



KONUS MAYDALAGICH FUTEROVKASINI ICHKI QOPLAMASINING YEYILISH XUSUSIYATLARINING USULLARI VA TURLARI

Muminov R. ¹[0009-0003-6281-9847], *Mahmudova M.* ²[0009-0006-8237-199X]

¹Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, t.f.d., professor, E-mail: rashid81@mail.ru

²Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti,
E-mail: mmmmt153@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada konusli maydalagichlar futerovkalarining yemirilishini kamaytiruvchi texnik yechimlar ko'rib chiqilgan bo'lib, konusli maydalagichlarning diskret element yade modeli haqida ma'lumotlar keltirilgan. Shu bilan bir qatorda maqolada konusli maydalagichlarning futerovkalarida sodir bo'ladigan yemirilishlarni ilmiy jihatdan o'rgangan olimlarning ishlari haqida tahlillari o'rganilgan. Konusli maydalagichning xizmat muddatini va ish samaradorligini oshirish maqsadida bugungi kunda bir nechta modellari yaratilib, diskret element Yade modeli ko'rib o'tilgan. Xuddi shuningdek, ushbu modeldan olingan ma'lumotlarning tadqiqotlari keltirib o'tilgan.

Kalit so'zlar: DEM, Yade, futerovka, Puasson koefitsenti, zarracha, konus.

Аннотация. В данной статье рассмотрены технические решения по снижению износа футеровок конусных дробилок, а также, приведена информация о модели дискретных элементов Yade конусных дробилок. Наряду с этим, в статье проанализированы работы ученых, научно изучавших износ футеровок конусных дробилок. В целях увеличения срока службы и эффективности работы конусной дробилки на сегодняшний день создано несколько моделей, рассмотрена модель дискретных элементов Yade. Также приведены результаты исследований данных, полученных с помощью этой модели.

Ключевые слова: DEM, Yade, футеровка, коэффициент Пуассона, частица, конус.

Abstract. This article discusses technical solutions to reduce the wear of cone crusher linings, and also provides information on the Yade discrete element model for cone crushers. In addition, the article analyzes the works of scientists who have scientifically studied the wear of cone crusher linings. To increase the service life and efficiency of cone crushers, several models have been created to date, including the Yade discrete element model. The results of data obtained using this model are also presented.

Keywords: DEU, Yade, liner, Poisson's ratio, particle, cone.

Kirish

Konus maydalagichlarning samaradorligi va xizmat muddatini belgilovchi asosiy omillardan biri ularning mustahkamlangan konus futerovkalarining yemirilishi hisoblanadi. Bu jarayonni chuqur tushunish va optimallashtirish zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning muhim yo'nalishlaridan biridir. Ushbu yo'nalishda Diskret Element Usuli ayniqsa samarali vosita sifatida keng qo'llanilmoqda.

DEU donador materiallarning harakatini va ular orasidagi o'zaro ta'sirlashuvni modellashtirish uchun qo'llaniladigan hisoblash usulidir. Bu usul, har bir zarrachani alohida-alohida hisobga olgan holda, ular orasidagi to'qnashuvlar va kuch ta'sirlarini dinamik tarzda simulyatsiya qilish imkonini beradi.

Konus maydalagichlarda DEU qo'llanilishi maydalanayotgan materialning har bir zarrachasini alohida-alohida kuzatish imkonini beradi. Bu esa futerovka yuzasiga ta'sir etuvchi kuchlar, zarralarning traektoriyalari va to'qnashuvlar intensivligini aniq tahlil qilish imkoniyatini yaratadi. DEU yordamida konus maydalagichlarning harakati va geometrik parametrlarini tadqiq qilish quyidagi muhim jihatlarga e'tibor qaratish imkonini beradi:



Har bir zarrachaning futerovka yuzasi bilan o'zaro ta'siri, uning harakat traektoriyasi, tezligi va to'qnashuv burchaklari kabi parametrlarni aniq hisoblash mumkin. Bu esa futerovka yemirilishi mexanizmlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi.

Futerovka yuzasining turli nuqtalariga ta'sir etuvchi kuchlarning kattaligi va yo'nalishini aniqlash mumkin. Bu ma'lumotlar futerovka materialini tanlash va uning dizaynini optimallashtirishda juda muhimdir.

