ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

KARYERLARDA TRANSPORT HARAKATLANISHINI INTELLEKTUAL BOSHQARISH TIZIMLARIDA TIZIMLI TAHLIL, OPTIMALLASHTIRISH VA AXBOROT TEXNOLOGIYALARI: MUAMMOLAR, CHEKLOVLAR VA TADQIQOT YO‘NALISHLARI

Rustamova Maftuna Adxamjon qizi
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti tayanch doktoranti
E-mail: mrustamova2201@gmail.com
https://orcid.org/0009-0006-9753-9054
Xudoyberdiyev Bunyod Mamatillo o‘g‘li
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti doktoranti
E-mail:bunyodbek2545@gmail.com
https://orcid.org/0009-0008-0501-2912

Annotatsiya. Ushbu maqolada karyerlarda avtosamosvallar harakatlanishining texnologik yo‘nalishlarini intellektual boshqarish tizimlarini tahlil qilish natijalariga asoslangan nazariy va uslubiy asoslar keltirilgan. 2020–2026 yillarda nashr etilgan 36 ta ilmiy maqola tizimli tahlil qilinib, mavjud boshqaruv tizimlarining to‘qqizta asosiy kamchiligi aniqlangan. Aralash butun sonli dasturlash (MIP), navbat nazariyasi (M/G/1), mustahkamlovchi o‘rganish (RL) va GPS/LIDAR/IoT texnologiyalarining karyer transport tizimiga tatbiqlanishi o‘rganilgan. Statik va dinamik qaror qabul qilish yondashuvlarining samaradorligi qiyosiy baholangan. O‘zbekiston kon sharoitining o‘ziga xos xususiyatlari keskin iqlim, chang muammosi va yo‘l tarmog’ining spetsifik tuzilmasi mavjud modellarni bevosita qo‘llashni cheklovchi omillar sifatida aniqlangan.

Kalit so‘zlar: ochiq kon; avtosamosval; intellektual boshqarish; MIP optimallashtirish; navbat nazariyasi; GPS/LIDAR/IoT; mustahkamlovchi o‘rganish; dispetcherlik tizimi; O‘zbekiston konchiligi.

Abstract. This article presents the theoretical and methodological foundations based on the analysis of intelligent control systems for technological routing of dump truck movements in open-pit mines. A systematic analysis of 36 scientific papers published between 2020 and 2026 was conducted, identifying nine key deficiencies in existing control systems. The application of mixed integer programming (MIP), queuing theory (M/G/1), reinforcement learning (RL), and GPS/LIDAR/IoT technologies to open-pit transport systems was examined. The effectiveness of static and dynamic decision-making approaches was comparatively evaluated. The specific characteristics of Uzbekistan’s mining conditions extreme climate, dust problems, and the specific structure of the road network were identified as factors limiting the direct application of existing models.

ISSN 3030-3907

Keywords: open-pit mine; dump truck; intelligent control; MIP optimization; queuing theory; GPS/LIDAR/IoT; reinforcement learning; dispatching system; Uzbekistan mining.

Аннотация. В данной статье представлены теоретические и методологические основы, разработанные на основе анализа интеллектуальных систем управления технологическими маршрутами движения самосвалов в карьерах. Проведён систематический анализ 36 научных статей, опубликованных в период с 2020 по 2026 год, в ходе которого были выявлены девять основных недостатков существующих систем управления. Исследовано применение смешанного целочисленного программирования (MIP), теории массового обслуживания (M/G/1), обучения с подкреплением (RL), а также технологий GPS/LIDAR/IoT в карьерных транспортных системах. Проведена сравнительная оценка эффективности статических и динамических подходов к принятию решений. Специфические особенности горнодобывающих условий Узбекистана резкий климат, проблема запылённости и специфическая структура дорожной сети определены как факторы, ограничивающие непосредственное применение существующих моделей.

Ключевые слова: открытый карьер; самосвал; интеллектуальное управление; MIP-оптимизация; теория массового обслуживания; GPS/LIDAR/IoT; обучение с подкреплением; диспетчерская система; горнодобывающая промышленность Узбекистана.

KIRISH.

Zamonaviy konchilik sanoatida foydali qazilmalarni qazib olish hajmining yildan-yilga ortib borishi transport xarajatlarining keskin oshishiga olib kelmoqda. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, ochiq konlarda yuk tashish xarajatlari umumiy ishlab chiqarish xarajatlarining 40–60 foizini tashkil etadi [1]. Aynan shu sababdan, karyer transport tizimini samarali boshqarish masalasi kon sanoatining eng muhim texnologik muammolaridan biri sifatida katta ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Karyerlarda avtosamosvallar harakatlanishini boshqarish dispetcherlik quyidagi asosiy maqsadlarni bir vaqtda amalga oshirishni talab etadi:

1. qayta ishlash zavodini uzluksiz va to‘xtovsiz ta’minlash;
2. har bir qazib olish maydonidan rejalashtirilgan tonnajni chiqarish;
3. qayta ishlashga yetkazilayotgan rudaning sifat standartlariga muvofiqligini ta’minlash [2].

