

KARYERLARDA YUK OQIMINI AVTOTRANSPORT YORDAMIDA TASHISHDA TRANSPORT YO'LLARINI SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA OPTIMALLASHTIRISH VA BOSHQARISH

Raximjonov Javohir Jahongir o'g'li

Olmaliq davlat texnika institute

E-mail: javohirraximjonov77@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ochiq kon va karyerlarda foydali qazilmalarni avtotransport vositalari yordamida tashish jarayonida transport yo'llaridan samarali foydalanishni ta'minlash masalasi tadqiq etilgan. Karyerlarda yuk oqimining katta hajmi, transport vositalari sonining ko'pligi, yo'l qiyaligi, tirbandlik, yo'l qoplamasining holati, ob-havo sharoitlari va yuklash-tushirish punktlaridagi navbatlar tashish samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Maqolada ushbu muammolarni hal etish uchun sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, mustahkamlovchi o'qitish, geografik axborot tizimlari va real vaqt ma'lumotlariga asoslangan adaptiv marshrutlash texnologiyalaridan foydalanish taklif etiladi. Transport yo'llarini optimallashtirishning ko'p mezonli matematik modeli ishlab chiqilib, unda masofa, vaqt, yoqilg'i sarfi, tirbandlik, yo'lning texnik holati va xavfsizlik ko'rsatkichlari hisobga olinadi. Taklif etilayotgan yondashuv karyer transport tizimining unumdorligini oshirish, bekor turish vaqtini kamaytirish, yoqilg'i sarfini optimallashtirish va transport xavfsizligini yaxshilash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: karyer, avtotransport, yuk oqimi, transport yo'li, sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, marshrut optimallashtirish, mustahkamlovchi o'qitish, intellektual dispatcherlik, transport oqimi, raqamli kon.

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос обеспечения эффективного использования транспортных маршрутов при автомобильных перевозках полезных ископаемых в карьерах и открытых горных выработках. Большой объем грузопотока в карьерах, большое количество транспортных средств, уклон дорог, транспортная загруженность, состояние дорожного покрытия, погодные условия и очереди в пунктах погрузки и разгрузки напрямую влияют на эффективность транспортировки. В статье предлагается использовать искусственный интеллект, машинное обучение, обучение с подкреплением, географические информационные системы и адаптивные технологии маршрутизации на основе данных в реальном времени для решения этих проблем. Разработана многокритериальная математическая модель оптимизации транспортных маршрутов, учитывающая расстояние, время, расход топлива, транспортную загруженность, техническое состояние дороги и показатели

безопасности. Предложенный подход позволяет повысить производительность транспортной системы карьера, сократить время простоя, оптимизировать расход топлива и повысить безопасность транспортировки.

Ключевые слова: карьер, автомобильный транспорт, грузопоток, транспортный маршрут, искусственный интеллект, машинное обучение, оптимизация маршрута, обучение с подкреплением, интеллектуальное диспетчерское управление, транспортный поток, цифровой рудник.

Abstract. *This article examines the issue of ensuring the efficient use of transport routes during the transportation of minerals by vehicles in open-pit mines and quarries. Factors such as high cargo flow volumes, large numbers of vehicles, road gradients, congestion, road surface conditions, weather conditions, and queues at loading and unloading points directly impact transportation efficiency. To address these challenges, the article proposes the use of adaptive routing technologies based on artificial intelligence, machine learning, reinforcement learning, geographic information systems (GIS), and real-time data. A multi-criteria mathematical model for optimizing transport routes has been developed, taking into account distance, time, fuel consumption, congestion, the technical condition of the road, and safety indicators. The proposed approach enables increased productivity of the quarry transport system, reduced idle time, optimized fuel consumption, and improved transport safety.*

Keywords: *quarry, motor transport, cargo flow, transport route, artificial intelligence, machine learning, route optimization, reinforcement learning, intelligent dispatching, traffic flow, digital mine.*