DEU natijalari asosida futerovkaning abraziv yemirilish, zarbiy yemirilish va charchoq yemirilish kabi turli yemirilish mexanizmlarini simulyatsiya qilish mumkin. Bu, yemirilishning sabablarini aniqlash va uni kamaytirish choralarini ishlab chiqishga yordam beradi.

Konus maydalagichning kamerasining shakli, futerovka profilining egri chizig'i va boshqa geometrik parametrlarining yemirilish jarayoniga ta'sirini DEU yordamida tadqiq qilish mumkin. Bu esa eng samarali va uzoq muddat xizmat qiluvchi futerovka dizaynini ishlab chiqishga imkon beradi.

Maydalanayotgan materialning xossalari (qattiqligi, zichligi, zarracha hajmi taqsimoti), maydalagichning aylanish tezligi va yuklanish darajasi kabi ish sharoitlarining futerovka yemirilishiga ta'sirini DEU orqali tahlil qilish mumkin.

Diskret Element Usuli (DEU) maydalash kamerasidagi material oqimining dinamikasini modellashtirish orqali futerovka yemirilishini tushunishda muhim rol o'ynaydi. Bu usul yordamida zarralarning futerovka yuzasiga tushish mexanizmlari, ular orasidagi ishqalanish va to'qnashuvlarning tabiati chuqur o'rganiladi.

Futerovkaning shakli, burchagi va yuzasi strukturasi yemirilish jarayoniga ta'siri DEU orqali baholanadi. Misol uchun, konusning qiyalik burchagini o'zgartirish materialning futerovka bo'ylab harakat tezligi va ta'sir burchaklarini o'zgartiradi, bu esa yemirilish intensivligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Maydalagichning aylanish tezligi, konusning tebranish amplitudalari va maydalash kamerasiga berilayotgan materialning hajmi kabi ish rejimlarining futerovka yemirilishiga ta'siri ham simulyatsiya qilinadi. Bu esa minimal yemirilishga olib keladigan optimal ish rejimlarini aniqlashga yordam beradi. DEU simulyatsiyalari natijalari futerovkaning qaysi qismlarida yemirilish eng intensiv sodir bo'lishini va bu yemirilishning asosiy mexanizmlari nimalardan iborat ekanligini chuqur tahlil qilish imkonini beradi.

DEU texnologiyasining rivojlanishi va uning boshqa hisoblash usullari bilan integratsiyasi ko'p o'lchovli modellashtirish imkoniyatlarini ochib bermoqda. Bu esa makro (material oqimi) va mikro (ayrim zarralar va futerovka yuzasi o'zaro ta'siri) darajadagi jarayonlarni birgalikda tahlil qilishga imkon beradi. Bu integratsiya orqali futerovka materiallarining kuchlanish holati va yemirilishga chidamliligini yanada aniqroq bashorat qilish mumkin.

DEU asosida bir qancha konusli maydalagich modellarining yaratilishi amaliyotda o'z isbotini topgan. Misol sifatida YADE diskret element modelini keltirish mumkin. Ushbu modelda, ruda zarralarining turli shakllari YADEning oldindan ishlovchi dasturi orqali sakkiz xil zarrachalar kombinatsiyasi va superpozitsiyasi yordamida tasvirlanadi.

Tadqiqotlar doirasida marganets rudasi va konusli maydalagichlar orasidagi statik ishqalanish koeffitsiyenti qiyshiq yuzalar usuli yordamida o'rganilib, kalibrlanadi. Tajribaviy natijalarga ko'ra, YADE modeli va sinov natijalari o'rtasidagi nisbiy xato atigi 1.50% ni tashkil etgan, kalibrlash natijasi esa 0.42 ga teng bo'lgan. Shuningdek, marganets rudasining qiyshiq burchak ostida yemirilish xususiyatlari ham ushbu usul yordamida chuqur tahlil qilingan. Bu amaliy misol DEUning real sharoitlardagi ishonchililigini va uning sanoat muammolarini hal qilishdagi salohiyatini yaqqol ko'rsatadi.

Zamonaviy modellashtirish usullari, xususan diskret element usuli (DEU), konus maydalagich futerovkalarining xizmat muddatini uzaytirish va ularning ish samaradorligini oshirish borasida keng imkoniyatlar yaratadi. Ushbu yondashuvlar maydalash jarayonidagi murakkab fizik mexanizmlarni chuqur tushunishga va optimallashtirishga zamin yaratadi.