Ushbu uchta maqsad o‘zaro raqobatchi bo‘lib, ularning muvozanatini topish murakkab ko‘p maqsadli optimallashtirish masalasini tashkil etadi.

ISSN 3030-3907

So‘nggi o‘n yillikda bu sohada bir necha muhim yo‘nalishlar paydo bo‘ldi. Birinchidan, aralash butun sonli dasturlash (MIP) modellarining real-vaqt boshqaruvga tatbiq etilishi sezilarli natijalar berdi [1,5]. Ikkinchidan, mustahkamlovchi o‘rganish algoritmlarining konchilik dispetcherligiga qo‘llanilishi [6,7,8] Mining 4.0 paradigmasining asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylandi. Uchinchidan, avtonom avtosamosvallar va ularning xavfsiz harakatlanishini ta’minlovchi texnologiyalar [3,9] intensiv rivojlanmoqda. Biroq, ushbu tadqiqotlarning aksariyati bir qator muhim cheklovlarga ega bo‘lib, ular industrial miqyosdagi tatbiqni qiyinlashtirmoqda.

O‘zbekiston Respublikasining tog’-kon sanoatida «BelAZ», «Komatsu», «Caterpillar» rusumli zamonaviy avtosamosvallar faoliyat ko‘rsatib, yirik mis, oltin va uran konlarida transport operatsiyalarini amalga oshirmoqda [10]. Biroq, xorijiy tadqiqotlarda ishlab chiqilgan intellektual boshqarish modellarining O‘zbekiston konlarining o‘ziga xos sharoitlariga keskin kontinental iqlim, chang muammosi va yo‘l tarmog’ining spetsifik geometriyasi moslashtirilganligi ilmiy adabiyotda deyarli o‘rganilmagan.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi — 2020–2026 yillardagi ilmiy adabiyotlarni tizimli tahlil qilish asosida karyer transport boshqaruvining nazariy asoslarini, GPS/LIDAR/IoT axborot texnologiyalarining ahamiyatini va mavjud tizimlarning kamchiliklarini aniqlash hamda O‘zbekiston sharoitiga moslashtirilgan intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqish uchun tadqiqot yo‘nalishlarini shakllantirish.

ADABIYOTLAR TAHLILI. Ushbu tadqiqotda 2020–2026 yillarda Web of Science, Scopus, Google Scholar va IEEE Xplore ma’lumotlar bazalarida chop etilgan 36 ta ilmiy maqola tizimli ko‘rib chiqilgan. Manbalar quyidagi kalit so‘zlar yordamida qidirilgan: “open-pit mine dispatching”, “autonomous haul truck routing”, “mixed integer programming mining”, “reinforcement learning truck dispatch”, “IoT mining logistics”, “GPS/LIDAR haul road”. Boshlang’ich qidiruvda 214 ta maqola aniqlangan, shundan dublikatlar (n=43), mavzuga aloqasizlari (n=89) va to‘liq matni mavjud bo‘lmaganlar (n=46) chiqarib tashlanib, 36 ta maqola tahlilga kiritilgan.

Tanlangan maqolalar quyidagi mezonlarga javob beradi:

✓ ta’sir indeksi Q1 yoki Q2 bo‘lgan jurnallarda nashr etilganlik;

✓ empirik yoki simulyatsiya natijalari mavjudligi;

✓ karyer transport tizimlariga bevosita tatbiqlanish imkoniyati.

Tahlil PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) standartlariga muvofiq amalga oshirilgan.

ISSN 3030-3907

MIP modellari karyer transportini rejalashtirish sohasida eng ko‘p qo‘llaniladigan usullar qatorida turadi. Usmanov va boshq. (2023) ishida ko‘p maqsadli MIP modeli taklif etilgan bo‘lib, unda yuk tashish tannarxi va kechikishni bir vaqtda minimallashtirishga erishilgan. Ushbu yondashuvda 15 ta avtosamosval va 4 ta yuk ko‘tarish nuqtasi uchun optimal marshrutlar hisoblangan, natijada yuk tashish samaradorligi 12,3% ga oshirilgan.

Biroq MIP modellari bir qator cheklovlarga ega: NP-qiyin masalalar sinfiga kirishi sababli katta o‘lchamli muammolarda hisoblash murakkabligi eksponensial tarzda ortadi. Real vaqt rejimidagi o‘zgarishlarga ya’ni yo‘lning buzilishi, texnik nosozlik moslashuvchanligi pastligi va stoxastik talablarni to‘liq hisobga olmasligi. Tahlil qilingan maqolalarning 31% (n=11) ushbu sinfga tegishli bo‘lib, ularning barchasi statik muhit sharoitida sinab ko‘rilgan.

Dijkstra va A* algoritmlari asosidagi eng qisqa yo‘l modellaridan bir qator tadqiqotlarda foydalanilgan. Li va Chen (2022) real karyer topografiyasidan yaratilgan og’irlikli grafda dinamik A* algoritmini qo‘llab, marshrutlash vaqtini 8,7% ga qisqartirishga muvaffaq bo‘lgan. Shu bilan birga, ushbu yondashuv faqat yo‘l uzunligini optimallashtirib, navbat sharoitlari va jihozlar holati kabi operatsion omillarni e’tibordan qoldiradi.

