskavatsiya jarayonining texnologik, energetik va boshqaruv jihatlari bo'yicha ko'plab tadqiqotlar olib borilganini ko'rsatadi. Ekskavatorlar harakati, boshqaruvi va energiya sarfi bo'yicha matematik modellar ishlab chiqilgan [6,7].

Shu bilan birga, mavjud tadqiqotlar ekskavatsiya jarayonini abstrakt matematik modellar asosida tahlil qiladi va cho'michning real harakat trayektoriyasi hamda ekskavatsiya zonasidagi yuklamalarni hisobga olmaydi. Natijada, boshqaruv tizimlari real ekskavatsiya sharoitlariga yetarlicha moslashmaydi [4].

Ko'pgina ishlarda mexanik tizimlar uchun klassik boshqaruv modellari asosidagi usullar taklif etilgan. Biroq, ular ko'pincha ekskavator cho'michining aniq dinamik xatti-harakatlarini hisobga olmaydi, ayniqsa tog' jinslarining har xil qarshiligiga ega bo'lgan sharoitlarda [3,5]. Shuningdek, energiya tejamkorligini oshirishga qaratilgan izlanishlar asosan elektr jihozlarining modernizatsiyasi bilan bog'liq bo'lib, ishchi mexanizmlarning optimal rejim parametrlarini aniqlash masalasi yetarli darajada ishlab chiqilmagan [1,2].

Shu sababli, bu maqola doirasida cho'mich trayektoriyasini matematik modellashtirish asosida optimal rejim parametrlarini aniqlash va ularni avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimida qo'llash orqali energosamaradorlikni oshirish taklif etiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Ekskavatorning bosim berish va ko'tarish mexanizmlarining umumiy harakati uch bog'lamli mexanizm sifatida modellashtiriladi. Erkinlik darajasi quyidagi formulaga asosan aniqlanadi:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 \quad (1)$$

Bu yerda:

- $n = 3$ — harakatli bo'g'inlar soni,
- $p_1 = 3$ — bir darajali juftliklar,
- $p_2 = 1$ — ikki darajali juftlik (sirpanish va aylanma).

Cho'michning trayektoriya koordinatalari quyidagicha ifodalanadi:

$$X_k = X_a + L \cdot \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$Y_k = Y_a + L \cdot \sin(\alpha) \quad (3)$$

Bu yerda:

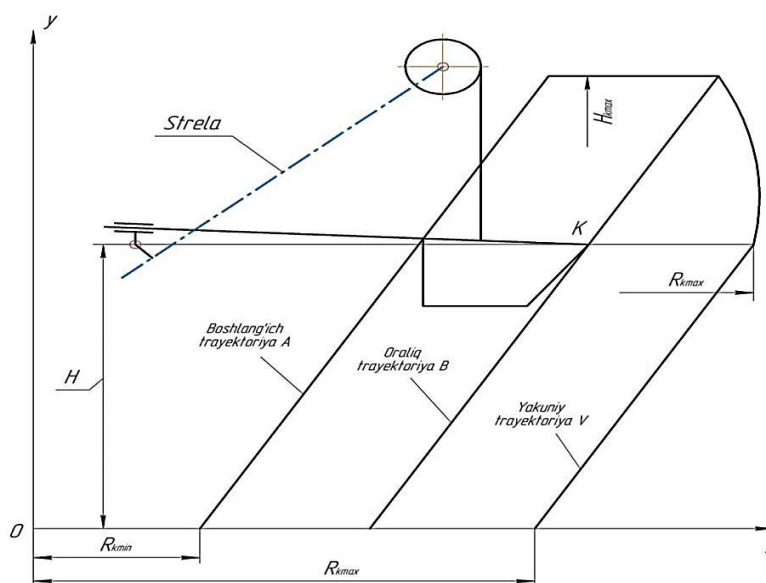
- X_a, Y_a — ekskavator dastagi nuqtasi koordinatalari,
- L — dastakning uzunligi,
- α — dastakning joylashish burchagi.