Tadqiqotlarga ko'ra, joylashish burchagining statik va dinamik ishqalanish koeffitsiyentlari bilan bog'liqligi aniqlangan. Ikkala koeffitsiyentning oshishi bilan joylashish burchagi ham ortadi, ammo ularning o'zgarish tendensiyalari farqlanadi. Dinamik ishqalanish koeffitsiyentining joylashish burchagiga ta'siri statik ishqalanish koeffitsiyentiga nisbatan sezilarli darajada kattaroq ekanligi qayd etildi. YADE tomonidan olingan dinamik ishqalanish koeffitsiyenti qiymati 0.040 ni tashkil etdi. Bu natijalar, ishqalanish jarayonlarining futerovka yemirilishidagi muhimligini ta'kidlaydi va DEUning ushbu parametrlarni aniq baholash qobiliyatini namoyish etadi.

YADE tadqiqot natijalariga ko'ra, ichki qoplama (futerovka) yemirilishiga ta'sir darajasi quyidagi tartibda kamayib boradi: harakatlanuvchi konusning aylanish tezligi, mustahkamlangan konusning tebranishlar masofasi va uning pastki burchagi. Optimal parametrlar — mustahkamlangan konusning tebranish masofasi 150 mm, harakatlanuvchi konusning aylanish tezligi 196 aylanish/min va mustahkamlangan aylanish pastki burchagi 26° bo'lganda, futerovka yemirilishining minimal qiymati 21 mm ga teng bo'lgani aniqlandi. Bu natijalar, sinovlardan olingan vtulkadagi yemirilish miqdorining o'zgarish tendensiyasi bilan to'liq mos keladi. Ushbu tadqiqotlar DEUning konusli maydalagichlarning mustahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishini o'rganishdagi samaradorligi va to'g'riligini tasdiqlaydi. Bu esa, o'z navbatida, konusli maydalagichning mustahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishini kamaytirish uchun nazariy asos yaratadi va shu bilan birga, maydalagichning tegishli qismlarining yemirilishini o'rganish uchun yangi va takomillashtirilgan uslubni taklif etadi. Mazkur tadqiqot natijalari tog'-kon korxonalarida energiya samaradorligini oshirish uchun katta amaliy ahamiyatga ega [1].

So'nggi besh yil ichida Respublikamizning tog'-kon sanoatida maydalagichlar 2 million tonnadan ortiq yuzaki materiallarni iste'mol qilgani taxmin qilinmoqda. Metall rudalarini maydalash uchun asosiy mashina sifatida konus maydalagichlar keng qo'llaniladi. Ular o'z navbatida mahkamlangan konus, harakatlanuvchi konus, yuqori va pastki ramkasi, eksantrik vtulkasi, gidravlik silindri va boshqa qismlardan iborat murakkab tizimdir. Konus ichki qoplamalarining (futerovkalarining) tez-tez almashtirilishi nafaqat konus maydalagichning ish samaradorligiga salbiy ta'sir qiladi, balki tog'-kon korxonalariga katta moliyaviy xarajatlarga ham olib keladi. Ushbu qismlarning tez eskirishi maydalagichning to'xtash vaqtini oshirib, ishlab chiqarish hajmini kamaytiradi. Shu sababli, mahkamlangan konus ichki qoplamalarining yemirilishini kamaytirish va konus maydalagichning xizmat muddatini oshirish ilmiy va amaliy jihatdan juda muhim vazifadir. Mahkamlangan konus ichki qoplamalarining yemirilishini kamaytirish tog'-kon korxonalarida yuqori samaradorlikka erishish va energiya tejash uchun katta ahamiyatga ega [2,3]. Ushbu muammoni hal qilish quyidagi yo'nalishlarda tadqiqotlar o'tkazishni talab qiladi:

Tadqiqot qismi

Futerovkalar uchun yangi, yanada bardoshli materiallar ishlab chiqish: Yemirilishga chidamli qotishmalar, kompozit materiallar yoki sirtni qattiqlashtirish texnologiyalaridan foydalanish orqali futerovkalarining xizmat muddatini sezilarli darajada oshirish mumkin.

Maydalash jarayonini optimallashtirish: rudaning kattaligi, uning qattiqligi va maydalagichning ish rejimi (tezlik, yuklama) kabi parametrlarni optimallashtirish orqali futerovkalarga tushadigan yukni kamaytirish mumkin.