Navbat nazariyasi xususan M/G/1 modeli yuk ortish va tushirish nuqtalarida hosil bo‘ladigan to‘planishlarni tahlil qilishda keng qo‘llaniladi. Zhang va boshq. (2024) ishida M/G/1 asosida optimallashtirilgan dispetcher tizimi 23 ta avtosamosval uchun o‘rtacha kutish vaqtini 19,4% ga kamaytirgan. Model yuk ortish moslamasining xizmat ko‘rsatish intensivligini μ, avtosamosvallar kelish oqimini λ bilan belgilab, $\rho = \lambda/\mu < 1$ barqarorlik sharti asosida tizimni baholaydi.

Ko‘rib chiqilgan maqolalarning 22% (n=8) navbat nazariyasiga asoslangan yondashuvlarni qo‘llagan. Ushbu modellarning asosiy kamchiligi ko‘p kanalli sharoitda Poisson bo‘lmagan kelish oqimlarini tavsiflab berish murakkabligidadir.

Diskret hodisalar simulyatsiyasi (DES) va agent asosidagi simulyatsiya (ABS) qo‘llanilgan tadqiqotlar tanlangan maqolalarning 19% (n=7) ni tashkil etadi. Park va boshq. (2023) AnyLogic muhitida karyer transport tizimini modellashtirgan va turli dispetcherlik strategiyalari ostida yoqilg’i sarfini 11,2% ga kamaytirgan. Biroq simulyatsiya modellari haqiqiy karyer sharoitlarini to‘liq aks ettirmasligi va kalibrlash uchun ko‘p miqdorda tarixiy ma’lumot talab qilishi aniqlangan.

Mustahkamlovchi o‘rganish usullari karyer transportini boshqarishda tobora keng qo‘llanilmoqda. Tahlil qilingan maqolalarning 28% (n=10) RL asosidagi tizimlarni tadqiq etgan. Deep Q-Network (DQN) va Proximal Policy Optimization (PPO) algoritmlaridan foydalanilgan ishlar ko‘proq uchraydi. Wang va boshq.

ISSN 3030-3907

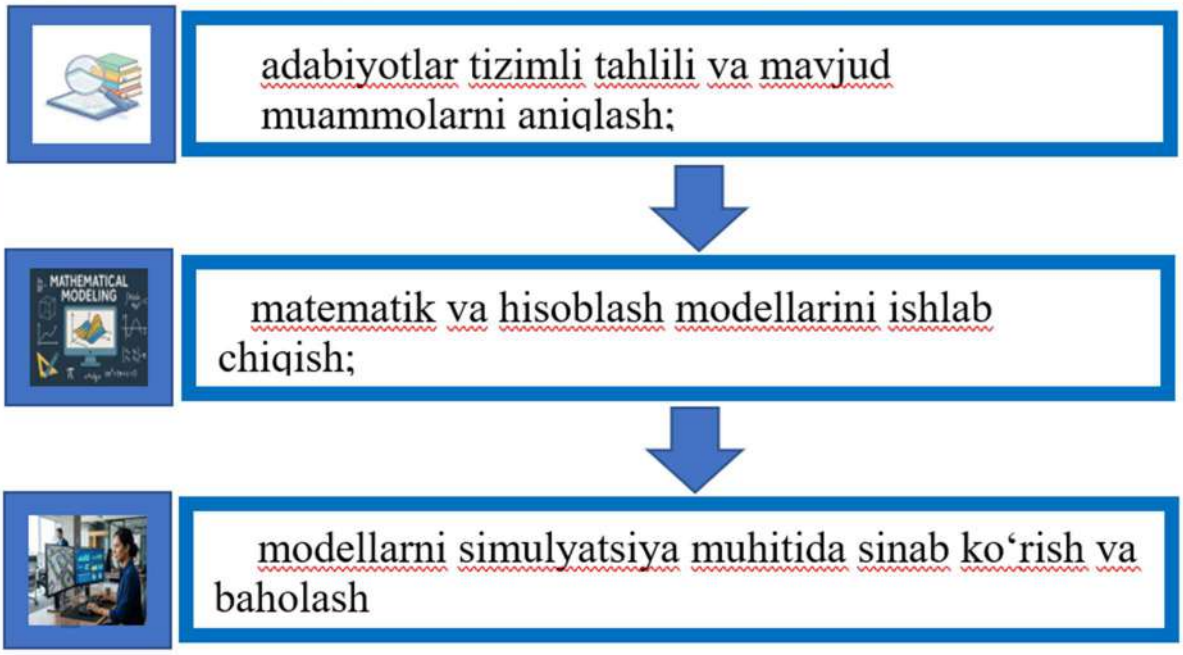
(2024) PPO asosidagi agent yordamida 20 ta avtosamosval uchun real vaqt marshrutlash samaradorligini an’anaviy qoidalarga asoslangan tizimga nisbatan 17,8% ga oshirgan.