Kirish. Bugungi kunda foydali qazilmalarni ochiq usulda qazib olish hajmining ortib borishi karyerlarda transport jarayonlarini samarali tashkil etish va boshqarish masalasining dolzarbligini yanada oshirmoqda. Karyerlarda qazib olingan tog‘ jinslari va foydali qazilmalarni qazib olish uchastkalaridan maydalash-saralash komplekslari, boyitish fabrikalari, vaqtinchalik omborlar yoki boshqa texnologik punktlargacha yetkazib berishda avtotransport vositalari muhim texnologik bo‘g‘in hisoblanadi. Transport tizimining samaradorligi nafaqat avtomobillarning texnik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlariga, balki karyer transport yo‘llarining uzunligi, qiyalik darajasi, burilish radiuslari, yo‘l qoplamasining holati, harakat intensivligi, transport oqimining zichligi va yuklash-tushirish punktlaridagi navbatlarga ham bevosita bog‘liq. Karyer sharoitida transport jarayonlari murakkab va dinamik xarakterga ega. Ish frontining siljishi natijasida transport yo‘llarining konfiguratsiyasi o‘zgaradi, ayrim yo‘llarda harakat vaqtincha cheklanadi yoki to‘xtatiladi, yangi tashish yo‘nalishlari shakllanadi. Bundan tashqari, transport vositalarining texnik holati,

ob-havo sharoitlari, yo‘l qoplamasining yemirilishi, changlanish, namlanish, yo‘l qiyaligi va boshqa omillar tashish vaqtiga hamda yoqilg‘i sarfiga ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli karyer transport vositalari uchun oldindan belgilangan yagona marshrutdan foydalanish har doim ham maksimal samaradorlikni ta’minlay olmaydi. An’anaviy transport boshqaruv tizimlarida marshrutlarni tanlash va transport vositalarini taqsimlash ko‘pincha dispetcherning tajribasi, statik transport sxemalari hamda oldindan belgilangan texnologik parametrlar asosida amalga oshiriladi. Bunday yondashuv karyerdagi transport vaziyatining real vaqt rejimida o‘zgarishini yetarli darajada hisobga olmaydi. Natijada avtotransport vositalarining bekor turishi, yuklash punktlarida navbatlarning shakllanishi, transport yo‘llarining ayrim qismlarida ortiqcha yuklama yuzaga kelishi, yoqilg‘i sarfining ortishi va tashish tannarxining ko‘payishi mumkin. Raqamli texnologiyalarning jadal rivojlanishi ushbu muammolarni hal qilish uchun yangi imkoniyatlarni yaratmoqda. Xususan, sun’iy intellekt, mashinaviy o‘qitish, chuqur o‘qitish, geografik axborot tizimlari (GIS), GPS monitoringi, Internet of Things (IoT) qurilmalari va real vaqt ma’lumotlarini qayta ishlash texnologiyalarining integratsiyasi karyer transport tizimlarini intellektuallashtirish imkonini bermoqda. Bunday tizimlar orqali transport vositalarining joylashuvi, harakat tezligi, yuklanish darajasi, yo‘lning texnik holati, tirbandlik darajasi va yuklash-tushirish punktlaridagi navbatlar to‘g‘risidagi ma’lumotlarni uzluksiz yig‘ish va tahlil qilish mumkin. Sun’iy intellekt asosidagi optimallashtirishning muhim afzalligi shundaki, u transport yo‘nalishini faqat eng qisqa masofa mezonini asosida emas, balki bir nechta o‘zaro bog‘liq ko‘rsatkichlar asosida tanlash imkonini beradi. Jumladan, tashish vaqti, yoqilg‘i sarfi, transport yo‘lining uzunligi, yo‘l qiyaligi, transport oqimi zichligi, yo‘lning texnik holati va xavfsizlik darajasi birgalikda hisobga olinishi mumkin. Bunda ko‘p mezonli optimallashtirish modeli yordamida karyer transport tizimining umumiy samaradorligini maksimal darajaga olib chiqishga yo‘naltirilgan qarorlar ishlab chiqiladi. Shundan kelib chiqib, karyerlarda yuk oqimini avtotransport yordamida tashishda transport yo‘llarini sun’iy intellekt asosida optimallashtirish va boshqarish zamonaviy konchilik sanoatining muhim ilmiy-amaliy vazifalaridan biridir. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi karyer transport tizimida real vaqt ma’lumotlari asosida optimal marshrutlarni aniqlash, transport vositalarini samarali taqsimlash hamda yuk oqimini adaptiv boshqarishga imkon beruvchi sun’iy intellekt modelini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqot doirasida transport yo‘llarining uzunligi va qiyaligi, harakat tezligi, transport oqimi zichligi, yo‘lning texnik holati, yuklash va tushirish punktlaridagi navbatlar, transport vositalarining texnik holati hamda yoqilg‘i sarfi kabi omillarni kompleks hisobga olish taklif etiladi. Natijada karyer transport tizimining ishlash samaradorligini oshirish, tashish vaqtini qisqartirish, transport vositalarining bekor turishini kamaytirish, yoqilg‘i sarfini optimallashtirish va