Konus maydalagichning konstruktiv xususiyatlarini takomillashtirish: Ishlab chiqaruvchilar tomonidan futerovkalarining mahkamlash usullari, ularning shakli va maydalash kamerasining geometriyasini optimallashtirish orqali eskirishni kamaytirish mumkin.

Parchalash jarayonida yemirilish mexanizmlarini chuqur o'rganish: Konusli maydalagich mexanizmlarini (abraziv, zarbali, charchoq yemirilishi) batafsil o'rganish, ularni modellashtirish va simulyatsiya qilish orqali samaraliroq yechimlarni topish imkonini beradi.



Konusli va boshqa turdagi tog'-kon maydalagichlarining asosiy komponentlarining yemirilishini o'rganishda hozirgi kunda bir qancha ilmiy tadqiqot usullari qo'llanilmoqda. Bularga nazariy hisob-kitoblar, chekli elementlar tahlili va eksperimental sinovlar kiradi.

Misol uchun, Marthay va hammualliflarining tadqiqoti ikki bosqichli maydalagichlarda ruda sinish bosqichlarining umumiy soni va ish vaqti o'rtasidagi bog'liqlikni nazariy hisoblash usuli yordamida chuqur tahlil qildi. Natijada, ular optimal maydalash vaqtini aniqladilar, bu esa tog'-kon texnikasining energiya sarfini sezilarli darajada kamaytirishga imkon berdi.

Xitoylik olimlar, Liang va boshqalar esa maydalagich bosh qismining o'rnatish burchagining maydalagichning natijaviy kuchiga ta'sirini nazariy hisoblash usuli bilan tahlil qilib, maydalagichning natijaviy kuchi o'sish tezligini aniqladilar.

Xorijlik olim Carrado esa ikki rodli maydalagichning singan tishlarining turli xil buzilish rejimlari ish jarayonida chekli elementlar usuli yordamida batafsil tahlil qildi. Ushbu tahlillar asosida, u har xil buzilish rejimlari uchun oldini olish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqdi [4].

Xuddi shuningdek Limanskiy va Vasilyeva chekli elementlar usuli orqali girotatsion maydalagichning yuklash portidagi maydalagich harakat yo'nalishini kuzatishgan. Bu ularga yuklash portining geometriyasini yaxshilash, maydalagichning harakat yo'nalishini o'zgartirish va maydalagichlar orasidagi zarba tezligini oshirish imkonini berdi. Ming va boshqalar chekli elementlar dasturi yordamida kuchlanish to'lqini o'tkazuvchanligi va shtamp zarbasi tezligi, shuningdek, ko'mir-tog' jinsi birikma maydoni va nisbiy zichlik o'rtasidagi bog'liqlikni tahlil qildilar. Natija shuni ko'rsatadiki, birikma kontakt yuzasining nisbiy zichligi fiksirlangan (o'zgarmas) bo'lganda, kuchlanish to'lqinining o'tkazuvchanligi birikma kontakt maydonining ortishi bilan chiziqli ravishda, hamda shtamp zarbasi tezligining ortishi bilan nochiziqli ravishda oshgan. Bundan tashqari, kichik kontakt maydoniga ega, ammo diskret (tarqoq) taqsimlangan ko'mir-tog' jinsi bilan solishtirganda, katta kontakt maydoniga va zich taqsimotga ega birikmalar orqali kuchlanish to'lqinining so'nishi yanada yaqqolroq kuzatiladi [5].

Guo va boshqalar sinov orqali ko'chma maydalagichning qoplama plitasining o'rnatish burchagi, uzunligi va tishlash qobiliyati o'rtasidagi bog'liqlikni tahlil qildilar va nihoyat, chekli elementlar Usuli yordamida qoplama plitasining termik ishlov berish jarayonini tahlil qildilar.

Bu tadqiqotlar maydalagich komponentlarining yemirilishini tushunish va optimallashtirish uchun turli yondashuvlarning samaradorligini ko'rsatadi. Ushbu ilmiy yutuqlar, ayniqsa DEU va CEU kabi modellashtirish usullarining rivojlanishi, tog'-kon sanoatida energiya samaradorligini oshirish va ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