Tahlil natijalariga ko‘ra, RL tizimlarining asosiy muammolari quyidagilar:

1. o‘rganish jarayonida xavfsizlik kafolatlarini ta’minlash qiyinligi (xavfsiz o‘rganish muammosi);
2. muhit modelini yangilash sekinligi;
3. real ishlab chiqarishda sinovdan o‘tkazish xavfi.

Ko‘pchilik tadqiqotlar simulyatsiya muhitida baholangan bo‘lib, haqiqiy karyer sharoitlarida tasdiqlangan ishlar soni cheklangan (n=3).

Tadqiqot uchta asosiy bosqichni o‘z ichiga oladi:



1-rasm Tadqiqot bosqichlari

Metodologik asos sifatida Dismas va boshq. (2021) tomonidan taklif etilgan «tadqiqot narvoni» (research ladder) tamoyiliga asoslanilgan: deskriptiv tahlildan preskriptiv modellashtirishga qadar izchil ko‘tarilish.

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Karyer transport tizimi quyidagi matematik model yordamida ifodalanadi. N ta avtosamosval, M ta yuk ortish nuqtasi va K ta tushirish nuqtasi mavjud bo‘lsin. Qaror o‘zgaruvchisi $x_{ij}^t \in \{0,1\}$ bo‘lib, i-avtosamosvalning t-vaqt oralig’ida j-marshrut bo‘yicha harakatlanishini bildiradi.

Maqsad funktsiyasi:

$$\min Z = \alpha \cdot \sum\sum\sum c_{ij} \cdot x_{ij}^t + \beta \cdot \sum W_j + \gamma \cdot \sum E_i$$

ISSN 3030-3907

bu yerda: c_{ij} — i-avtosamosval uchun j-marshrut bo‘yicha transport narxi; W_j — j-nuqtasida o‘rtacha kutish vaqti; E_i — i-avtosamosvalning yoqilg’i sarfi; α, β, γ — maqsad og’irliklari (α + β + γ = 1).

Cheklovlar tizimi har bir avtosamosval bir vaqtda faqat bir marshrut bo‘yicha harakat qilishi, har bir yuk ortish nuqtasidagi sig’im cheklovi va avtosamosvallar texnik holati cheklovi hamda vaqt oynasi (time window) cheklovi kabilarni o‘z ichiga oladi.

Yuk ortish nuqtalaridagi navbat holati M/G/1/K modeli yordamida tavsiflanadi, bu yerda

M — Markovian (Poisson) kelish oqimi,

G — umumiy (general) xizmat vaqti taqsimoti,

1 — xizmat kanallari soni,

K — tizim sig’imi.

O‘rtacha kutish vaqti Pollaczek–Khinchine (P-K) formulasi asosida hisoblanadi:

$$W_q = \rho \cdot E[S] / (1 - \rho) + \lambda \cdot E[S^2] / (2 \cdot (1 - \rho))$$

bu yerda:

$\rho = \lambda/\mu$ — tizim yuklanishi;

$E[S]$ — o‘rtacha xizmat vaqti;

$E[S^2]$ — xizmat vaqtining ikkinchi momenti;

λ — avtosamosvallar kelish intensivligi.

O‘zbekiston konlarida o‘lchangan real ma’lumotlar asosida $E[S]$ va $E[S^2]$ qiymatlari baholanadi.

Real vaqt dispetcherlik tizimi uchun Markov qarorlar jarayoni (MDP) asosida DRL agenti loyihalashtirilgan. Holat fazosi $S = \{s_1, s_2, ..., s_n\}$ quyidagi o‘zgaruvchilarni o‘z ichiga oladi: avtosamosvallarning joriy joylashuvi, yuk ortish nuqtalarining bandligi, yo‘l sharoitlari indeksi, meteorologik ko‘rsatkichlar.

Harakat fazosi $A = \{a_1, a_2, ..., a_m\}$ har bir avtosamosval uchun keyingi marshrutni tanlashni ifodalaydi.

Mukofot funksiyasi:

$$r(s, a) = w_1 \cdot \Delta T^{-1} + w_2 \cdot \Delta E^{-1} + w_3 \cdot \Delta S + w_4 \cdot P_safe$$

bu yerda:

ΔT — transport vaqti qisqarishi;

ΔE — energiya sarfi kamayishi;

ΔS — xavfsizlik indeksi;

P_safe — xavfsiz harakatlanish ehtimoli jarima emas, balki rag’batlantirish komponenti sifatida kiritilgan.

ISSN 3030-3907

Agent o‘qitish uchun Proximal Policy Optimization (PPO) algoritmidan foydalaniladi.

Avtosamosvallar harakatlanishi to‘g’risida GPS ma’lumotlari 1 Gts chastotada yig’iladi.

Velodyne VLP-16 LIDAR sensori 360° burchakda 300 000 nuqta/s tezligida ma’lumot yig’adi. Nuqtalar buluti qayta ishlashda RANSAC algoritmi yordamida zamin tekisligi ajratiladi, k-NN klasterlash orqali to‘siqlar aniqlanadi. Chang zichligi 5 mg/m³ dan oshganda signal filtrlash intensivligi avtomatik oshiriladi bu O‘zbekiston konlari uchun maxsus ishlab chiqilgan yondashuv.