transport xavfsizligini oshirishga xizmat qiluvchi intellektual boshqaruv mexanizmini shakllantirish imkoniyati yaratiladi.

Adabiyotlar tahlili. Karyerlarda foydali qazilmalarni avtotransport yordamida tashish jarayonini optimallashtirish masalasi konchilik transporti, logistika, operatsion tadqiqotlar va sun'iy intellekt texnologiyalarining kesishgan nuqtasida shakllanayotgan muhim ilmiy yo'nalishlardan biridir. Ilmiy adabiyotlarda ushbu muammo, asosan, eng maqbul transport yo'lini aniqlash, yuk avtomobillarini taqsimlash, transport oqimini rejalashtirish va real vaqt rejimida dispatcherlik qilish kabi yo'nalishlarda tadqiq etilgan [1]. Ochiq karyerlarda avtotransport tizimining samaradorligi transport vositalarining bekor turishi, yuklash va tushirish punktlaridagi navbatlar, tashish masofasi, yo'lning texnik holati hamda transport oqimining zichligi bilan chambarchas bog'liq. Kou va hammualliflar ochiq karyerlardagi yuk avtomobillarini boshqarish tizimini baholashda optimal marshrut, transport oqimini rejalashtirish va real vaqt dispatcherligini asosiy tarkibiy qismlar sifatida ajratib ko'rsatganlar. Mualliflar transport yo'lining sifati, yo'l qiyaligi, masofa, transport tezligi va yo'l tarmog'i tugunlari kabi omillar yuk avtomobillarini boshqarish samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishini ta'kidlaydi [1]. Mazkur yondashuv tadqiq etilayotgan mavzu uchun muhim bo'lib, transport yo'llarini optimallashtirishda faqat masofa emas, balki yo'lning ekspluatatsion xususiyatlarini ham hisobga olish zarurligini ko'rsatadi. Karyer transportini boshqarish bo'yicha dastlabki tadqiqotlarda matematik optimallashtirish, chiziqli dasturlash, grafik algoritmlari va evristik usullardan keng foydalanilgan. Bunday yondashuvlarda transport vositalari va yuklash-tushirish punktlari o'rtasidagi optimal bog'lanishlarni aniqlashga alohida e'tibor qaratilgan. Jumladan, eng qisqa yo'lni aniqlash masalasida Dijkstra algoritmi kabi klassik grafik algoritmlaridan foydalanish mumkin. Biroq karyer transport tizimi dinamik muhit bo'lganligi sababli faqat statik eng qisqa yo'lni aniqlash real vaqt sharoitidagi barcha o'zgarishlarni hisobga olish uchun yetarli emas [2]. Zhang va hammualliflar ochiq karyerlarda avtonom yuk avtomobillarini dinamik dispatcherlik qilish masalasini tadqiq etib, transport yo'llaridagi ichki tirbandlik (endogenous congestion) omilini modelga kiritgan. Tadqiqotda transport yo'llarining vaqt bo'yicha o'zgaruvchi resurs sifatidagi modeli ishlab chiqilgan va dinamik dispatcherlik masalasi har bir rejalashtirish gorizontida matematik dasturlash asosida yechilgan [2]. Ushbu tadqiqotning ahamiyati shundaki, transport yo'lining mavjudligi va uning o'tkazuvchanligi vaqt davomida o'zgarishi mumkinligi hisobga olingan. Bu holat karyer transport yo'llarini sun'iy intellekt asosida dinamik boshqarish zaruratini asoslaydi.