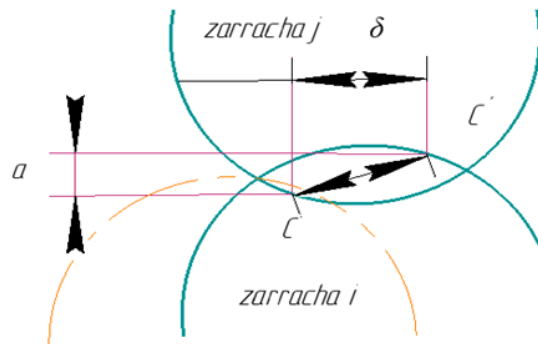
Materiallar va uslublar

Ushbu tadqiqotning maqsadi DEU yordamida mahkamlangan konusning tebranish yo'li, harakatlanuvchi konusning aylanish tezligi va mahkamlangan konusning pastki burchagining mahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishiga ta'sirini tahlil qilish, va mahkamlangan konus ichki qoplamasining minimal yemirilishi uchun eng yaxshi raqamli kombinatsiyani o'rganishdan iborat. Tadqiqotlar yakunida, ushbu tadqiqot konus maydalagichning mahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishini kamaytirish uchun nazariy asos yaratadi va kelajakda konus maydalagichlarni optimallashtirish uchun yangi tadqiqot usulini taqdim etadi. Ushbu maqola korxonaning ishlab chiqarish xarajatlarini va xavfsizlik tavakkalchiliklarini kamaytirish, konus maydalagichlarning xizmat muddatini va korxonaning iqtisodiy foydalarini oshirish uchun amaliy ahamiyatga ega [6].

Konus maydalagich va ruda o'rtasidagi kontakt uzluksizdir. Uzluksiz kuchga asoslangan an'anaviy chekli elementlar usuli rudaning maydalash mexanizmini va mahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishini tahlil qila olmaydi. Biroq, konus maydalagichdagi qalay rudasini maydalash sinovining fizik tajriba namunasi, mahkamlangan konus ichki

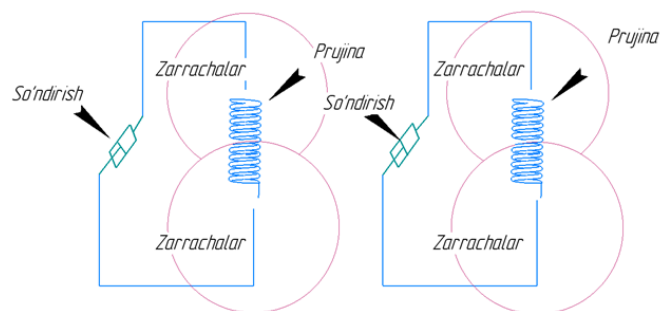
qoplamasining yemirilish xususiyatlarini tahlil qilish ma'lumotlarda katta farqlanishni ko'rsatadi, tegishli ma'lumotlarni aniq ajratib olish qiyin, va ma'lumotlarni yig'ish murakkab. DEU uzluksiz bo'lmagan muhit muammosini hal qilish uchun raqamli usuldir. U geotexnik muhandislik va atrof-muhit muhandisligida keng qo'llaniladi. Sinov natijalaridan ko'rinib turibdiki, konus maydalagichning mahkamlangan konus ichki qoplamasining yemirilishini DEU yordamida tadqiq qilish hali ham bo'shliq bo'lib qolmoqda va boshqa qo'llash sohalaridagi DEU zarrachani qattiq jism sifatida aniqlaydi, shuning uchun u maydalash effektini o'rganish uchun ishlatilmaydi. Bundan tashqari, mavjud DEU boshqa sohalarda qo'llanilishi asosan imkoniyatlarni o'rganishga qaratilgan, ammo maqsadga ta'sir qiluvchi omillarning ta'sir qonuni chuqur tahlil qilinmagan [7].

Ushbu tadqiqotda qo'llanilgan raqamli usul DEU hisoblanadi. DEU ning asosiy tamoyili tadqiqot ob'ektini bir nechta mustaqil elementlarga bo'lish va elementlar orasidagi kuch va harakat holatini takroriy hisoblashdan iborat. Bu jarayon har bir vaqt qadamida elementning harakat holati va o'rnini olish bilan yakunlanadi. DEU tamoyilining yadrosi kontakt modeli va Nyutonning ikkinchi qonunidan iborat. Elementlar orasidagi kontakt kuchi asosan kontakt modeli yordamida hisoblanadi, elementlarning harakat holati esa asosan Nyutonning ikkinchi qonuni yordamida hisoblanadi. DEU asosida yumshoq sfera modeli tanlangan, va ichki kontakt deformatsiyasi 1-rasmda ko'rsatilgan.