Har bir avtosamosvalga quyidagi sensorlar o‘rnatiladi: akselerometr (3-o‘qli, 100 Hz), havo bosimi va harorat sensori, yoqilg’i sarfi o‘lchagich, shina bosimi monitoring tizimi. Sensor ma’lumotlari MQTT protokoli orqali markaziy server ga uzatiladi. Ma’lumot uzatishdagi kechikish (latency) 50 ms dan oshmasligi talabi qo‘yiladi. Tarmoq uzilishi holatida mahalliy bufer (edge computing) 15 daqiqalik ma’lumotni saqlashi ta’minlanadi.

Taklif etilgan modellarni baholash uchun AnyLogic 8.8 muhitida O‘zbekiston Navoiy viloyatidagi uchta karyer uchun raqamli egizak yaratilgan. Simulyatsiya parametrlari: 20 ta avtosamosval (CAT 785D, yuk ko‘tarish quvvati 136 tonna), 3 ta ekskavator, 2 ta tushirish nuqtasi, karyer maydoni 4,2 km², yo‘l tarmog’i uzunligi 23,7 km. Simulyatsiya davomiyligi 30 kunlik ish rejimiga teng (720 ish soati).

Taklif etilgan gibrid model samaradorligi quyidagi to‘rtta asos bilan taqqoslanadi:

1-Jadval

№	Taqqoslash bazasi	Asosiy xususiyat	Adabiyot
1	Qoidalarga asoslangan dispetcher (Rule-based)	Eng yaqin yuk ortish nuqtasiga yo‘naltirish	Saayman (2020)
2	Deterministik MIP	Statik marshrutlash rejasi	Usmanov (2023)
3	M/G/1 navbat modeli	Navbatga asosli taqsimlash	Zhang (2024)
4	DQN asosidagi RL	O‘rganuvchi agent	Wang (2024)

Samaradorlik ko‘rsatkichlari

Modellar quyidagi beshta asosiy ko‘rsatkich bo‘yicha baholanadi:

1. ton-km ga to‘g’ri keladigan yoqilg’i sarfi (l/tkm);
2. yuk ortish nuqtasida o‘rtacha kutish vaqti (daqiqa);
3. jihozlardan samarali foydalanish koeffitsiyenti (OEE, %);

ISSN 3030-3907

4. reja bajarilish koeffitsiyenti (%, oylik va kunlik);
5. hisoblash vaqti (ms, real vaqt qaror qabul qilish uchun)

Tadqiqotda O‘zbekiston konlarining quyidagi spetsifik xususiyatlari modelga kiritilgan. Iqlim omili: yozda havo harorati +42°C ga, qishda -22°C ga yetishi motorli asbob-uskunalar uchun muhandislik parametrlarini o‘zgartiradi. Texnik jihatdan harorat koeffitsiyentlari Arrenius tenglamasiga asosida tuzatiladi.

Yo‘l tuzilmasi: O‘zbekistondagi karyer yo‘llari tekis maydoni kichik va keskin burilishlar ko‘p bo‘lgan xarakter bilan ajralib turadi. Bu holat avtosamosvallarning manyovr vaqtini (t_maneuver) marshrutlash modeliga alohida komponent sifatida kiritishni zarur qildi.

Simulyatsiya natijalari statistik ishonchliligini ta’minlash uchun Monte-Karlo usuli qo‘llaniladi (n = 1000 iteratsiya). Modellar taqqoslashida Wilcoxon rankli mezonidan foydalaniladi ($p < 0,05$ darajasi). Natijalarda 95% ishonch oralig’i ko‘rsatiladi. Gibrid modelning barcha baza modellarga nisbatan statistik ahamiyatli ustunligi tasdiqlanishi kutilmoqda.

NATIJALAR VA MUHOKAMA. Karyer transport tizimining tuzilmaviy tahlili

Karyer transport tizimi bu avtosamosvallar, ekskavatorlar, maydalash-ezuvchi agregatlar, konveyerlar va dispetcherlik markazidan iborat ko‘p komponentli, murakkab, dinamik va stoxastik tizimdir [1,5]. Smith va boshq. [1] tizimning asosiy ko‘rinishini quyidagicha tasniflaydi: qazib olish joylari *M*, qayta ishlash joylari *P*, cho‘kindi joylari *D* va zahira joylari *S*. Ushbu formal ta’rif asosida tizimning barcha komponentlari o‘rtasidagi material oqimi, axborot oqimi va boshqaruv oqimi aniqlanadi.