Karyer transport tizimlarini baholash bo'yicha Kou va hammualliflar tomonidan taklif etilgan GRA-TOPSIS modeli ham alohida e'tiborga loyiqdir. Tadqiqotda yuk avtomobillarini dispatcherlik qilish tizimini uchta asosiy yo'nalish — optimal marshrut, transport oqimini

rejalashtirish va real vaqt dispatcherligi — asosida kompleks baholash taklif qilingan. Modelda yo‘l sifati, yo‘l qiyaligi, masofa, transport tezligi, yo‘l sig‘imi, ekskavator va tushirish punktlarining imkoniyatlari kabi ko‘rsatkichlar hisobga olingan [1]. Ushbu natijalar transport yo‘llarini optimallashtirishda ko‘p mezonli yondashuvdan foydalanish ilmiy jihatdan asoslanganligini ko‘rsatadi. So‘nggi yillarda karyer transportini boshqarishda sun‘iy intellekt va mashinaviy o‘qitish texnologiyalariga qiziqish sezilarli darajada ortdi. Hazrathosseini va Moradi Afrapoli tomonidan olib borilgan tadqiqotda ochiq karyerlardagi flotni boshqarish tizimlarida mustahkamlovchi o‘qitish (Reinforcement Learning — RL) texnologiyalarining qo‘llanilishi keng tahlil qilingan. Mualliflar an‘anaviy matematik modellar karyer muhitining dinamikligi va noaniqligini to‘liq ifodalashda muayyan cheklovlar ega ekanligini, RL usullari esa real vaqt sharoitidagi o‘zgarishlarga moslashish imkoniyatini berishini ta’kidlaydi [3]. Mazkur tadqiqotda yuk ishlab chiqarish rejasi, ekskavatorlarning texnik holati, yuk avtomobillarining turi va nosozliklari, yoqilg‘i sarfi, ob-havo, transport tirbandligi, marshrut tanlash, yo‘lning texnik holati hamda tushirish punktlarining quvvati kabi ko‘plab omillar karyer flotini boshqarishning muhim xususiyatlari sifatida ajratilgan [3]. Shuningdek, mualliflar ilgari ishlab chiqilgan RL modellarida mavjud boshqaruv omillarining sezilarli qismi yetarlicha hisobga olinmaganini ko‘rsatib, kelajakdagi tadqiqotlarda ko‘p agentli va yanada kompleks modellarni ishlab chiqish zarurligini qayd etganlar [3].

Sun‘iy intellekt asosidagi real vaqt dispatcherligining yana bir muhim yo‘nalishi chuqur mustahkamlovchi o‘qitish (Deep Reinforcement Learning — DRL) bilan bog‘liq. 2025-yilda chop etilgan tadqiqotda ochiq karyerlarda yuk avtomobillarini real vaqt rejimida dispatcherlik qilish uchun DRL modeli ishlab chiqilgan. Mazkur yondashuvda yuk avtomobillari va yuklash uskunalarning ishlash ko‘rsatkichlaridagi noaniqliklar hisobga olingan hamda tarixiy ma’lumotlarga asoslangan diskret hodisalar simulyatsiyasi yordamida model sinovdan o‘tkazilgan [4]. Bu natija sun‘iy intellektni faqat marshrut tanlash uchun emas, balki butun karyer ishlab chiqarish-transport siklini boshqarish uchun qo‘llash imkoniyatini ko‘rsatadi. Transport vositalarini dinamik taqsimlash bo‘yicha Zhang va hammualliflarning tadqiqotida curriculum-driven reinforcement learning yondashuvi taklif qilingan. Ushbu usulda ekspert bilimlari va tashqi muhitdan olinadigan qayta aloqa birlashtirilib, murakkab transport muhitida yuk avtomobillarini taqsimlash masalasini bosqichma-bosqich o‘rganish imkoniyati yaratilgan [5]. Mazkur yondashuv katta hajmdagi karyer transport tizimlarida sun‘iy intellekt modelini o‘qitish va uni murakkab vaziyatlarga moslashtirish nuqtayi nazaridan muhim ahamiyatga ega.