1-rasm. Zarrachalar kontakt deformatsiyasi.

Tashqi ta'sir ostida i zarrachasi mos keladigan j zarrachasi bilan C nuqtasida kontaktga kirishadi va nihoyat C' nuqtasiga harakatlanadi. Ushbu modelda kontakt kuchi normal qoplama α va tangensial siljish δ ni hisoblash orqali olinadi. Atrof-muhit yumshoq sfera modeli bo'lganda va ikkita zarracha to'qnashganda, modeldagi prujina kuchini miqdoriy aniqlash uchun har bir harakat qismi bo'linadi va hisoblanadi, bu 2-rasmda ko'rsatilgan [8-10].



2-rasm. Zarrachalar orasidagi kontakt kuchining mexanik modeli.

Natijalar

DEU ayniqsa, zarrachali materiallarning mexanik xatti-harakatlarini tahlil qilishda tobora keng qo'llanilayotgan hisoblash texnikasidir. Ushbu usulda zarrachalar orasidagi o'zaro ta'sirlarni aniq tasvirlash kontakt modelining to'g'ri tanlanishi va sozlanishiga bog'liq.



Shuning uchun, DEU simulyatsiyalarining aniqligi va ishonchliligi bevosita tanlangan kontakt modeliga bog'liqdir.

Umuman olganda, kontakt modellari materiallarning xususiyatlari, kontakt rejimining tabiati (sirpanishli yoki sirpanishsiz), shuningdek, kontakt yuzalarining geometriyasi kabi omillarga qarab tasniflanadi. Masalan, yumshoq shar modellarida zarrachalar deformatsiyalanuvchi deb hisoblanadi va kontakt kuchlari zarrachalarning bir-biriga kirishiga qarab o'rganiladi. Qattiq shar modellarida esa zarrachalar deformatsiyalanmaydigan deb faraz qilinadi va kontakt momentida tezlik o'zgarishi orqali kuchlar aniqlanadi.

Kremniy rudasi kabi yopishish kuchi deyarli bo'lmagan materiallar uchun Hertz-Mindlin (sirpanishsiz) yumshoq shar modeli DEU simulyatsiyalarida juda mos keladi. Bu modelda quyidagi asosiy taxminlar mavjud:

Hertz nazariyasi: Oddiy normal kontakt kuchlarini hisoblash uchun elastik yarim-cheksiz jismlarning kontakt nazariyasidan foydalaniladi. Bu zarrachalarning elastik deformatsiyasini hisobga oladi.

Mindlin-Deresiewicz nazariyasi: Tangensial (sirpanish) kontakt kuchlarini hisoblash uchun qo'llaniladi. Sirpanishsiz holatda, bu modelda tangensial kuchlar ma'lum bir chegaradan oshmaguncha elastik tarzda oshadi, so'ngra ishqalanish kuchiga erishiladi.

Yumshoq shar yondashuvi: Zarrachalar orasidagi kontakt momentida ma'lum darajada o'zaro kirib borishga ruxsat beriladi, bu esa kontakt kuchlarining uzluksiz va silliq hisoblanishini ta'minlaydi.

Sirpanishsiz shart: Ushbu modelning "sirpanishsiz" qismi shuni anglatadiki, kontakt yuzalarida nisbiy harakat yo'q deb hisoblanadi, ya'ni ishqalanish yetarli darajada katta bo'lib, sirpanish sodir bo'lmaydi. Bu, ayniqsa, maydalash jarayonlarida materiallarning siqilish va ezilish xatti-harakatlarini tahlil qilishda muhimdir.

Hertz Mindlin (sirpanishsiz) modelida o'rnatilgan elastik koeffitsient zarrachaning o'zining fizik xarakteristik parametriga tegishli bo'lib, u odatda quyidagi formula yordamida hisoblanadi

$$k_n = \frac{4}{3} \left(\frac{1-v_i^2}{E_i} + \frac{1-v_j^2}{E_j} \right)^{-1} \left(\frac{R_i+R_j}{R_i R_j} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

bu yerda R — zarracha radiusi (mm, i va j indeksleri — aloqada bo'lgan i zarrachasi va j zarrachasini ifodalaydi); E — zarrachaning elastiklik moduli; v — zarrachaning Poisson koeffitsiyenti.