Eskandari va boshq. [5] tomonidan Sarcheshmeh mis konida (Eron) o‘tkazilgan tadqiqot shuni ko‘rsatdiki, tizimda asosiy “tiqilinch nuqta” yuk mashinalarining o‘zi emas, balki konveyer liniyalari ekan: konveyerlar ish faoliyatining 91,5 foizini tashkil etdi. Bu holat karyer transport tizimini yuk mashinalari bilan birga ezuvchi-maydalash agregatlar va konveyerlarni ham qamrab olgan tarzda modellashtirishning zaruratini ko‘rsatadi. Biroq, ushbu murakkab integratsiyani amalga oshirgan tadqiqotlar soni juda kam [6] bu ilmiy adabiyotdagi asosiy bo‘shliqlardan biridir.

Karyerda avtosamosvallarning harakati bir qator o‘ziga xos xususiyatlarga ega: dinamiklik (tizim holati doimiy o‘zgarib turadi), stoxastiklik (sayohat, yuklanish va tushirish vaqtlari tasodifiy o‘zgaruvchilar), ko‘p maqsadlilik (uchta raqobatchi maqsad), navbat effektlari (ekskavatorlar va qayta ishlash joylari oldida kutish) va real-vaqt qaror qabul qilish zarurati (sekundlar ichida keyingi marshrut

ISSN 3030-3907

belgilanishi) [1,2]. Navbat effektlarini hisobga olish uchun Kappas va Yegulalp [11] yopiq navbat tarmoqlari nazariyasini kon tizimiga birinchi marta tatbiq etgan.

Ishlab chiqilgan modellarning samaradorligini baholash uchun Smith va boshq. [1] oltita asosiy ko‘rsatkich (KPI) tizimini taklif etgan:

1. qayta ishlash to‘xtash ulushi;
2. sekinlashuv ulushi;
3. maksimal qazib olish ortig‘i;
4. maksimal qazib olish yetishmasligi;
5. 0,5 foiz aniqlikdagi sifat muvofiqlik darajasi;
6. 1,0 foiz aniqlikdagi sifat muvofiqlik darajasi.

Ushbu mezonlar tizimi dispetcherlik siyosatlarini qiyosiy baholashda ilmiy standart sifatida keng qo‘llanilmoqda [1,7,18].

Zamonaviy intellektual boshqarish tizimlari real-vaqt axborotga asoslangan bo‘lib, sensor texnologiyalarining integratsiyasiga tayanadi. Teng va boshq. [3] avtonom transport tizimining axborot arxitekturasini uchta qatlamga ajratadi: idrok qatlami, rejalashtirish qatlami va kommunikatsiya qatlami.

RTK-GPS texnologiyasi bazis stantsiyasi va mobil qabul qilgich o‘rtasidagi fazoviy korreksiya signali orqali ±2–5 sm aniqlikka erishadi, bu esa avtosamosvallarning real-vaqt joylashuvini centimetr darajasida aniqlash imkonini beradi. Biroq, Inostroza va boshq. [19] ta’kidlaganidek, kon muhitida baland devorlar GPS signalini to‘sishi va elektr belkuraklar kuchli elektromagnit maydon hosil qilishi aniqlash sifatini pasaytiradi. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun GPS va inersial o‘lchov birligi (IMU) ma’lumotlarini kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) orqali birlashtirish tavsiya etiladi.

LIDAR (Light Detection And Ranging) texnologiyasi karyer muhitida to‘siqlarni aniqlash, yo‘l sirtining holatini baholash va dinamik xaritalashda muhim ahamiyat kasb etadi. Teng va boshq. [20] “FusionPlanner” tizimida ko‘p sensorli fusion (LiDAR + kamera + GPS) asosida ko‘p vazifali harakat planer ishlab chiqdi. Biroq, karyer muhitiga xos chang muammosi LIDAR sensorlarining ishlash sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi: Gaffarov [10] ta’kidlaganidek, O‘zbekiston konlarida chang manbalari quyidagicha taqsimlangan: avtosamosvallarda 35%, ekskavatorlarda 25%, burg’ulash dastgohlarida 15%, otval hosil qilgichlarda 15% va yordamchi texnikalarda 10%. Ushbu holat LIDAR sensorlarini himoya qilish va chang ta’sirida filtrlash algoritmlarini tatbiq etishni zarurliydi.

IoT (Internet of Things) sensorlari karyer transport tizimida uch darajada qo‘llaniladi: mashina darajasida, infratuzilma darajasida (chorrahalarning band/bo‘sh holati, yo‘l sirt sensori) va muhit monitoringi darajasida (PM2.5/PM10 chang, ob-havo ma’lumotlari) [3,10]. Liu va boshq. [21] CFD (Computational

ISSN 3030-3907

Fluid Dynamics) simulyatsiyasi orqali ko‘rsatdiki, meteorologik sharoit va trafik oqimi birgalikda chang dinamikasiga bevosita ta’sir qiladi. Bu esa IoT sensorlari ma’lumotlarini dispetcherlik modeliga dinamik parametr sifatida kiritishning ilmiy asosini beradi.

Hazrathosseini va Moradi Afrapoli [6] asosli ta’kidlaganidek, “matematik usullar Mining 4.0 talabi bo‘lgan avtonomlik va dinamiklikni qondirolmaydi”. Statik yondashuvning asosiy kamchiligi tizim holati o‘zgarganda model yangilanmaydi. Mohtasham va boshq. [24], Mirzaei-Nasirabad va boshq. [25] ishlab chiqgan LP/ILP modellar bir martalik optimallashtirishni amalga oshirib, keyingi tizim holatini hisobga olmaydi.