Umuman olganda, o‘rganilgan ilmiy manbalar karyerlarda yuk avtomobillarini boshqarish tizimining uchta asosiy bosqichi — marshrutni optimallashtirish, transport oqimini

rejalashtirish va real vaqt dispetcherligi — o‘zaro integratsiyalashgan holda qaralishi zarurligini ko‘rsatadi [1; 2]. Shu bilan birga, zamonaviy tadqiqotlarda reinforcement learning va deep reinforcement learning algoritmlaridan foydalanish orqali dinamik va noaniq transport muhitiga moslashuvchi tizimlarni yaratishga katta e‘tibor qaratilmoqda [3; 4]. Biroq mavjud tadqiqotlarning ayrimlarida transport yo‘lining geometrik parametrlari, yo‘lning texnik holati, tirbandlik, ob-havo, transport vositasining texnik holati va yuklash-tushirish punktlaridagi navbatlarni yagona ko‘p mezonli sun‘iy intellekt modelida kompleks birlashtirish masalasi yetarlicha yoritilmagan. Shuningdek, O‘zbekiston karyerlarining mahalliy sharoitlari, transport yo‘llarining o‘ziga xos xususiyatlari va real ishlab chiqarish ma‘lumotlari asosida bunday modellarni moslashtirish bo‘yicha tadqiqotlarni rivojlantirish zarur. Shu jihatdan, karyerlarda yuk oqimini avtotransport yordamida tashishda transport yo‘llarini sun‘iy intellekt asosida optimallashtirish va boshqarish masalasini tadqiq etish mavjud ilmiy yondashuvlarni integratsiyalash va ularni mahalliy sharoitga moslashtirish nuqtayi nazaridan dolzarb hisoblanadi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Tadqiqot doirasida karyerlarda yuk oqimini avtotransport vositalari yordamida tashishda transport yo‘llarini sun‘iy intellekt asosida optimallashtirishning konseptual modeli ishlab chiqildi. Taklif etilgan modelda transport yo‘lining uzunligi, harakat vaqti, yo‘l qiyaligi, transport oqimining zichligi, yo‘lning texnik holati, yuklash va tushirish punktlaridagi navbatlar hamda yoqilg‘i sarfi kabi omillar yagona optimallashtirish tizimiga birlashtirildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, karyer transport tizimini samarali boshqarishda faqat eng qisqa marshrutni tanlash yetarli emas. Chunki masofa jihatidan qisqa bo‘lgan yo‘l yuqori qiyalik, yomon texnik holat yoki transport oqimining yuqoriligi sababli amalda ko‘proq vaqt va yoqilg‘i talab qilishi mumkin. Shu sababli tadqiqotda ko‘p mezonli optimallashtirish tamoyili asos qilib olindi.

Optimal marshrutni aniqlash uchun quyidagi maqsad funksiyasidan foydalanish taklif qilindi:

$$F = w_1 T + w_2 C + w_3 D + w_4 Q + w_5 R \rightarrow \min$$

bu yerda T — tashish vaqti, C — yoqilg‘i sarfi, D — tashish masofasi, Q — transport oqimi zichligi, R — xavfsizlik riski, w_i — tegishli mezonlarning vazn koeffitsiyentlari.

Mazkur modelning muhim jihati shundan iboratki, vazn koeffitsiyentlari karyerning ishlab chiqarish sharoitiga qarab o‘zgartirilishi mumkin. Masalan, ishlab chiqarish unumdorligini maksimal darajada oshirish zarur bo‘lgan sharoitda tashish vaqti va transport oqimiga yuqori vazn beriladi. Yoqilg‘i sarfini kamaytirish ustuvor bo‘lgan holatda esa energiya sarfi ko‘rsatkichining vazni oshiriladi.

Taklif etilayotgan modelning ishlash mexanizmini baholash uchun shartli karyer transport tizimi modeli shakllantirildi. Unda yuklash punkti, tushirish punkti va ularni bog'lovchi bir nechta transport yo'nalishlari mavjud deb qabul qilindi.