Cho'michning trayektoriya bo'yicha tezligi:

$$V_k = \sqrt{\left(\frac{dX_k}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dY_k}{dt}\right)^2} \quad (4)$$

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Hisoblangan qazish balandligida tog' jinsini qazish paytida ko'tarish va bosim berish mexanizmlari dvigatellarining ish rejimlarini baholash. Taxminiy qazish balandligida tog' jinsini qazish jarayonida ekskavatorni ishlatishning asosiy usuli bo'lib, unda ekskavator barqarorligi holatidan maksimal ish yukida amalga oshiriladi va eng yuqori unumdorlikka erishiladi.



1-rasm. Karyer ekskavatorining ishchi zonasi:

A, B, V-cho'michning siljish trayektoriyasi, H_H -bosim berish vali yuqori o'qi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki ko'tarish mexanizmining dvigateli ish zonasi ichida dvigatel rejimida ishlaydi, qazish radiusi (X_k koordinatalari) va ko'tarish kuchlarining ortishi (koordinata $X_k = 15,9$ m bo'lgan cho'michning holatidan tashqari) ortishi bilan bir vaqtning o'zida ko'tarish tezligining qiymatlari pasayadi.

Bosim mexanizmi dvigatelining ishlash rejimlari qazish radiusini ham, Y_k ordinatasini ham o'zgartirganda sezilarli darajada o'zgaradi.

Shunday qilib, ish joyining pastki qismida ($Y_k < 6$ m) qazish paytida, bosim mexanizmi dvigateli uchta rejimda ishlaydi:

- cho'michni teskari aylanish rejimida dastlabki A va o'rta B traektoriyalari bo'ylab harakatlantirganda ($V_k < 0$ va $F_k < 0$);
- cho'michni chetki V traektoriyasi bo'ylab harakatlantirganda, avval generator rejimida ($V_k < 0$ va $F_k > 0$ bilan qarama-qarshilik rejimi), keyin esa dvigatel rejimida ($V_k > 0$ va $F_k > 0$).

Ishchi maydonning o'rta qismida ($6 \text{ m} < Y_k < 12 \text{ m}$) qazish paytida bosim berish mexanizmi dvigateli quyidagi rejimlarda ishlaydi:

- cho'michni A boshlang'ich traektoriyasi bo'ylab harakatlantirganda, avval teskari aylanish bilan dvigatel rejimida va keyin generator rejimida ($V_k > 0$ va $F_k < 0$ bilan dinamik tormozlash rejimi);
- cho'michni o'rta B traektoriyasi bo'ylab harakatlantirganda, avval dinamik tormozlash rejimida, keyin esa dvigaatel rejimida;
- cho'michni chetki B traektoriyasi bo'ylab harakatlantirganda dvigatel rejimida.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, ko'tarish mexanizmi dvigatelining ishlash rejimi (asosiy ish mexanizmi sifatida) tik traektoriyalar bo'ylab qazish jarayonida barqaror bo'lib, bu esa ekskavatorning yuqori ishlashini ta'minlaydi.

Bosim berish mexanizmi dvigateli turli rejimlarda ishlaydi, bu esa bosim berish mexanizmining ish parametrlarida sezilarli o'zgarishlarga olib keladi.

Bundan ko'rinadiki, ko'tarish va bosimning asosiy (qazish) mexanizmlarining rejim parametrlari tog' jinslarini qazish jarayonida qazish tezligining doimiy qiymatlarida va tog' jinslarining qazishga qarshilik kuchida sezilarli darajada o'zgaradi.

Shunday qilib, qazish jarayonini nazorat qilish qiyin va cho'mich harakatining talab qilinadigan qonuniga erishish cho'michning zaboydagi holatini deyarli doimiy nazorat qilish va ish harakatlarining tezligini doimiy ravishda tartibga solish mumkin bo'ladi.