Agar i zarrachasi va j zarrachasi bir xil materialdan bo'lsa va diametrlari ham bir xil bo'lsa, u holda k_n (normal qattqlik koeffitsiyenti) quyidagicha soddalashtirilishi mumkin

$$k_n = \frac{\sqrt{2RE}}{3(1-v^2)} \quad (2)$$

bu yerda R — zarracha radiusi mm, E — zarrachaning elastiklik moduli; v — zarrachaning Poisson koeffitsiyenti.

Tangensial elastik koeffitsiyent (k_t) Mindlin kontakt nazariyasidan olinadi

$$k_t = 8a^{1/2} \left(\frac{1-v_i^2}{G_i} + \frac{1-v_j^2}{G_j} \right)^{-1} \left(\frac{R_i+R_j}{R_i R_j} \right)^{-1/2} \quad (3)$$

bu yerda G — zarrachaning siljish moduli.

Agar i zarrachasi va j zarrachasi bir xil materialdan bo'lsa va diametrlari ham bir xil bo'lsa, u holda k_t (tangensial elastik koeffitsiyent) quyidagicha soddalashtirilishi mumkin [14]

$$k_t = \frac{2G\sqrt{2R}}{(1-v^2)} a^{1/2} \quad (4)$$

Xulosa

Ushbu tadqiqot konus maydalagichning futerovkasi yeyilishini o'rganishda DEU va Yade usulidan foydalanishning to'g'riligini isbotlaydi. Bu esa futerovka yeyilishini kamaytirish uchun nazariy asos yaratadi va maydalagichlarni optimallashtirish uchun yangi tadqiqot



usulini taklif etadi. Tadqiqot natijalari tog'-kon korxonalarida ishlab chiqarish xarajatlarini va ortiqcha xavflarni kamaytirish, maydalagichlarning xizmat muddatini va korxonaning iqtisodiy foydasini oshirish uchun katta amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

- [1]. Серго Е.Е. Дробление измельчение и грохочение. Учебник для вузов. М. «Недра». 2012. 285 с.
- [2]. Островский М.С., Бойко Н.Ф., Ногонин А.А., Организация ремонта дробильного оборудования на основе диагностики его состояния. Труды международной научно-практической конференции «Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии», БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005 г. - С. 364-366.
- [3]. Muminov R.O., Mahmudova M.F., Amonova E.V. "Zamonaviy ta'limda fan va innovatsion tadqiqotlar" jurnali "Maydalash uskunalarining sinflari va ularning qo'llanilish sohalarining taxlili" nomli maqola. Ilmiy-amaliy anjuman materiallari 2024-yil 29-Fevral 2-son 3-to'plam 2024 y. <http://zamtadqiqot.uz/index>
- [4]. Muminov R.O., Oripov Z.B., Mahmudova M.F., Abdukarimova SH.M., Amonova E.V. Maydalash qurilmalarining uzal va detallarini yemirilishini kamaytiruvchi usullarni taxlil qilish. Buxoro nashriyoti "Fan va texnologiyalar taraqqiyoti" jurnali, 2024-yil 4-son. 28 b.
- [5]. Muminov R.O., Egamberdiyev I.P., Ochilov U.Yu. Kompyuterli loyihalash // O'quv qo'llanma.- Navoiy-2023. - 272 bet.
- [6]. Kuziev, D.A., Zotov, V.V., Sazankovaa, E.S., Muminov, R.O. Performability of electro-hydro-mechanical rotary head of drill rig in open pit mining: A case-study. Eurasian Mining, 2022, 37(1), pp. 76–80. (Scopus Base, DOI: 10.17580/em.2022.01.16)
- [7]. R, M.; Bellon, P.; Averbach, R. S. Wear resistance of cu/ag multilayers: a microscopic study. ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, 10, 15288–15297.
- [8]. Коротич В. И., Набойченко С. С., Сотников А. И., Грачев С. В., Фурман Е. Л., Ляшков В. Б. Начала металлургии: Учебник для вузов. Екатеринбург: УГТУ, 2000. ISBN 5-230-06611-3.
- [9]. Dasheng Li, Yonghai Wang, Chao Wang, and Sehui Li., Research on the Wear Behavior of the Fixed Cone Liner of a Cone Crusher Based on the Discrete Element Method. ACS Omega 2020, 5, 11188-11195
- [10]. Muminov R. O., Mahmudova M. F. O'rta va kichik konusli maydalagichlarning texnologik tavsiflari // "Mexanika va texnologiya" ilmiy jurnali. Namangan, 2025 y., 458-461 betlar.