1-jadval. Muqobil transport yo'llarining shartli parametrlari

Marshrut	Masofa, km	O'rtacha tezlik, km/soat	Qiyalik, %	Tirbandlik darajasi	Shartli tashish vaqti, min
1-marshrut	4,2	25	8,5	Yuqori	16,8
2-marshrut	4,8	31	5,2	Past	14,2
3-marshrut	5,5	34	3,8	Past	14,7
4-marshrut	3,9	21	10,5	Yuqori	17,4

Jadvaldan ko'rinadiki, 4-marshrut masofa bo'yicha eng qisqa bo'lsa-da, uning qiyaligi va tirbandlik darajasi yuqori bo'lganligi sababli tashish vaqti eng katta qiymatlardan birini tashkil etadi. 2-marshrut esa masofa jihatidan eng qisqa emas, biroq yo'l qiyaligining nisbatan pastligi va tirbandlik darajasining kamligi sababli umumiy tashish vaqti bo'yicha qulayroq natija beradi. Bu holat transport yo'llarini optimallashtirishda "eng qisqa yo'l" va "eng samarali yo'l" tushunchalari o'rtasidagi farqni ko'rsatadi. Sun'iy intellekt modeli aynan shu farqni hisobga olib, bir nechta parametrlarni kompleks baholashi mumkin.

Tadqiqotda transport vositalarini yuklash punktlari bo'yicha taqsimlash ham optimallashtirishning muhim elementi sifatida qaraldi. An'anaviy boshqaruvda yuk avtomobillarining ma'lum bir qismi bitta ekskavatorga birlashtirilganda, ekskavator unumdorligi pasayishi yoki yuk avtomobillari sonining ortib ketishi natijasida navbat shakllanishi mumkin. AI asosidagi dispetcherlik tizimida esa yuk avtomobillarining joylashuvi, yuklash punktlarining joriy bandligi va navbat uzunligi real vaqt rejimida baholanadi. Masalan, shartli ravishda 20 ta yuk avtomobili va 3 ta yuklash punkti mavjud bo'lsa, boshlang'ich taqsimot quyidagicha bo'lishi mumkin:

2-jadval. Yuk avtomobillarini taqsimlashning shartli natijalari

Ko'rsatkich	An'anaviy boshqaruv	AI asosidagi boshqaruv
1-punktdagi avtomobillar	10	7
2-punktdagi avtomobillar	6	7
3-punktdagi avtomobillar	4	6
O'rtacha kutish vaqti, min	8,5	5,2

Bekor turish ulushi, %	14,0	8,0
Marshrutni qayta tanlash	Qo'lda	Avtomatik

Jadvaldagi qiymatlar metodik jihatdan shartli modellashtirish natijalari bo'lib, ular AI asosidagi boshqaruv mexanizmining ishlash tamoyilini ko'rsatish uchun keltirilgan. Real karyer sharoitida ushbu ko'rsatkichlar GPS, dispatcherlik va ishlab chiqarish ma'lumotlari asosida aniqlanishi kerak. AI tizimining asosiy afzalligi shundaki, u transport vositalarini oldindan qat'iy taqsimlab qo'ymaydi. Aksincha, tizim transport oqimining joriy holatiga qarab avtomobillarni qayta taqsimlaydi. Natijada bir punktdagi ortiqcha yuklama kamayib, boshqa punktlarning mavjud ishlab chiqarish quvvatidan samaraliroq foydalanish imkoniyati paydo bo'ladi.

Sun'iy intellekt modelining adaptiv boshqaruvdagi roli. Tadqiqotning muhim natijalaridan biri — karyer transportini boshqarishda adaptiv algoritmdan foydalanish konsepsiyasining ishlab chiqilganidir. Bunda tizim quyidagi ketma-ketlikda ishlaydi:

Ma'lumotlarni yig'ish → tahlil qilish → transport holatini prognozlash → marshrutni baholash → optimal qarorni tanlash → transport vositasiga uzatish → natijani qayta baholash.

Mazkur yopiq boshqaruv konturi tufayli transport tizimi tashqi sharoitlarning o'zgarishiga moslashishi mumkin. Masalan, ma'lum bir yo'l segmentida transport oqimi keskin oshsa, AI tizimi ushbu segmentning "narxi"ni oshiradi. Natijada algoritim muqobil yo'nalishlarni qayta baholab, transport vositalarining bir qismini boshqa yo'lga yo'naltirishi mumkin.

Bu jarayonni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$C_{ij}^{t+1} = C_{ij}^t + \Delta C(Q_{ij}, T_{ij}, R_{ij})$$

bu yerda C_{ij} — iva jtugunlarni bog'lovchi yo'l segmentining shartli qiymati, Q_{ij} — transport oqimi, T_{ij} — harakat vaqti, R_{ij} — xavfsizlik riski.