Tadqiqot obyekti sifatida EKG-20A tipidagi karyer bir cho'michli ekskavator tanlandi. Bu ekskavator og'ir sanoat sharoitida, yirik hajmli tog' jinslarini qazib olishda foydalaniladi. Ekskavatorning asosiy ishchi jihozlari cho'mich, rukoyat, strelasi va ularga bog'langan ko'tarish hamda bosish mexanizmlaridir.

Modellashtirish va natijalar imitatsion modellashtirish asosida ekskavatsiya jarayoni baholandi. Modellashtirishda quyidagi ko'rsatkichlar hisobga olindi:

- Ishchi jihozlarning tezligi va yuklanish kuchlari;
- Harakat traektoriyasiga ko'ra energiya sarfi;
- Quvvatlar taqsimoti va qo'shma ish holati.

Ekskavator cho'michining quyidagi traektoriyalari o'rganildi:

Boshlang'ich ($X_{K0} = 10 \text{ m}$) – og'ir ish rejimi, maksimal yuklamalar.

O'rta ($X_{K0} = 13,5 \text{ m}$) – nisbatan muvozanatli energiya taqsimoti.

Uzoq ($X_{K0} = 18 \text{ m}$) – ko'tarish va bosish mexanizmlari o'rtasida kuchli qarama-qarshilik.

Natijalarga ko'ra, eng maqbul traektoriya sifatida $X_{K0} = 13.5 \text{ m}$ aniqlandi, bu holatda mexanizmlar o'zaro muvofiqlashgan, yuklama teng taqsimlangan.

1-jadval

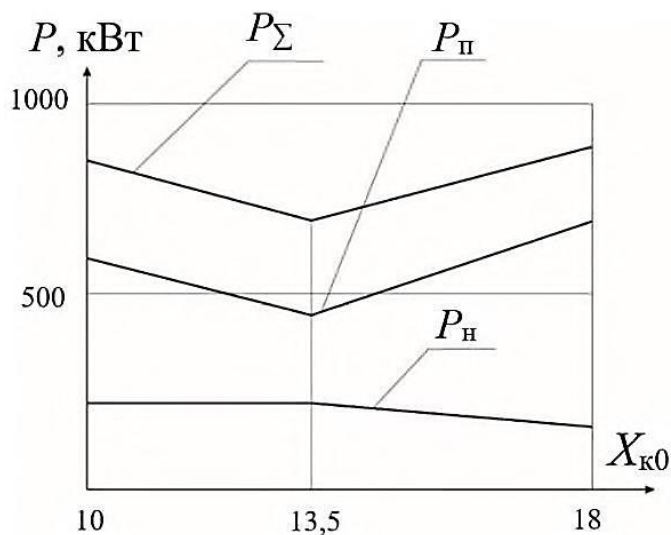
Cho'michning harakatlanish trayektoriyasiga qarab ko'tarish va bosim kuchlari hamda umumiy quvvatning o'zgarishi

Traektoriya turi	Ko'tarish quvvati P_p , kV	Bosish quvvati P_n , kV	Umumiy quvvat P_Σ , kV
Boshlang'ich	591	226	817
O'rta	439	231	670
Uzoq	654	146	800

Tahlillarga ko'ra, o'rta traektoriya eng maqbul hisoblanadi – yuklamalar bir maromda, energiya sarfi esa minimal.

O'rta traektoriyada 9.89 MJ umumiy energiya sarfi aniqlangan bo'lib, bu qiymat boshqa traektoriyalarga nisbatan 12–20% kamdir.

Shuningdek, FIK qiymati ham o'rta traektoriyada yuqori bo'lib, 0.42–0.45 oralig'ida o'zgaradi.



2-rasm. Ko'tarish va bosim kuchlari hamda umumiy quvvatning dastak qulochiga bog'liq ravishda o'zgarish grafiklari

2-rasmdagi grafiklardan ko'rinib turibdiki, cho'mich o'rtacha trayektoriya bo'ylab harakatlanganda ko'tarish kuchi quvvati va umumiy quvvatning o'rtacha qiymatlari kamayadi, bu ishchi harakatlar va cho'mich harakatining muvofiqligi bilan bog'liq (ko'tarish, bosim va qazish tezligi vektorlarining yo'nalishlari biroz farq qiladi).