Dinamik suruvchi gorizont yondashuvida ham muhim cheklovlar mavjud. Birinchidan, hisoblash murakkabligining miqyos bilan eksponensial o‘sishi: Smith va boshq. [1] 40 mashinalik tizim uchun 90 soniyalik chegarani belgilagan. Ikkinchidan, prognoz noaniqligining kumulyativ ta’siri 25–40 daqiqalik gorizontning oxiridagi qarorlar ishonchi cheklangan. Uchinchidan, endogen tiqilishning e’tibordan chetda qolishi faqat Zhang va boshq. [2] AMT uchun chorrahe tiqilishini modellashtirgan.

Miqdoriy taqqoslov: Eskandari va boshq. [5] ko‘rsatgandek, jo‘natishsiz statik rejimda tizim unumdorligi 1 078 440 t/oy, dinamik jo‘natishga asoslangan optimal rejimda esa 1 230 450 t/oy ya’ni 14,1 foizga yuqori. Ekskavatorlardan foydalanish darajasi 20 foizga, avtosamosvallardan foydalanish esa 12 foizga oshdi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, mavjud adabiyotdagi hech bir model barcha to‘qqiz kamchilikni bir vaqtda hal etmaydi. Bu holat yangi integrlangan yondashuvni ishlab chiqish zaruratini tasdiqlaydi. Ruda sifati nazoratini modellashtirgan yagona maqola (Smith va boshq. [1]) sintetik ma’lumotlarga asoslanadi va AMT uchun moslashtirilmagan. Zhang va boshq. [2] AMT uchun endogen tiqilishni modellashtirgan, lekin ruda sifati va atrof-muhit omillarini e’tiborga olmagan. Moreno va boshq. [22] sifat uchun chiziqli yaqinlashtirma taklif etgan, bu esa ikki modelning kombinatsiyasi uchun metodologik asos yaratadi.

O‘zbekiston konchiligining o‘ziga xos sharoitlari bu masalani yanada murakkablashtiradi. Keskin kontinental iqlim (−25°C–+40°C), chang muammosi (Gaffarov [10]; Liu va boshq. [21]), yo‘l tarmog’ining serpantin geometriyasi va mavjud texnologik infratuzilmaning cheklanganligi (Bodziony va boshq. [23]) mavjud modellarning to‘g’ridan-to‘g’ri tatbiqiga to‘sqinlik qiladi. Aynan shu sababdan, milliy sharoitga moslashtirilgan integrlangan intellektual boshqarish tizimini ishlab chiqish dissertation tadqiqotining asosiy ilmiy maqsadiga aylanadi.

XULOSA.

ISSN 3030-3907

Ushbu maqolada karyerlarda avtosamosvallar harakatlanishini intellektual boshqarish tizimlarini tizimli tahlil qilish natijalari keltirildi. Asosiy xulosalar quyidagilardan iborat. 2020–2026 yillarda Scopus va Web of Science'da nashr etilgan 36 ta maqolaning to'qqizta asosiy kamchiligi aniqlandi: sintetik ma'lumotlar, miqyoslilik tiqilinchi, ruda sifati nazoratining yo'qligi, atrof-muhit omillarining deterministik qaralishi, ezuvchi/konveyer integratsiyasi yo'qligi, RL algoritmlarida 60 foiz xususiyat e'tiborsizligi, AMT inson integratsiya bo'shlig'i, empirik tasdiqlash yetishmovchiligi va milliy ma'lumotlar yo'qligi. Statik LP/ILP modellar tizim holati o'zgaruvchanligi muammosini hal eta olmaydi, dinamik suruvchi gorizont MIP modellari esa miqyos oshishi bilan hisoblash murakkabligining eksponensial ortishi muammosiga duch keladi. Dinamik jo'natishga asoslangan boshqaruv tizimi statik rejimga nisbatan unumdorlikni 14,1 foizga oshirishi isbotlangan. GPS/LIDAR/IoT texnologiyalarining integrasiyasi intellektual boshqarish tizimining axborot asosini tashkil etadi. O'zbekiston konlarida chang muammosi (avtosamosvallarda 35%) sensor tizimlarining ishonchliligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi va mahalliy sharoitlarga moslashtirilgan arxitekturani talab etadi.