Shunday qilib, yo'lning "qiymati" statik emas, balki real vaqt sharoitida o'zgaruvchi parametr sifatida qaraladi.

Olingan natijalar mavjud ilmiy tadqiqotlarda keltirilgan xulosalar bilan umumiy jihatdan mos keladi. Xususan, Kou va hammualliflar karyer yuk avtomobillarini boshqarishda optimal marshrut, transport oqimini rejalashtirish va real vaqt dispatcherligini kompleks baholash zarurligini ko'rsatgan [1]. Mazkur tadqiqotda ham ushbu uch yo'nalish yagona intellektual boshqaruv tizimining asosiy komponentlari sifatida qabul qilindi. Zhang va hammualliflar tomonidan ishlab chiqilgan dinamik dispatcherlik yondashuvida transport yo'llaridagi ichki tirbandlikni hisobga olishga alohida e'tibor qaratilgan [2]. Ushbu natija biz taklif qilayotgan model uchun muhim metodologik asos bo'lib, transport oqimining o'zgarishi marshrutning optimal qiymatini ham o'zgartirishi mumkinligini ko'rsatadi. Reinforcement Learning bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar esa karyer transport tizimining dinamik va noaniq muhit sifatidagi xususiyatlarini hisobga olish zarurligini ko'rsatmoqda [3]. Shu nuqtayi nazardan,

taklif etilgan modelda AI agentining real vaqt ma'lumotlari asosida qarorlarni yangilashi karyer transport tizimining moslashuvchanligini oshirishi mumkin.

Biroq mazkur tadqiqotning muhim farqi shundaki, unda marshrut masalasi faqat bitta mezon bilan emas, balki masofa + vaqt + yoqilg'i + tirbandlik + yo'l holati + xavfsizlik kombinatsiyasi orqali baholash taklif etildi. Bu yondashuv karyer transportining real ekspluatatsion sharoitlarini kompleks ifodalashga imkon beradi. Shu bilan birga, tadqiqotda keltirilgan sonli ko'rsatkichlar real karyer tajribasidan olingan statistik natijalar emas, balki taklif etilgan modelni tushuntirish uchun tuzilgan shartli modellash tirish qiymatlaridir. Amaliy tadqiqot bosqichida GPS treklari, yuk avtomobillarining yoqilg'i sarfi, ekskavatorlarning ishlab chiqarish unumdorligi, yo'l geometriyasi, transport oqimi va navbatlar bo'yicha real ma'lumotlar yig'ilishi lozim. Shundan so'ng mashinaviy o'qitish modeli o'qitilib, uning aniqligi RMSE, MAE, R^2 , marshrut va tashish vaqti bo'yicha esa ishlab chiqarish samaradorligi ko'rsatkichlari bilan baholanishi mumkin. Umuman, tadqiqot natijalari karyerlarda yuk oqimini boshqarishda sun'iy intellektdan foydalanishning asosiy istiqboli alohida bitta algoritmnini qo'llashda emas, balki GPS + IoT + GIS + Machine Learning + Reinforcement Learning + real vaqt dispatcherligi texnologiyalarini yagona boshqaruv konturiga integratsiyalashda ekanligini ko'rsatadi.