Ekskavatorning ishchi zonasida gruntни qazishda umumiy quvvatning o'rtacha qiymati 758 kVt ga teng, ya'ni tarmoq dvigatelining o'rnatilgan quvvatidan foydalanish darajasi bu holda $K_i = 758 / 2250 = 0,34$ ni tashkil etadi, zaboyни qazib olishda esa sezilarli darajada kam bo'ladi [2]. Shu bilan birga, ko'tarish va bosim mexanizmi dvigatellarining umumiy nominal quvvati 1300 kVt ni tashkil qiladi [8]. Ya'ni, asosiy mexanizmlarning rejim parametrlarini muvofiqlashtirishda umumiy iste'mol qilinadigan quvvat o'rnatilganidan o'rtacha uch baravar kam bo'ladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR.

O'tkazilgan tadqiqotlar asosida quyidagi asosiy xulosalarga erishiladi:

Ekskavatsiya jarayonida energosamaradorlikni oshirish uchun cho'michning optimal trayektoriyasini tanlash muhim ahamiyatga ega. Hisobiy modellashlar shuni ko'rsatdiki, o'rta trayektoriya ($X_{k0} = 13,5$ m) energiya sarfi va mexanizmlar yuklanishining muvozanatli taqsimlanishini ta'minlaydi.

Ko'tarish va bosim berish mexanizmlari harakati imitatsion modellash orqali tahlil qilindi. Bu mexanizmlarning ayrim traektoriyalarda qarama-qarshi rejimlarda ishlashi aniqlanib, energiya isrofi holatlari aniqlandi.

Ekskavatorning ishchi zonasi bo'yicha energiya taqsimoti o'rganilganda, umumiy quvvat sarfi o'rta trayektoriyada 670 kW atrofida bo'lib, boshlang'ich va

uzoq trayektoriyalarga nisbatan 12–20% tejamli ekani aniqlandi. Bu esa tanlangan trayektoriya orqali Foydali Ish Koeffitsienti (FIK) ni 0,42–0,45 gacha oshirish imkonini beradi.

Ekskavatorning ishchi harakatlaridagi kuchlar, quvvat va tezlik vektorlarining muvofiqligi – cho'michning optimal harakat qonuni asosida avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. 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.
2. 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.
3. Лукашук О. А., Летнев К. Ю. Определение режимных параметров рычажного механизма карьерного экскаватора //Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – №. 2. – С. 94-102.
4. Usmonov, M. Z., & Saidova, L. F. (2024). Determination of rational parameters of the lever. *Web of Scientists and Scholars: Journal of Multidisciplinary Research*, 2(2), 72-76.
5. Azamatovich, A. N., & Zohidjon o'g'li, U. M. Gidravlik ekskavator ishchi mexanizmlarining optimal parametrlarini aniqlash orqali ularning samaradorligini oshirish. *Development of science*.
6. Bahriddinovich, H. S., & Zohidjon o'g'li, U. M. Karyer bir cho'michli ekskavator strelasi po'lat sim arqonlarining dinamik yuklamalar tahlili.
7. O'G'LI, U. M. Z. (2025). Optimal konstruktiv parametrlari asosida karyer ekskavatorlarining ishchi uskunalarini takomillashtirish. *PEDAGOGIK TADQIQOTLAR JURNALI*, 3(1), 411-416.
8. Maftunjon, U. (2022). Tog'jinslarini qazib olishda karyer ekskavatorining asosiy mexanizmlarining o'zaro ta'siri. *uk scientific review of the problems and prospects of modern science and education*, 1(2), 10-16.
9. Xamzayev, A. A., O'G'LI, J. U. B., Usmonov, M. Z. O. G. L., & Karimova, O. S. Q. (2024). Karyer ekskavatorlarning elektr yuritmalari ish rejimlarini manipulyator yordamida tahlil qilish. *Academic research in educational sciences*, 5(5), 638-648.