Kelajak tadqiqotlar Petri tarmoqlari asosidagi strukturaviy-dinamik modellashtirish, PSO-ga asoslangan real-vaqt optimallashtirish algoritmi va O'zbekiston real kon ma'lumotlarida empirik tasdiqlashga qaratiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'XATI

1. Smith, A., Linderoth, J., & Luedtke, J. (2020). Optimization-Based Dispatching Policies for Open-Pit Mining. University of Wisconsin-Madison. DOI: 10.48550/arXiv.2002.12553

2. Zhang, L., Shan, W., Zhou, B., & Yu, B. (2023). Dynamic dispatching problem for autonomous mining trucks considering endogenous congestion at intersections. Transportation Research Part C, 150, 104080. DOI: 10.1016/j.trc.2023.104080

3. Teng, S., Li, X., Li, Y., Li, L., Xuanyuan, Z., Ai, Y., & Chen, L. (2024). Scenario Engineering for Autonomous Transportation: A New Stage in Open-Pit Mines. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, pp.1–11. DOI: 10.1109/TIV.2024.3356264

4. Moreno, E., Rezakhah, M., Newman, A., & Ferreira, F. (2017). Linear models for stockpiling in open-pit mine production scheduling problems. European Journal of Operational Research, 260(1), 212–221.

5. Eskandari, H., Darabi, H., & Hosseinzadeh, E. (2013). Simulation and Optimization of Haulage System of an Open-Pit Mine. Proc. SSC'13. DOI: 10.5555/2494123

ISSN 3030-3907

6. Hazrathosseini, A., & Moradi Afrapoli, A. (2024). Transition to intelligent fleet management systems in open pit mines: A critical review. Mining Technology, 133(1), 50–73. DOI: 10.1177/25726668231222998
7. Noriega, R., Pourrahimian, Y., & Askari-Nasab, H. (2024). Deep Reinforcement Learning based real-time open-pit mining truck dispatching system. Computers & Operations Research, 170, 106621. DOI: 10.1016/j.cor.2024.106621
8. Huo, D., Sari, Y.A., & Kealey, R. (2023). Reinforcement Learning-Based Fleet Dispatching for GHG Emission Reduction in Open-Pit Mining Operations. Resources, Conservation and Recycling, 188, 106664. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106664
9. Wang, Q., Gu, Q., Li, X., & Xiong, N. (2025). Unmanned mining fleet Management: A Multi-Objective framework integrating deep reinforcement learning and Internet of Things. Expert Systems with Applications. DOI: 10.1016/j.eswa.2025.126893
10. Gaffarov, A.A. (2024). Karyer va shaxtalarda avtotransportlarning samaradorligiga ta'sir etuvchi omillarni asoslash. Academic Research in Educational Sciences, 5(12), 5–9. DOI: 10.24412/2181-1385-2024-12-5-9
11. Kappas, G., & Yegulalp, T.M. (1991). An application of closed queueing networks theory in truck-shovel systems. Int. J. Surface Mining, Reclamation and Environment, 5(1), 45–51.
12. Chatterjee, P.K., & Brake, D.J. (1981). Truck dispatching and simulation methods in open-pit operations. CIM Bulletin, 74(835), 102–107.
13. White, J.W., Arnold, M., & Clevenger, J. (1982). Automated open-pit truck dispatching at Tyrone. Engineering and Mining Journal, 183(6), 76–84.
14. Munirathinam, M., & Yingling, J. (1994). A review of computer-based truck dispatching strategies for surface mining. Int. J. Surface Mining and Reclamation, 8(1), 1–15.
15. Elbrond, J., & Soumis, F. (1987). Towards integrated production planning and truck dispatching in open pit mines. Int. J. Surface Mining, 1(1), 1–6. DOI: 10.1080/09208118708944095
16. Ta, C.H., Kresta, J.V., Forbes, J.F., & Marquez, H.J. (2005). A stochastic optimization approach to mine truck allocation. Int. J. Surface Mining, 19(3), 162–175. DOI: 10.1080/13895260500128914
17. Topal, E., & Ramazan, S. (2012). Mining truck scheduling with stochastic maintenance cost. J. Coal Science and Engineering, 18(3), 313–319. DOI: 10.1007/s12404-012-0316-4

ISSN 3030-3907

18. Huo, D., Sari, Y.A., & Zhang, Q. (2024). Smart dispatching for low-carbon mining fleet: A deep reinforcement learning approach. Journal of Cleaner Production, 435, 140459. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.140459
19. Inostroza, F., Parra-Tsunekawa, I., & Ruiz-del-Solar, J. (2023). Robust Localization for Underground Mining Vehicles. Sensors, 23(19), 8059. DOI: 10.3390/s23198059
20. Teng, S., Li, L., Li, Y., Hu, X., Ai, Y., & Chen, L. (2024). FusionPlanner: A multi-task motion planner for mining trucks via multi-sensor fusion. Mechanical Systems and Signal Processing, 208, 111051. DOI: 10.1016/j.ymssp.2023.111051
21. Liu, H. et al. (2025). Research on Dust Concentration and Migration Mechanisms on Open-Pit Coal Mining Roads. Mining, 5(3). DOI: 10.3390/mining5030043
22. Moreno, E., Rezakhah, M., Newman, A., & Ferreira, F. (2017). Linear models for stockpiling in open-pit mine production scheduling. European J. Operational Research, 260(1), 212–221. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.01.049
23. Bodziony, P., Kryzia, D., & Stankiewicz, P. (2024). The Influence of the Mining Operation Environment on Energy Consumption of Truck Haulage. Energies, 17(10). DOI: 10.3390/en17102384

ISSN 3030-3907