Xulosa. Karyerlarda foydali qazilmalarni avtotransport yordamida tashish jarayonida transport yo'llaridan samarali foydalanish ishlab chiqarish unumdorligini oshirish, tashish tannarxini kamaytirish va transport xavfsizligini ta'minlashning muhim omillaridan biridir. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, karyer transport tizimining samaradorligi faqat transport vositalarining texnik imkoniyatlariga emas, balki transport yo'llarining uzunligi va qiyaligi, yo'l qoplamasining holati, transport oqimi zichligi, yuklash-tushirish punktlaridagi navbatlar, ob-havo sharoitlari hamda transport vositalarining texnik holatiga ham bevosita bog'liq. Tadqiqotda karyer transport yo'llarini optimallashtirish uchun sun'iy intellekt, mashinaviy o'qitish, mustahkamlovchi o'qitish, GPS, IoT va GIS texnologiyalarini integratsiyalashga asoslangan intellektual boshqaruv modeli taklif qilindi. Mazkur modelda marshrutni tanlash jarayoni faqat eng qisqa masofani aniqlash bilan cheklanmay, tashish vaqti, yoqilg'i sarfi, transport oqimi, yo'lning texnik holati va xavfsizlik ko'rsatkichlarini kompleks baholashga asoslanadi. Tadqiqot davomida ko'p mezonli optimallashtirish modeli shakllantirilib, transport yo'llarining "narxi"ni real vaqt ma'lumotlari asosida dinamik ravishda o'zgartirish imkoniyati asoslandi. Bunday yondashuv karyerda tirbandlik yoki yo'lning texnik holati o'zgarganda transport vositalarini muqobil yo'nalishlarga avtomatik qayta taqsimlash imkonini beradi. Natijada transport vositalarining bekor turish vaqtini, yuklash punktlaridagi navbatlarni va ortiqcha harakat masofasini kamaytirish uchun sharoit yaratiladi. Shuningdek, mustahkamlovchi o'qitish algoritmlaridan foydalanish karyer

transport tizimining o‘zgaruvchan sharoitlarga moslashuvchanligini oshirish imkonini beradi. AI agenti transport oqimi, yo‘l holati va ishlab chiqarish jarayonidagi o‘zgarishlar asosida optimal qarorlarni shakllantirishi mumkin. Shu jihatdan, sun‘iy intellekt asosidagi dispetcherlik tizimi an‘anaviy statik boshqaruvga nisbatan dinamik va ma‘lumotlarga asoslangan boshqaruv mexanizmini yaratadi. Umuman olganda, sun‘iy intellekt, GPS, IoT, GIS va real vaqt dispetcherligini yagona tizimga integratsiyalash karyerlarda yuk oqimini boshqarishning zamonaviy raqamli modelini shakllantirishga xizmat qiladi. Bunday tizimdan foydalanish transport yo‘llarini optimal boshqarish, avtotransportdan foydalanish samaradorligini oshirish, tashish jarayonlarini barqarorlashtirish va karyer transport tizimining iqtisodiy hamda ekologik samaradorligini yaxshilash uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kou X., Xie X., Zou Y., Kang Q., Liu Q. Research on Comprehensive Evaluation Model of a Truck Dispatching System in Open-Pit Mine. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 15. Article 9062.
2. Zhang L., Shan W., Zhou B., Yu B. A dynamic dispatching problem for autonomous mine trucks in open-pit mines considering endogenous congestion. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2023. Vol. 150. Article 104080.
3. Hazrathosseini A., Moradi Afrapoli A. Transition to intelligent fleet management systems in open pit mines: A critical review on application of reinforcement-learning-based systems. Mining Technology. 2024. Vol. 133, No. 1.
4. Deep Reinforcement Learning based real-time open-pit mining truck dispatching system. Computers & Operations Research. 2025. Vol. 173. Article 106815.
5. Zhang X., Xiong G., Ai Y., Liu K., Chen L. Vehicle dynamic dispatching using curriculum-driven reinforcement learning. Mechanical Systems and Signal Processing. 2023. Vol. 204. Article 110698.
6. Noriega R., Pourrahimian Y. A systematic review of artificial intelligence and data-driven approaches in strategic open-pit mine planning. Resources Policy. 2022.
7. A stochastic energy-efficient robust simulation-based truck dispatching optimization for simultaneous GHG mitigation and operational excellence in open-pit mines. Simulation Modelling Practice and Theory. 2025. Vol. 138. Article 103026.
8. Geometric and Operational Design Principles for Autonomous Haulage Systems in Open-Pit Mining: A Systematic Review. Mining. 2026. Vol. 6, No. 3. Article 45.

9. An integrated optimization framework for low-carbon truck dispatching in open-pit mining. Computers & Industrial Engineering. 2026. Vol. 217. Article 112022.

10. White J. W. M., Olson J. Efficient Optimal Algorithms for Haul Truck Dispatching in Open Pit Mines. Proceedings/Research on Computer-Based Truck-Shovel Dispatching Systems.

11. Alarie S., Gamache M. Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. 2002.